

DISEÑO DE UNA RED HIDRÁULICA, AUTOMATIZADA, PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL LAVADO DE FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA POTABLE DE GUASCA, CUNDINAMARCA

JUAN SEBASTIAN CARDENAS TORRES
JUAN DAVID CASAS LEON

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.017

DISEÑO DE UNA RED HIDRÁULICA, AUTOMATIZADA, PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL LAVADO DE FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA POTABLE DE GUASCA, CUNDINAMARCA

JUAN SEBASTIAN CARDENAS TORRES
JUAN DAVID CASAS LEON

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.017

Nota de aceptación:

Ing. Oscar Ochoa
Presidente jurado

Ing. María Angélica Acosta
Jurado 1

Ing. Wilmar Martínez Urrutia
Jurado 2

Bogotá, 9 de junio de 2.017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrector Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

La responsabilidad de los conceptos emitidos en este escrito es exclusiva de los autores.

Dedicamos este trabajo de grado a nuestros padres por su gran apoyo, esfuerzo y esmero para hacer de nosotros unas mejores personas. Por ellos hemos logrado llegar hasta donde estamos hoy, respaldándonos para consolidar nuestros estudios universitarios y lograr convertirnos en profesionales con buenos valores que buscan alcanzar sus metas.

A cada uno de nuestros familiares, que han sido pilares importantes en la formación académica y humana de cada uno de nosotros, gracias por guiarnos en un camino de sacrificio que nos ha mostrado que las mejores cosas de la vida toman tiempo.

Agradecemos a nuestros padres por ser la base de todos nuestros logros y por el apoyo que siempre están dispuestos a brindarnos. A la empresa ECOSIECHA S.A.E.S.P. por creer en nosotros y abrirnos las puertas para desarrollar este trabajo de grado en sus instalaciones. A la Universidad de América por inculcarnos conocimiento y formarnos para convertirnos en ingenieros mecánicos.

A los Ingenieros Álvaro Romero, Juan Echeverry y Oscar Ochoa, por su gran labor como orientadores, por ayudarnos a elaborar de la forma más íntegra y profesional este trabajo de grado.

CONTENIDO

	pág.
1. EMPRESA	18
1.1 ECOSIECHA S.A.E.S.P.	18
1.2 MISIÓN	18
1.3 VISIÓN	19
1.4 POLÍTICA CORPORATIVA	19
1.4.1 Objetivos corporativos	19
1.4.2 Los principios	19
1.5 SITUACIÓN ACTUAL	20
1.5.1 Problemática	20
1.5.2 Funcionamiento p.t.a.p en guasca	20
1.5.3 Filtración en la planta	22
1.5.4 Retro lavado en la planta	22
2. CONCEPTUALIZACIÓN	24
2.1 TIPOS DE FILTROS PARA POTABILIZACIÓN	24
2.1.1 Clasificación de filtros	24
2.1.2 lecho filtrante.	25
2.1.3 Antracita	25
2.1.4 Arena	26
2.1.5 Grava	26
2.2 PROCESO DE FILTRACIÓN	26
2.3 CONDICIONES ACTUALES PLANTA	28
2.3.1 Filtración en la planta	28
2.3.2 Retro lavado en la planta	28
2.4 DIAGRAMAS	29
2.4.1 Diagrama de flujo de procesos (PFD)	29
3. DISEÑO	30
3.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	31
3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO	31

3.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	32
3.3.1 Alternativa 1	32
3.3.2 Alternativa 2	33
3.3.3 Alternativa 3	34
3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	35
3.4.1 Diseño conceptual	37
3.5 DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA	39
3.5.1 Diagrama de flujo de procesos (PFD)	39
3.5.2 Diagrama de proceso e instrumentación (P&ID) (líneas de control)	39
3.5.3 Válvulas de control	39
3.5.4 Sensor de turbidez	41
3.5.6 Controlador lógico programable (PLC)	43
3.5.7 Modelado de la planta (isométrico 3D)	45
3.5.8 Indicaciones de modificación	49
3.6 RED HIDRAULICA	53
3.6.1 Red hidráulica (sistema optimizado)	53
4. MANUALES	55
4.1 MANUAL DE MONTAJE	55
4.1.1 Adecuación de la zona	55
4.1.2 Componentes y mano de obra	55
4.1.3 Tuberías y bridas.	56
4.1.4 Válvulas automáticas.	56
4.2 MANUAL DE OPERACIÓN	56
4.2.1 Identificación de componentes	56
4.2.2 Diagrama de proceso.	57
4.2.3 Proceso de automatización	58
4.2.4 Tablero de control	59
4.2.5 Plano eléctrico	60
4.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	63
4.3.1 Infraestructura	64
4.3.2 Sistemas eléctricos	65
4.3.3 Sistemas hidráulicos	67

5. ANÁLISIS FINANCIERO	69
5.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO	69
5.2 COSTO ELEMENTOS PROYECTO	69
5.3 COSTOS DESARROLLO E INSTALACIÓN	70
5.4 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	70
5.5 RESUMEN DE COSTOS	71
6. CONCLUSIONES	72
7. RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFIA	74
ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Porcentaje participación socios ECOSIECHA	18
Tabla 2. Clasificación de filtros	25
Tabla 3. Características de lecho filtrante	29
Tabla 4. Especificaciones y dimensiones de los filtros	29
Tabla 5. Selección de la alternativa	36
Tabla 6. Válvulas de control	41
Tabla 7. Secuencia PLC	43
Tabla 8. Identificaciones componentes	43
Tabla 9. Elementos de modificación (tubería de filtración)	49
Tabla 10. Elementos de modificación (tubería de retro lavado)	50
Tabla 11. Elementos de modificación (tubería de agua filtrada)	52
Tabla 12. Descripción de componentes	57
Tabla 13. Periodicidad mantenimiento infraestructura	65
Tabla 14. Periodicidad mantenimiento sistema eléctrico	66
Tabla 15. Periodicidad mantenimiento sistema hidráulico	68
Tabla 16. Presupuesto proyecto	69
Tabla 17. Costos proyecto	70
Tabla 18. Costos de desarrollo e instalación	70
Tabla 19. Costos de mantenimiento y operación	71
Tabla 20. Resumen de costos del proyecto	71

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Instalaciones de la planta de tratamiento	22
Imagen 2. Alternativa 1	32
Imagen 3. Alternativa 2	33
Imagen 4. Alternativa 3	34
Imagen 5. Válvula mariposa con actuador eléctrico rotativo	40
Imagen 6. Actuador eléctrico rotativo	40
Imagen 7. Sensor de turbidez turbimax CUS31	42
Imagen 8. Controlador lógico programable (FX3U)	44
Imagen 9. Datos técnicos PLC	45
Imagen 10. Red de tubería de filtrado	46
Imagen 11. Red de tubería de retro lavado	47
Imagen 12. Red de tubería de agua filtrada	48
Imagen 13. Plano isométrico (modificación tubería de filtrado)	50
Imagen 14. Plano isométrico (modificación tubería de retro lavado)	51
Imagen 15. Plano isométrico (modificación tubería de agua filtrada)	52
Imagen 16. Sitio de Instalación	55
Imagen 17. Tablero eléctrico de control con PLC	60
Imagen 18. Plano eléctrico	61
Imagen 19. Diagrama de contactos	61
Imagen 20. Infraestructura batería de filtros de la PTAP	64
Imagen 21. Infraestructura cuarto de control de batería de filtros de la PTAP	65
Imagen 22. Placa panel de control PLC	66
Imagen 23. Batería de filtros y red hidráulica de la planta de Guasca	67

LISTA DE ESQUEMAS

	pág.
Esquema 1. Clasificación de filtros según la velocidad de operación	24
Esquema 2. Proceso de tratamiento para potabilización	27
Esquema 3. Lavado de filtros condiciones actuales	58
Esquema 4. Proceso de automatización	59

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagrama de flujo de procesos PFD	77
Anexo B. Diagrama P&ID alternativas	78
Anexo C. Hoja de datos sensor turbidez	79
Anexo D. Hoja de datos actuador eléctrico rotativo	82
Anexo E. Hoja de datos válvula tipo wafer	85
Anexo F. Catálogo válvula tipo wafer	88
Anexo G. Catálogo para actuadores eléctricos rotativos	89
Anexo H. Catálogo sensor de turbidez turbimax CUS31	90
Anexo I. Catálogo PLC FX3GE Mitsubishi	91
Anexo J. Diagrama de contactos (conexionado PLC)	92
Anexo K. Diagrama eléctrico y de control	93
Anexo L. Plano isométrico tubería de agua filtrada	94
Anexo M. Plano isométrico tubería de agua filtrada (automatizado)	95
Anexo N. Plano isométrico tubería filtrada	96
Anexo O. Plano isométrico tubería filtrada (automatizada)	97
Anexo P. Plano isométrico tubería retro lavado	98
Anexo Q. Plano isométrico tubería retro lavado (automatizado)	99
Anexo R. P&ID (Cableado PLC)	100
Anexo S. Lenguaje graphset	101

RESUMEN

Se evaluaron las condiciones actuales de funcionamiento del acueducto de la población de Guasca, Cundinamarca. Se elaboró el diseño conceptual y definieron parámetros para la red hidráulica. Se plantearon y evaluaron alternativas del subsistema de lecho filtrado compuesto de arenas y lecho de arena más antracita. Al elegir una alternativa de solución esta se conceptualizó, se planteó el desarrollo del diseño detallado de la red hidráulica, el paso a seguir fue la elaboración de los planos generales de redes de tuberías y montaje. Para que el usuario tuviera más claras las características de la red, se elaboró el manual de operación, montaje y mantenimiento, se realizó una simulación de la automatización del proceso de filtrado. Por último se realizó el análisis financiero respectivo del costo total para desarrollar la red hidráulica.

Palabras clave: Diseño, automatizada, lavado de filtros Guasca.

INTRODUCCIÓN

La *importancia* de este proyecto radica en la automatización de la red de filtros de la planta de tratamiento de agua potable en Guasca, Cundinamarca, lo cual contribuirá al funcionamiento continuo de la planta en el proceso de potabilización de agua.

El *origen* del proyecto son los problemas presentados por la empresa Ecosiecha S.A.E.S.P., ya que se presentan fallas al momento de realizar el lavado de filtros, cuando se realiza este lavado se debe cortar el flujo de agua que circula a los filtros, lo cual ocasiona que se tenga una disminución de nivel de agua en los tanques de almacenamiento.

El trabajo tiene como *objetivo* general, Diseñar una red hidráulica, automatizada, para la optimización del lavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable de Guasca, Cundinamarca. Y como objetivos específicos;

- ❖ Evaluar las condiciones actuales de funcionamiento del acueducto de la población de Guasca, Cundinamarca
- ❖ Elaborar el diseño conceptual y definir los parámetros
- ❖ Plantear y evaluar las alternativas del subsistema de lecho filtrado compuesto de arenas y lecho de arena más antracita
- ❖ Conceptualizar la alternativa elegida
- ❖ Desarrollar el diseño detallado de la red hidráulica
- ❖ Elaborar los planos generales de ubicación, fabricación de componentes, ensamble y montaje
- ❖ Elaborar el manual de operación, montaje y mantenimiento
- ❖ Realizar una simulación de la automatización del proceso de filtrado
- ❖ Realizar un análisis financiero

Este trabajo tiene como *alcance* el diseño y la automatización la red hidráulica que se comunica con los filtros de la empresa, no se llegará a la construcción y puesta en marcha, ya que esto dependerá totalmente de la disposición de la empresa Ecosiecha S.A.E.S.P.

Las limitaciones del proyecto son solo el diseño de la red hidráulica más no la implementación del prototipo.

La *metodología empleada* para la elaboración de este proyecto será describir, explicar y evaluar la alternativa de implementar un sistema automatizado en el sistema de filtros para la planta de tratamiento de agua potable en Guasca Cundinamarca. Mediante la observación directa de la organización y diseño actual de filtros, consultando el manual de operación y mantenimiento proporcionado por la empresa Ecosiecha, la cartilla del SENA para plantas de potabilización proporcionada por los operarios de la planta de tratamiento.

Con la ayuda de los recursos anteriormente mencionados se describe la falla en el sistema de filtros, actualmente para lavar filtros se requiere de un operario que cierre manualmente las válvulas, al cerrar las válvulas los 10 filtros dejan de circular agua. El nivel de estos disminuye considerablemente hacia los tanques de almacenamiento.

Para poder llevar a cabo este proyecto con las adecuadas normas se consultará la cartilla del SENA y las respectivas normas sobre el desarrollo de plantas de potabilización. Para elaborar el diseño automatizado de los filtros se utilizarán conocimientos en automatización, instrumentación y mecánica de fluidos. Para poder estimar un costo de la elaboración del proyecto se requieren conocimientos en ingeniería financiera y formulación de proyectos. Todo este diseño solo se puede llevar a cabo teniendo presente las condiciones actuales con las que opera la planta, por tal motivo se analizará detalladamente el manual de operación y mantenimiento proporcionado por la empresa Ecosiecha.

El *significado* de este proyecto es la innovación para la empresa Ecosiecha S.A.E.S.P., puesto que sería esta misma empresa la que se vería beneficiada con el proceso de automatización de la red hidráulica que se comunica con los filtros.

La *aplicación* de este proyecto iría enfocado a todas las empresas y municipios que cuenten con una planta de tratamiento de agua potable, sin embargo este proyecto es a medida de la empresa Ecosiecha S.A.E.S.P. la cual es la que está dando el aval para la realización del proyecto.

1. EMPRESA

1.1 ECOSIECHA S.A.E.S.P.

La Empresa de ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE GUASCA S.A. E.S.P. – ECOSIECHA S.A. E.S.P es una sociedad comercial de nacionalidad colombiana, empresa de servicios públicos domiciliarios pública, constituida bajo la forma de sociedad anónima. En los términos dispuestos por las leyes 142 de 1994, por regla general, en el desarrollo de su objeto social de la sociedad se sujetará a las reglas del derecho privado y a la jurisdicción ordinaria.

De propiedad de los siguientes socios accionistas:

Tabla 1. Porcentaje participación socios ECOSIECHA

SOCIO	PARTICIPACIÓN
Municipio de Guasca	99,5%
Empresa de Servicios Públicos de Sopo – EMSERSOPO	0,5%

Fuente: ECOSIECHA S.A E.S.P [en línea]. Guasca, cundinamarca [citado 7 de noviembre de 2.016]. Disponible en internet <http://ecosiecha.co/?page_id=218>

1.1.1 Objeto social. La sociedad tendrá por objeto principal la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en el Municipio de Guasca y en cualquier parte del país, con el cumplimiento de las formalidades señaladas en las leyes nacionales, cuando fuere el caso. En cumplimiento de su objeto social la Sociedad deberá desarrollar las actividades industriales y comerciales de producción, tratamiento y suministro de agua potable, tratamiento y disposición de aguas servidas, recolección y transporte, reciclaje y disposición final de desechos y demás actividades que dada su relación de conexidad, sean complementarias a un servicio público, tales como interventoría, consultoría, asesoría, asistencia técnica, comercial y/o tecnológica relacionada con la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, con el cumplimiento de las formalidades señaladas en las leyes nacionales y extranjeras, cuando fuere el caso.

1.2 MISIÓN

ECOSIECHA S.A. E.S.P., es una empresa Guasqueña conformada por un grupo de personas comprometidas con todas las actividades y procesos inherentes a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, la disposición de residuos sólidos orgánicos reciclables y ordinarios, y la preservación del ambiente con el único propósito de mejorar la calidad de vida de todos los miembros de la comunidad del municipio de Guasca.

1.3 VISIÓN

En el año 2020, ECOSIECHA será una empresa con reconocimiento regional como líder en la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, aseo y actividades complementarias, llegando al 100% de los usuarios en las áreas urbana y rural de municipio de Guasca y con certificación de la gestión de la calidad.

1.4 POLÍTICA CORPORATIVA

Para la óptima prestación de los servicios públicos y con el fin de cumplir con sus objetivos corporativos la EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE GUASCA S.A. E.S.P. – ECOSIECHA S.A. E.S.P., se compromete a aplicar de manera permanente la normatividad legal vigente, dirigir sus acciones hacia el cumplimiento de las necesidades de sus usuarios y prestar un servicio con calidad.

1.4.1 Objetivos corporativos. La empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Guasca S.A. E.S.P. – ECOSIECHA S.A. E.S.P. tiene como objetivo principal la prestación de los servicios de Acueducto, alcantarillado y Aseo por lo cual se busca cumplir;

- ❖ Realizar el suministro de los Servicios Públicos con eficiencia, calidad, responsabilidad y de acuerdo con la normatividad vigente
- ❖ Asegurar que el servicio se preste de manera permanente y continua a menos que por causas de fuerza mayor lo impidan
- ❖ Facilitar a los usuarios de menos ingresos el acceso a los subsidios que otorguen las autoridades
- ❖ Mantener un rendimiento óptimo de la red de distribución, minimizando las posibles pérdidas de agua
- ❖ Procurar por la sostenibilidad y cuidado del recurso hídrico haciendo partícipes también a la comunidad
- ❖ Realizar la recolección de basuras de manera oportuna y eficiente, disponiendo de ellas de manera adecuada para producir el menor impacto ambiental posible
- ❖ Crear sentido de pertenencia en los funcionarios de la entidad construyendo una cultura organizacional dirigida al buen desempeño de todas las actividades y procesos que desarrolla la entidad
- ❖ Atender oportunamente las necesidades de los usuarios externos y clientes internos

1.4.2 Los principios. Para la empresa ECOSIECHA S.A. E.S.P. los principios son aquellas normas o reglas que enmarcan nuestra conducta dentro de la organización, la cual, cumple con su misión y el ejercicio de sus actividades, basada en el desarrollo de los principios construidos en el código de ética, tales como;

- ❖ Vocación de servicio
- ❖ Economía
- ❖ Moralidad
- ❖ Eficiencia

- ❖ Calidad en el trato
- ❖ Participación¹

1.5 SITUACIÓN ACTUAL

1.5.1 Problemática. El problema que presenta la planta son pérdidas de nivel de agua en los tanques de almacenamiento y no hay un ciclo continuo de operación en la planta, debido al diseño inadecuado del sedimentador que retiene durante un tiempo corto el agua a potabilizar, también las pérdidas de nivel son ocasionadas por las válvulas mariposa que son de apertura manual. Ya que al momento de realizar la apertura o cierre de estas válvulas en el proceso de retro lavado en la zona de filtros, se cierra la tubería que comunica la zona de filtros con los tanques, de modo que el agua que llega del sedimentador y tanque de equilibrio es conducida hacia el desagüe de los filtros.

Al no llegar agua a los tanques de almacenamiento se presentan como consecuencias del proceso disminución en los niveles de agua de los tanques de almacenamiento durante el suministro del servicio hacia la población, está pérdidas según la información suministrada por operarios de la planta y directivas de Ecosiecha oscila entre 35 y 40 m³ de agua que proviene del tanque de equilibrio para ser tratada en la zona de filtros al momento de realizar el proceso de retro lavado, además de esto la planta debe realizar entre 5 y 6 retro lavados diarios desperdiciando grandes cantidades de agua.

La empresa no dispone de la información técnica referente al diseño y fabricación de la planta.

1.5.2 Funcionamiento p.t.a.p en guasca

Dentro de los proceso de modernización del sector de saneamiento básico y agua potable las empresas operadoras de los sistemas de tratamiento de agua potable deben cumplir con los requisitos de calidad exigidos por el decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007 emanada por el ministerio de salud y protección social.

Para cumplir con esta normatividad nacional y garantizar la salud pública de los habitantes de Guasca, Cundinamarca la P.T.A.P (Planta de Tratamiento de Agua Potable) opera de la forma como se describe a continuación;

¹ ECOSIECHA S.A.E.S.P. Plan estratégico de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de guasca SA ESP. [En línea]. Disponible en internet <<http://ecosiecha.co/wp-content/uploads/2014/04/PLAN-ESTRATEGICO-DE-ECOSIECHA-S.A.-E.S.P.1.pdf> > [Citado en 30 de noviembre de 2.016].

- ❖ Captación. Dos unidades de captación, la principal sobre el cauce del río Chipata, con una capacidad de captación máxima de 18 L.P.S (Litros por segundo), tipo bocatoma de fondo con rejilla transversal al flujo, la segunda estructura de captación se encuentra ubicada sobre el cauce de la quebrada “El Uval”, con una capacidad de captación de 9 L.P.S.
- ❖ Pre tratamiento. En las dos redes de aducción se cuenta con desarenadores lentos con rebose al final y sección de lavado en fondo cónico. Para la red de aducción del río “Chipata”, se encuentran dos unidades de pre sedimentación construidas en serie. Las dos secciones de red de aducción (captación desarenador y desarenador P.T.A.P) se encuentran instaladas en tubería PVC enterrada y tramos cortos en viaducto semi elevado
- ❖ Ingreso y medición de caudal. La llegada de las redes de aducción a la P.T.A.P se encuentran en diámetro de 4” la del río chipata y diámetro de 3” la de la quebrada “El Uval”, existe un solo macromedidor de turbina 4” para las dos redes, ya que antes de su llegada existe una unión de las dos tuberías por medio de un codo y una tee, sin embargo antes de esta unión en cada red están instaladas válvulas de corte de cierre rápido tipo “cierre de bola”. La red en tubería PVC RDE 21, presión estándar de 200PSI sin reducciones en su llegada
- ❖ Torre de aireación. Esta estructura está compuesta por cuatro bandejas de aireación y contacto con carbón coque y una bandeja de recolección, para un total de cinco bandejas, tiene como función adicional, aparte de airear el agua provocar un aquietamiento y reducción de la energía cinética con la que viene el caudal de agua cruda por la tubería de aducción
- ❖ Mezcla rápida. Mezcla rápida hidráulica producida por un hidrociclón de interior cónico, tipo retro mezclador hidráulico
- ❖ Adición de coagulante. Se adiciona el coagulante en el punto de mayor agitación ubicado en la parte media del hidrociclón cónico
- ❖ Dosificación de coagulante (hidroxicloruro de aluminio líquido). Dosificador tipo bomba electromecánica de succión – impulsión variable, se prepara solución en tanque de almacenamiento de 55 galones
- ❖ Dosificación de estabilizante. (Estabilizante de pH: soda caustica), dosificador tipo bomba electromecánica de succión – impulsión variable, se prepara solución en tanque de almacenamiento de 55 galones
- ❖ Mezcla lenta – floculación. Floculador hidráulico tipo lecho fluidizado de flujo vertical inverso (arriba – abajo – arriba), con canaletas rectangulares de recolección y paso a sedimentador sumergido
- ❖ Sedimentación. Sedimentador acelerado (alta tasa), rectangular con fondo inclinado y aceleración de partículas sedimentables en módulos inclinados a 60° tipo “panel hexagonal” y placas aceleradoras de sedimentación, con tanque de equilibrio semi piramidal inverso

- ❖ Filtración. Filtración de flujo descendente y retro lavado ascendente con caudal proveniente del tanque de equilibrio (agua clarificada), en este sistema se encuentra el caudal dividido en dos líneas de cinco filtros a presión con lechos de filtrado compuesto de arenas en la primera línea (cinco filtros en paralelo) y lecho de arena + antracita segunda línea (cinco filtros en serie)
- ❖ Desinfección. Inyección de cloro gaseoso en cilindro, con inyector de aguja diluido en solución gas – líquido, adicionado en canal de agua filtrada. (no se cuenta con un tanque de contacto de cloro) y como plan de contingencia adición de hipoclorito de sodio/calcio, diluido en tanque de 500 litros y adicionado por goteo (ml/min)
- ❖ Almacenamiento de agua potabilizada. Se cuenta con dos tanques de almacenamiento, el primero de 185 m³ y el segundo de 205 m³, conectados por vasos comunicantes (vertedero interno) ²

1.5.3 Filtración en la planta. El agua que consume la población de Guasca, Cundinamarca, es tratada en el mismo municipio y administrada por Ecosiecha S.A. E.S.P. Actualmente y debido a las condiciones climáticas de Colombia la planta trabaja con caudales que en algunos casos extremos ha descendido a aproximadamente 25 l/s, y se ha obtenido un máximo caudal de 75 l/s aproximadamente, según la información entregada por operarios de la planta y directivos de la empresa Ecosiecha.

“La planta es de tecnología mixta, con procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección” ³. El proceso de filtración se lleva a cabo por medio de un flujo descendente compuesto por 10 unidades de filtración rápida y tasa declinante, de lecho filtrado y de lavado manual.

1.5.4 Retro lavado en la planta. “El proceso de retro lavado se realiza por flujo ascendente con caudal proveniente del tanque de equilibrio (agua clarificada), en este sistema se encuentra el caudal dividido en dos líneas de cinco filtros a presión con lechos de filtrado compuesto de arenas en la primera línea (cinco filtros en paralelo) y una segunda línea con lecho de arena más antracita (cinco filtros en serie)” ⁴. En la imagen 1 se observan las instalaciones de la planta con sus respectivos filtros.

² Ecosiecha S.A.E.S.P. Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable “nueva” - E.S.P. Guasca. Generalidades. Guasca, Cundinamarca. Mayo de .2013. p. 3

³ Ibid., p. 8

⁴ Ibid., p. 3

Imagen 1. Instalaciones de la planta de tratamiento



Fuente: Planta de tratamiento Guasca, Cundinamarca

2. CONCEPTUALIZACIÓN

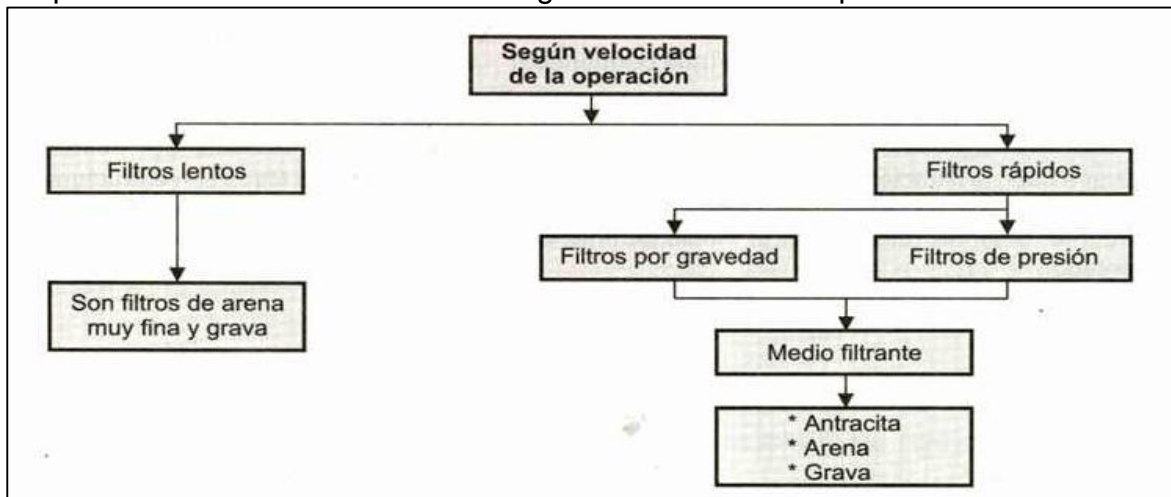
2.1 TIPOS DE FILTROS PARA POTABILIZACIÓN

El propósito de la filtración es separar las partículas y microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, por lo tanto el trabajo que realizan los filtros, depende en gran medida de la mayor o menor eficiencia de los procesos anteriormente mencionados.

Adicionalmente, la filtración también remueve la turbiedad que no fue eliminada por la coagulación, floculación y sedimentación y que es de aproximadamente el 10%, además de impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proteger a los microorganismos de la acción del desinfectante.⁵

2.1.1 Clasificación de filtros. Existen dos clases de filtración, dependiendo de la velocidad con la que se realiza el proceso. En el esquema 1 se observa la clasificación según la velocidad de operación.

Esquema 1. Clasificación de filtros según la velocidad de operación



Fuente: SENA. [en línea]. (2014-03-01).[citado en 7 de noviembre de 2.016]. Disponible en internet <<http://repositorio.sena.edu.co>

⁵ ROMERO ROJAS, Jairo. Purificación del agua: Filtración. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2.009. p. 473

Tabla 2. Clasificación de filtros

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos 120-360 m ³ /m ² /día	1. Arena (h=60-75 cm)	Ascendentes	Por gravedad
	2. Antracita (h=60-75 cm)	Descendente	Por presión
	3. Mixtos: Antracita (35-50) Arena (20-35)	Flujo Mixto	Por gravedad
	4. Mixtos: Arena, antracita, granate		
Lentos 7-14 m ³ /m ² /día	Arena (h=60-100 cm)	Descendente Ascendente Horizontal	Por gravedad

Fuente: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría de la filtración del agua. En: Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: McGraw Hill, 2.000. p. 364

2.1.2 lecho filtrante. El lecho filtrante utilizado en las plantas de tratamiento de agua potable, está constituido por arena sílice, antracita, granate o una combinación de los materiales anteriormente nombrados. La selección del lecho filtrante se determina por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su proceso de retro lavado.

2.1.3 Antracita. La antracita debe tener una dureza de 2,7 o mayor en la escala de Mohs y su peso específico no debe ser menor de 1,40. El contenido de carbono libre no debe ser menor del 85% del peso, la solubilidad en HCl al 40% durante 24 horas debe ser inferior al 5% y no más del 2% debe perderse en una solución al 1% de NaOH.⁶

La principal característica de la antracita se debe a la durabilidad. Las antracitas son arrastradas por el flujo de lavado, con lo que el volumen y altura del medio en los filtros se disminuye. Su porosidad varía entre el 56% y el 60% y su capacidad de retención de material es mayor que el de la arena. La antracita es más costosa que la arena y se encuentra en menor abundancia.

La antracita se usa con tamaños efectivos entre 0,6 y 1,4 mm. Los tamaños efectivos menores E = 0,6 a 0,8 mm se prefiere cuando se la emplea como el único medio filtrante y los tamaños entre 0,8 y 1,4 mm, cuando se utiliza en los lechos múltiples de arena y antracita o arena, antracita y granate.

⁶ Ibid., p. 700

2.1.4 Arena. La arena que se usa en los filtros rápidos es de menos de 2 mm de diámetro y está compuesta por material silíceo con una dureza de 7 en la escala de Mohs y un peso específico no menor de 2 N/m³. Deberá estar limpia, sin barro ni materia orgánica, y no más del 1% podrá ser material laminar o micáceo. La solubilidad en HCl al 40% durante 24 horas tiene que ser menor del 5%, y la pérdida por ignición menor del 0,7%.⁷

Se puede especificar tamaño uniforme o no uniforme. Se entiende por uniforme la arena que queda recogida entre dos cedazos consecutivos. Los diseñadores europeos suelen preferir este tipo de arena en tamaños gruesos, de 1 a 2 mm y los lechos profundos entre 0,9 y 1,2 m. La práctica americana emplea arena fina con coeficiente de uniformidad entre 1,5 y 1,7 y tamaño efectivo entre 0,4 y 0,7, con preferencia entre 0,45 y 0,55. No más del 1% debe ser mayor de 2 mm o menor de 0,3 mm. La profundidad del lecho se hace entre 0,6 y 0,75 m.

2.1.5 Grava. La grava se coloca sobre el sistema de drenaje, cuando este lo requiere y tiene el propósito de servir de soporte al lecho de arena durante la operación de filtrado para evitar que se escape por los drenes y también de distribuir el agua de lavado. La geometría del filtro depende en gran medida de las necesidades de filtración y de las condiciones del sitio de ubicación.

La velocidad de filtración la determina el lecho filtrante y adicionalmente el costo que implica cambiar el proceso de filtración y el material filtrante. Los filtros lentos no son muy utilizados actualmente por su capacidad.

2.2 PROCESO DE FILTRACIÓN

El tratamiento de agua potable consiste en hacer pasar el agua cruda, por distintos procesos para retirar los contaminantes que naturalmente posee, y así convertirla en agua apta para el consumo humano. Actualmente los procesos más utilizados para la purificación de dicha sustancia son la coagulación, la floculación, la sedimentación, la filtración y, por último, la desinfección. Los procesos nombrados anteriormente no pueden ser cambiados de orden, y ninguno puede ser eliminado;

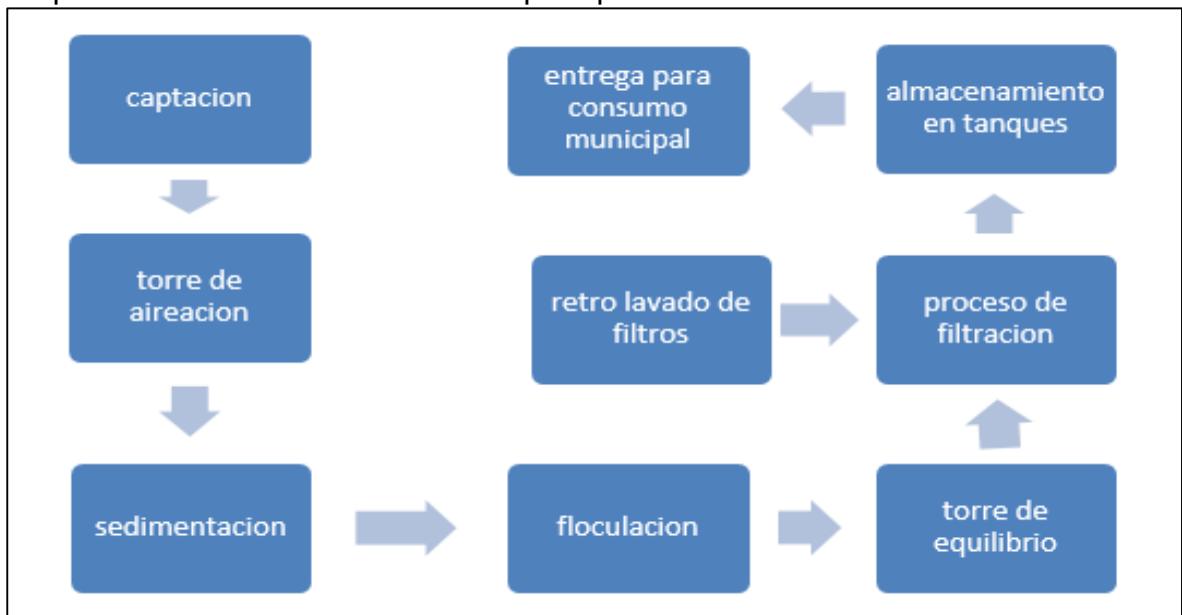
- ❖ La coagulación consiste en agregarle sustancias al agua como sulfato de aluminio o poli electrolitos para agrupar y encapsular los contaminantes
- ❖ La floculación contribuye a la agrupación de las partículas encapsuladas en la coagulación mediante agitadores mecánicos
- ❖ Mediante el proceso de sedimentación se hace circular agua lentamente para que los contaminantes se decanten en el fondo del tanque

⁷ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua: Teoría de la filtración del agua. 3 ed. Bogotá: McGraw Hill, 2000. p. 702

- ❖ Las aguas que han sido previamente decantadas se hacen pasar por medio de un proceso, el cual consiste en eliminar todas las partículas que no se atraparon en los procesos anteriores haciendo pasar el agua por filtros de arena o antracita
- ❖ La desinfección es la fase más importante, ya que aquí se garantiza la eliminación de los microorganismos presentes en el agua que puedan causar gran número de enfermedades, mediante un proceso que es bastante utilizado, el cual es la cloración, ya que es barato, sencillo, eficaz y posee acción residual⁸

Además de esto el abastecimiento de agua para uso doméstico comprende de una serie de fases, la captación, potabilización, almacenamiento, distribución y transporte, vigilancia y control, y los usos urbanos.

Esquema 2. Proceso de tratamiento para potabilización



Fuente: [en línea]. [citado en 25 de enero de 2.017]. Disponible en internet <<http://academic.uprm.edu/gonzalezc.pdf>>

⁸ Gobierno de Aragón. Así se potabiliza el agua. [En línea]. Zaragoza, [citado en 9 de febrero de 2.017]. Disponible en internet < <http://www.aragon.es/portal/site/GobiernoAragon> >

- ❖ La captación es el origen del abastecimiento. El agua bruta puede provenir de aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, canales...) o de aguas subterráneas

(pozos, manantiales). Cuanta mayor calidad tenga, menores serán los tratamientos de potabilización a los que habrá que someterla. En ocasiones se construyen depósitos de reserva de agua bruta, que aseguran el suministro durante un cierto tiempo en caso de cortes de la fuente de abastecimiento

- ❖ La potabilización se realiza en la planta potabilizadora y es el conjunto de tratamientos que permiten que el agua sea apta para el consumo humano. La desinfección es el tratamiento más importante
- ❖ Para la distribución y transporte, las redes de abastecimiento y suministro de agua deben tener la menor pérdida posible y circular por el suelo a mayor altura que las redes de aguas residuales, para evitar su contaminación en caso de pérdidas de aguas sucias
- ❖ En la vigilancia y control se realizan análisis químicos y biológicos de diversos parámetros del agua para asegurar su calidad y potabilidad tanto a la salida de la planta como en diversos puntos de la red de abastecimiento
- ❖ Los usos urbanos pueden ser domésticos, industriales, públicos, etc⁹

2.3 CONDICIONES ACTUALES PLANTA

2.3.1 Filtración en la planta. El agua que consume la población de Guasca, Cundinamarca, es tratada en el mismo municipio y administrada por Ecosiecha S.A. E.S.P., Actualmente y debido a las condiciones climáticas de Colombia la planta trabaja con caudales que en algunos casos extremos han sido aproximadamente de 25 l/s y con una gran cantidad de agua con un caudal de 75 l/s aproximadamente. Según la información entregada por operarios de la planta y directivos de la empresa Ecosiecha.

La planta es de tecnología mixta, con procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El proceso de filtración es compuesto por 10 unidades de filtración rápida y tasa declinante, de lecho filtrado y de lavado manual.

Actualmente la planta cuenta con dos baterías de filtros, compuestas cada una por una cantidad de 5 filtros, cada filtro posee dos válvulas de accionamiento, una válvula permite el paso de fluido para realizar la filtración y la otra permite el paso de fluido en contra corriente para realizar el retro lavado, por este motivo a cada una se le asignó una denotación por numero desde el numero 1 hasta el número 10 para lograr identificar cada una de las válvulas que se operen dentro de la secuencia.

⁹ Gobierno de Aragón. El largo camino del abastecimiento del agua. [En línea]. Zaragoza, [citado en 9 de febrero de 2.017]. Disponible en internet < <http://www.aragon.es/portal/site/GobiernoAragon> >

2.3.2 Retro lavado en la planta. El proceso de retro lavado se realiza por flujo ascendente con caudal proveniente del tanque de equilibrio (agua clarificada), en

este sistema se encuentra el caudal dividido en dos líneas de cinco filtros a presión con lechos de filtrado (características lecho filtrante tabla 3) compuesto de arenas en la primera línea y una segunda línea con lecho de arena más antracita (especificaciones y dimensiones filtros tabla 4).

Tabla 3. Características de lecho filtrante

Especificaciones	Antracita	Arena
Espesor (m)	0,66	0,6 – 1
Tamaño efectivo (mm)	1,2 - 2,5 mm	0,45 -1
Coefficiente de uniformidad	1,50	1,5 - 1,7
Gravedad específica	1,40	2,60
Porosidad	0,50	0,42
Coefficiente de esfericidad	0,70	0,80

Fuente: ECOSIECHA S.A.E.S.P. Manual de operaciones. Guasca, Cundinamarca

Tabla 4. Especificaciones y dimensiones de los filtros

Especificaciones y dimensiones de filtros	Medida	Dimensión
Tasa de filtración	2,82	Galones por minuto por pie ²
Número total de filtros por batería	5	Unidad
Diámetro de cada filtro	55,1181	Pulgadas
Entrada y salida de cada filtro	4	Pulgadas
Tapón inferior de desagüe	2	Pulgadas
Tubería cabezal de agua (alimentación)	6	Pulgadas
Tubería cabezal de agua (retro lavado)	6	Pulgadas
Tubería cabezal de agua (filtrada)	6	Pulgadas
Caudal de operación	50	gpm por cada litro
Caudal de lavado requerido	16 – 18	L.P.S por cada litro
Operación de filtrado y retro lavado (c/u 2 válvulas) bridadas tipo waffle	3	Pulgadas

Fuente: Manual de operaciones ECOSIECHA S.A.E.S.

2.4 DIAGRAMAS

2.4.1 Diagrama de flujo de procesos (PFD). Actualmente la planta no cuenta con el plano del diagrama de flujo de proceso de la planta, este plano es muy importante para el diseño de la solución, ya que mediante este mismo se concreta como es el funcionamiento general de la planta y como es el funcionamiento de filtración y retro lavado de filtros, por este motivo fue importante realizar una visita a la planta y de

este modo hacer un croquis general de cómo se encontraba ubicado cada uno de los componentes y elementos que se encontraban allí dispuestos.

Finalmente se entregó a la planta de ECOSIECHA S.A.S el diagrama de flujo, donde se evidencia el correcto funcionamiento de la planta y la ubicación específica de cada uno de los elementos que componen la planta, dicho plano se encuentra como anexo dentro de este trabajo de grado para observar con mayor claridad. Anexo A

3. DISEÑO

3.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El diseño del sistema parte inicialmente de los parámetros básicos y de los requerimientos funcionales que han sido establecidos por la empresa, de este modo se logrará establecer el diseño conceptual y el planteamiento de alternativas de solución correspondientes, los cuales nos brindarán una solución a la problemática planteada.

Para el diseño conceptual y el planteamiento de alternativas de solución la empresa ha suministrado los siguientes requerimientos básicos y funcionales;

- ❖ El sistema automatizado debe realizar el procesos de filtración y retro lavado de los filtros
- ❖ Reducir el consumo de agua para el retro lavado
- ❖ Reducir el tiempo que se emplea para el retro lavado de filtros
- ❖ Dejar la planta en un proceso de funcionamiento continuo, el cual contribuya a eliminar los paros en el proceso de filtración
- ❖ Evitar que el nivel en los tanques de almacenamiento de agua potable reduzca considerablemente
- ❖ Facilidad de mantenimiento
- ❖ Facilidad de operación
- ❖ Cumplir con normas de seguridad

3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se elaboran basándose en los requerimientos del cliente, este proyecto solo tiene la finalidad de reemplazar componentes y agregar una línea de tubería dentro de la planta de tratamiento de agua potable (P.T.A.P.). Los parámetros de diseño deben ser medibles y son los siguientes;

- ❖ Las nuevas válvulas tipo wafer automatizadas del diseño planteado deben tener las mismas características de las válvulas del diseño anterior, igual número de rating (rating 300) y mismo número de cedula (cedula 40) en las tuberías
- ❖ Los nuevos elementos de la planta deben instalarse para que trabajen con las características actuales del sistema. Como por ejemplo: el sensor de turbidez debe instalarse con base a la tubería actual de la planta, el sistema PLC debe instalarse en el cuarto de bombas que no se utiliza actualmente, las válvulas que

se encuentran en la parte inferior de los tanques no se deben reemplazar ya que no cuentan con una función en la planta

3.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

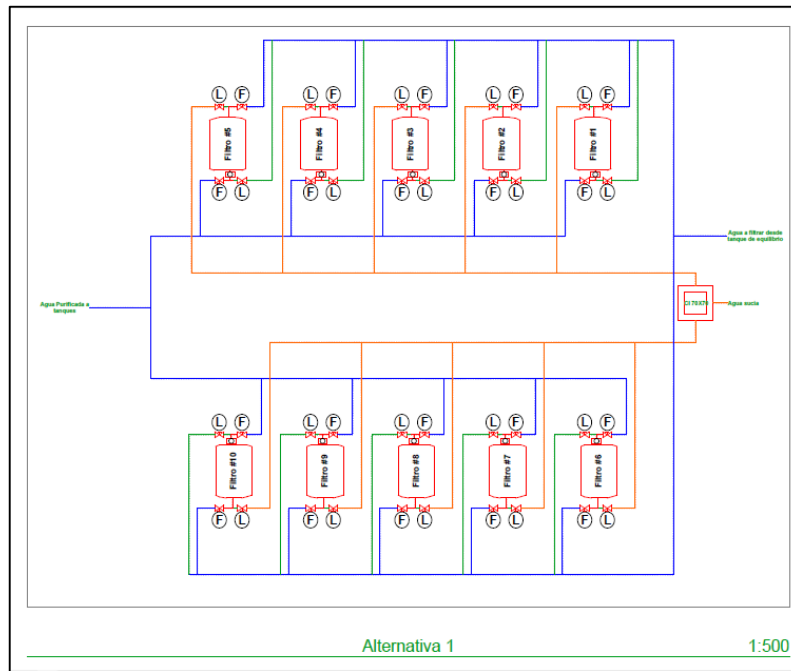
En el planteamiento de alternativas se tienen en cuenta los parámetros básicos, requerimientos funcionales, parámetros de diseño y el diseño que ha sido especificado por la empresa, también se debe tener en cuenta las operaciones necesarias para cumplir el proceso.

Se plantearon tres alternativas para dar solución a la problemática descrita del retro lavado de filtros, cada alternativa está representada con un gráfico en el cual se muestra que componentes posee, se da conocer como sería su posible instalación en la planta de tratamiento y cada alternativa tiene su respectiva descripción. Para observar más detalladamente los gráficos de las alternativas ir a los anexos del trabajo de grado.

Para evaluar y seleccionar la alternativa que cumpla con los requerimientos establecidos, se utilizará una tabla de calificación para evaluar cada alternativa, se tienen 3 aspectos en cuenta para determinar cuál es la alternativa que mejor satisface los aspectos, la alternativa que mayor puntaje obtenga será la alternativa elegida para dar solución a la problemática de este proyecto.

3.3.1 Alternativa 1. Retro lavado individual mediante sensores de turbidez.

Imagen 2. Alternativa 1



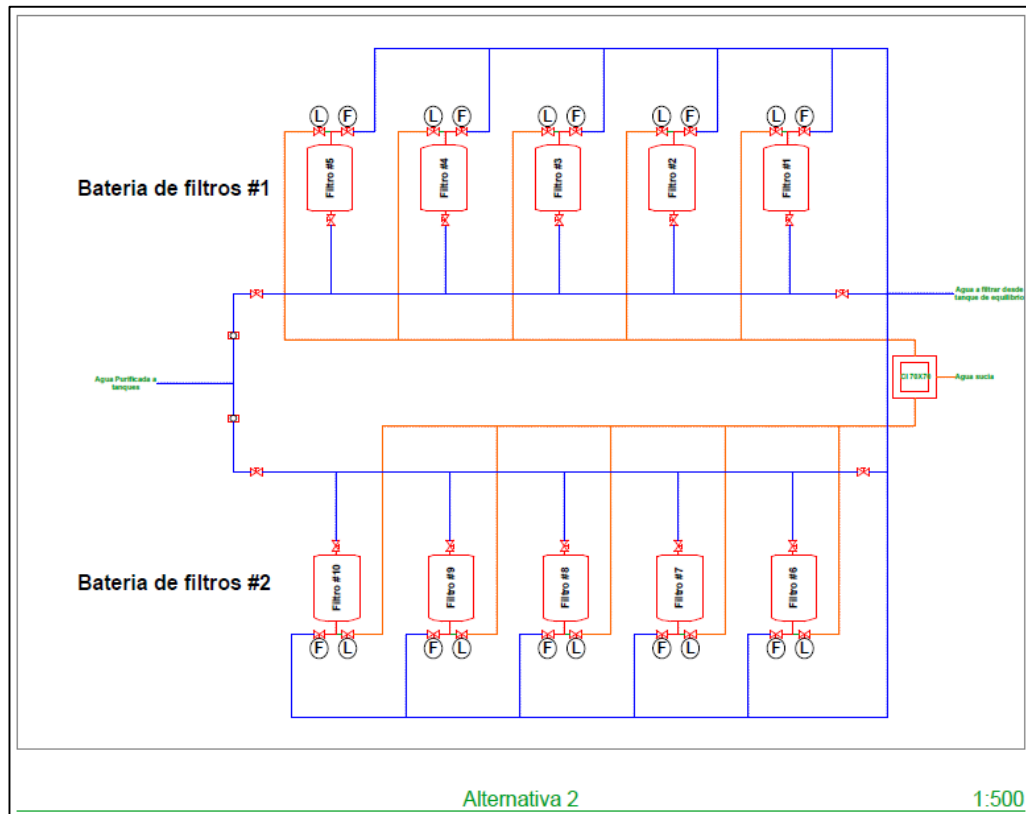
Descripción

A cada filtro se le incorporará un sensor de turbidez, dichos sensores estarán conectados a un PLC, los cuales enviarán una señal de voltaje a este mismo cuando se deba realizar el retro lavado individual de cada filtro, el PLC comandará la apertura y cierre de las válvulas, ya sea si se debe filtrar agua (F) o se debe realizar el retro lavado de filtros (L). Al detectar una gran variación de voltaje el sensor envía la señal al PLC indicando que la turbidez ha cambiado y es momento de realizar retro lavado cerrando las válvulas (F) del respectivo filtro sucio, con un temporizador se controlará el tiempo de retro lavado del filtro, mientras que los demás filtros operan de forma normal.

Para que el sistema funcione completamente automatizado y realice el retro lavado de filtros individualmente, se deberán conectar diez líneas de tubería nueva a la conexión ya existente para garantizar que al momento de realizar el lavado de un filtro los demás sigan realizando el proceso de purificación de agua. Adicionalmente se deben incorporar diez válvulas nuevas las cuales independizarán el funcionamiento y el lavado de cada filtro por separado. Anexo B

3.3.2 Alternativa 2. Retro lavado por batería de filtros con sensor de turbidez

Imagen 3. Alternativa 2

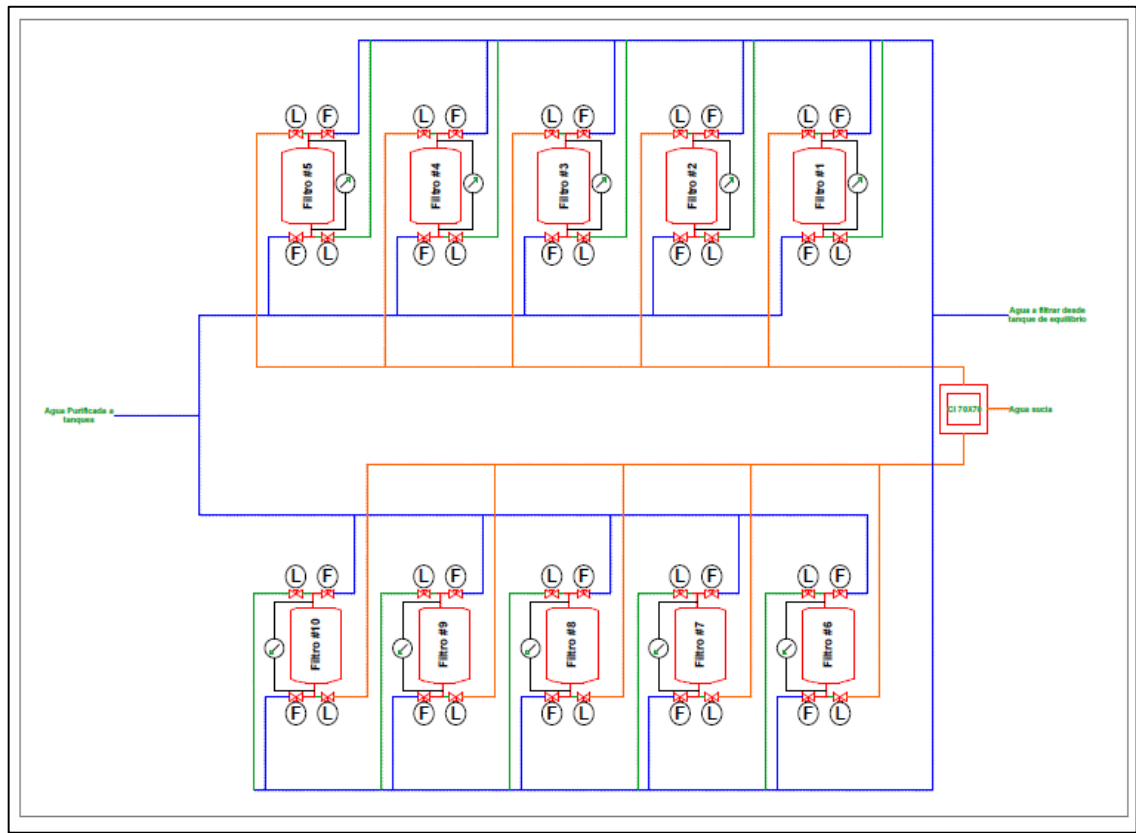


Descripción

Se incorporarán un sensor de turbidez localizado justo en el final de la tubería de filtración, de esta manera el sensor de turbidez controlará la señal de la batería de filtros #1 y la señal de la batería de filtros #2, este sensor enviará una señal de voltaje a un PLC el cual controlará la apertura y cierre de válvulas, tanto de lavado como de filtrado, el lavado de los filtros se realizará lavando primero una batería de filtros (cada batería comprende 5 filtros), de esta manera se realizará primero el lavado de 5 filtros al mismo tiempo para luego realizar el lavado de los filtros faltantes. Anexo B

3.3.3 Alternativa 3. Sensores con medidores de presión

Imagen 4. Alternativa 3



Descripción

Cada filtro tendrá incorporado sensores de cambios de presión en su respectiva entrada y salida. Cuando se detecte un elevado cambio de presión en algún filtro este saldrá de servicio realizando su respectivo retro lavado, el cambio de presión enviará una señal a un PLC el cual regulará la apertura o cierre de las válvulas para realizar el lavado de filtros o purificar agua, al colocar un medidor de presión en cada uno de los filtros se garantizará que el proceso de purificación de agua se siga realizando en los filtros restantes, al igual que en la alternativa número 1, en esta alternativa se debe incorporar diez líneas de tubería nueva para garantizar el lavado de filtros independizado y de igual manera se debe incorporar 10 válvulas nuevas para que el proceso se realice manera satisfactoria. Anexo B

3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Todas las alternativas cumplen con los requerimientos de solución, para elegir cual es la solución más adecuada se plantean los siguientes parámetros de selección;

- ❖ Menor disminución de los niveles en los tanques
- ❖ Complejidad del diseño hidráulico y automatizado
- ❖ Costos de fabricación

Alternativa 1. Es una alternativa muy efectiva para obtener una menor disminución de niveles en los tanques ya que solo se detiene un filtro sucio en específico por un determinado tiempo, pero esta alternativa requiere una línea de tubería para cada batería de filtros y agregar una válvula adicional en cada filtro, haciendo el diseño mucho más complejo, llevando a la empresa a detener la P.T.A.P. perjudicando a los habitantes de Guasca. Además, resultaría más costosa la fabricación de la alternativa, llevando a diseñar una red hidráulica para la P.T.A.P. de Guasca. Por tal motivo es una alternativa muy compleja y costosa que no es conveniente para el personal de Ecosiecha S.A.E.S.P. Anexo B

Alternativa 2. Con esta alternativa los niveles en los tanques disminuyen más que en las otras, pero el flujo de agua hacia los tanques no se interrumpe. El diseño resulta menos complejo ya que se utilizará el diseño hidráulico actual de la planta solo se agregarán una línea corta de tubería, se cambiarán las válvulas por unas automatizadas y se agregará solo un sensor de turbidez en el final de la tuberías de filtrado. Por tal motivo los costos de fabricación no serán tan elevados, siendo la mejor alternativa que solucione la problemática de la planta a un costo razonable, aprovechando la infraestructura actual sin necesidad de realizar cambios severos en el diseño de la planta. Anexo B

Alternativa 3. Maneja una elaboración parecida a la alternativa 1 tiene la misma complejidad de diseño, a diferencia en esta alternativa se utilizarán sensores de variación de presión los cuales son de gran tamaño, perjudicando la infraestructura de la cual dispone la planta actualmente, lo cual hace de mayor complejidad el diseño de la alternativa resultando más costosa y menos viable para solucionar la problemática. Anexo B

Para calificar las alternativas se utilizarán valores numéricos donde 3 es la mejor calificación y 1 la peor;

3. Ideal
2. Favorable
1. Menos favorable

Tabla 5. Selección de la alternativa

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ofrece menor disminución de los niveles de los tanques	3	2	3

Complejidad del diseño hidráulico y automatizado	1	2	1
Costos de fabricación	1	2	1
Valor total calificación alternativas	5	6	5

La alternativa que obtuvo mayor puntaje fue la alternativa 2 con un valor total de 6 puntos. Debido a que esta alternativa se ajusta al presupuesto dispuesto a ser empleado por la empresa Ecosiecha para solucionar la problemática, es el diseño que menor cantidad de cambios presenta en la infraestructura de la planta, de modo que se puede ahorrar dinero del proyecto porque no se modifica de forma severa el diseño actual de la planta y además es el diseño más sencillo (de las 3 alternativas) para llevar a cabo porque no se deben realizar demasiados paros de la planta para implementar esta alternativa de solución.

3.4.1 Diseño conceptual. Dentro del diseño conceptual se realiza una descripción más detallada del proceso que debe realizar la alternativa elegida como solución a la problemática planteada por la planta, este diseño parte inicialmente de los parámetros básicos y de los requerimientos funcionales, los cuales ya han sido detallados anteriormente en este capítulo. Anexo B alternativa 2

Los pasos que a continuación se describen para realizar el retro lavado de filtros son obligatorios y no se pueden suprimir o eliminar;

- ❖ La primera operación se realiza mediante el control permanente de la calidad de fluido que está circulando por la tubería, dicho control se verifica mediante un sensor de turbidez, el cual lleva el conteo de impurezas que están circulando, este sensor le enviará una señal al sistema del PLC (señal enviada en voltios) indicando que se debe realizar el retro lavado de filtros
- ❖ Una vez el PLC ha recibido la señal que le envía el sensor de turbidez, iniciará una secuencia la cual estará programada e instalada en la unidad de memoria de este aparato
- ❖ La secuencia opera durante un tiempo de 16 minutos, lo que quiere decir que este es el tiempo que durarán en ser lavadas por completo las dos unidades de baterías de filtros, dicha secuencia divide el lavado de filtros por dos tiempos, primero se realizará el lavado de la batería de filtros #1 (el lavado de esta unidad durará 8 minutos), una vez ha sido lavada por completo esta unidad se procederá a dar lavado a la batería de filtros #2 (el tiempo de lavado también durará 8 minutos), como primer paso de la secuencia se cerrará la válvula que dirige el fluido ya tratado hacia los tanques, esta válvula esta denotada como VT1 (batería de filtros #1) y VT2 (batería de filtros #2)

- ❖ Una vez ha sido cerrada la válvula (VT1), se procede a cerrar las válvulas que permiten la filtración del fluido las cuales han sido denotadas con la letra (F), cada batería cuenta con la cantidad de 5 filtros, por este motivo las válvulas mantienen esta marca de identificación (F1, F2, F3, F4, F5)
- ❖ Cuando ya han sido cerradas las 5 válvulas de filtración, se dará apertura a la válvula VF1 (esta válvula permite la circulación de fluido para ser utilizada en el retro lavado)
- ❖ Inmediatamente la válvula VF1 ha sido abierta, se dará apertura a las válvulas que permiten el lavado, para este caso han sido denotadas con la letra (L) (para indicar válvula de lavado), de igual manera que las válvulas (F), se abrirán de manera simultánea, dicha apertura durará como tiempo máximo 8 minutos (tiempo que dura el retro lavado por batería), igualmente se cuentan con 5 válvulas de lavado por unidad de batería de filtros
- ❖ Cuando ya se ha realizado el lavado de filtros por completo la secuencia dará cierre a las válvulas de filtrado (L1, L2, L3, L4, L5) igualmente se cerrará la válvula VF1, así completando el lavado de esta batería de filtros, para que la batería de filtros culmine su proceso y continúe con su trabajo normal, dará apertura a las válvulas de filtración (F1, F2, F3, F4, F5), así mismo se abrirá la válvula de tanques VT1, para que el fluido que ya está siendo filtrado por esta batería sea enviado directo hacia los tanques de almacenamiento
- ❖ El proceso que realiza el PLC mediante la secuencia funciona igualmente para la batería de filtros #2, las denotaciones utilizadas para las válvulas son iguales (VT, VF, F, L), el único cambio que se realiza dentro de la secuencia es la numeración de dichas válvulas
- ❖ Para el caso de la válvula que dirige el fluido hacia tanques será (VT2), las válvulas que permiten la filtración del fluido serán (F6, F7, F8, F9, F10), la válvula que permite la circulación de fluido para realizar el retro lavado es (VF2), y las válvulas que circulan para retro lavado serán (L6, L7, L8, L9, L10)

Para el tiempo de retro lavado de filtros, se consultaron fuentes de información relacionadas con empresas de tratamiento de agua de agua potable, proyectos realizados en otros municipios y archivos relacionados con el desarrollo de plantas de tratamiento de agua potable. De estas fuentes se obtuvo que el tiempo de retro lavado debe ser menor de 30 minutos¹⁰, al tener presente esta cifra en un principio, se determina un tiempo más específico que oscila entre 8 a 15 minutos¹¹. Por este motivo se determinó que el tiempo de retro lavado para cada batería de filtro era de 8 minutos¹², ya que es el tiempo más adecuado para obtener agua tratada de calidad en el menor tiempo posible de retro lavado de filtros en la planta.

3.5 DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA

Después de realizada la selección de alternativas, dando como ganadora la alternativa 2 Retro lavado individual por batería de filtros con sensor de turbidez, se realizó el diseño detallado para el mejoramiento del retro lavado de filtros de la planta.

3.5.1 Diagrama de flujo de procesos (PFD). Actualmente la planta no cuenta con el plano del diagrama de flujo de proceso de la planta, este plano es de vital importancia para el diseño de la solución, ya que mediante este mismo se concreta como es el funcionamiento general de la planta y como es el funcionamiento de filtración y retro lavado de filtros, por este motivo fue importante realizar una visita a la planta y de este modo hacer el levantamiento de los procesos y las líneas de los mismos.

Finalmente se entregó a la planta de ECOSIECHA S.A.S un juego de planos con el diagrama de flujo, donde se evidencia el correcto funcionamiento de la planta con cada uno de los elementos que la componen, dicho plano se encuentra como anexo dentro de este trabajo de grado. Anexo A

3.5.2 Diagrama de proceso e instrumentación (P&ID) (líneas de control). Se realizó el levantamiento del diagrama de instrumentación y proceso (P&ID) de la situación actual de la planta. Sobre este, y con la alternativa de solución ganadora, se debe realizar un P&ID en cual se incluyan todas las líneas de control, con el cableado del sistema automatizado de las válvulas tipo wafer, los sensores de turbidez que van hacia el PLC y el sitio donde va a estar ubicado el PLC. Anexo R

¹⁰ Biblioteca virtual en desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE). Filtración rápida. [En línea]. [s.l.], [citado en 14 de marzo de 2.017]. Disponible en internet <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>>

¹¹ LOPEZ NUÑEZ, Angie consuelo y JIMENEZ SABOGAL, Brayan fernando. Manual de operación de agua potable San Antonio- asocioacion Sucuneta, tiempo de lavado. (Bogotá D.C., 2016).

¹² Panachlor S.A. Filtros de lecho profundo y su retrolavado. [En línea]. Manizales, Colombia, [citado en 14 de marzo de 2.017]. Disponible en internet <<http://panachlor.com/?p=1672>>

3.5.3 Válvulas de control. El sistema que funciona en la actualidad cuenta con un total de 31 válvulas tipo wafer de accionamiento manual para controlar el funcionamiento de retro lavado y filtración de la planta, en el nuevo diseño las válvulas se accionarán de manera automática con un actuador eléctrico rotatorio

incorporado a cada válvula tipo wafer, logrando de esta manera mantener un funcionamiento continuo de filtración y retro lavado en la planta.

Para la alternativa de solución ganadora se requieren instalar 24 válvulas tipo wafer automatizadas (Anexo F), las válvulas fueron seleccionadas del catálogo de la empresa AIRMATIC. Estas válvulas son versátiles, ya que controlan varios fluidos (aire, agua, gases inertes), para este caso en específico se seleccionaron válvulas hidráulicas con el fin de controlar el flujo de agua por los filtros.

Imagen 5. Válvula mariposa con actuador eléctrico rotativo



Fuente: Catálogo AIRMATIC válvulas de proceso

Las 24 válvulas tipo wafer o tipo mariposa van a poseer un actuador eléctrico rotativo cada una, estos actuadores eléctricos tienen la tarea de recibir una señal de voltaje del PLC la cual le indica cierre o apertura de las válvulas.

Imagen 6. Actuador eléctrico rotativo



Fuente: Catálogo AIRMATIC válvulas de proceso

Las hojas de datos (Datasheets) describen las características de condiciones de servicio de las válvulas y su respectiva información técnica. En estas hojas de datos se encuentra también la información técnica respecto al actuador eléctrico rotativo (Anexo G). Las hojas de datos se encuentran como anexos dentro de este trabajo de grado. Anexo C, D, E

Tabla 6. Válvulas de control

	Cantidad	Tamaño
Válvulas de alivio	1	6 pulgadas
Válvulas de tanques	1	6 Pulgadas
Válvulas de apertura para retro lavado	2	6 Pulgadas
Válvulas de filtración	10	4 Pulgadas
Válvulas de retro lavado	10	4 Pulgadas

3.5.4 Sensor de turbidez. Se necesita 1 sensor de turbidez que debe instalarse en la tubería al final de las baterías de tanques (ver P&ID anexo A), este sensor se instala en un conjunto de inmersión, su instalación se realiza en tubería, en soporte de flujo continuo con o sin colector de burbujas.

Este es un sensor óptico que funciona con base en la intensidad de luz que pasa a través del agua. Cuando la turbidez del agua tenga un valor por encima de 300 ppm el sensor enviará una señal al PLC indicando que es momento de hacer el retro lavado de los filtros. Las hojas de datos de este sensor están en el anexo C

Imagen 7. Sensor de turbidez turbimax CUS31



Fuente: Endress+Hauser

3.5.5 Lógica programable. La automatización de la planta estará gobernada mediante una secuencia funcional, la cual garantizará el proceso de filtración y retro lavado realizado por las válvulas, para que se logre de manera satisfactoria dicho proceso se describe a continuación de la siguiente manera;

La secuencia comienza cuando la señal de turbidez indica al PLC que es momento de hacer retro lavado (esta señal es medida en mV), el primer paso es cerrar la válvula que envía agua filtrada hacia los tanques (VT1), una vez se cierre esta válvula, se cerrarán las válvulas de filtración de la primera batería de filtros (F1,F2,F3,F4,F5), paso seguido se dará apertura a la válvula que permite la circulación de agua para el retro lavado (VF1). Una vez el fluido este circulando por la tubería de retro lavado se abrirán las válvulas de lavado (L1,L2.L3,L4,L5), estas válvulas durarán abiertas por un tiempo de 8 minutos (tiempo calculado para el lavado de filtros).

Cuando haya transcurrido este tiempo las válvulas de retro lavado (L1,L2.L3,L4,L5) se cerrarán y del mismo modo se cerrará la válvula que permite la circulación de fluido para el lavado de filtros, cuando se haya realizado el correspondiente lavado de filtros por batería, se abrirán las válvulas de filtración (F1,F2,F3,F4,F5) las cuales permiten que se realice el filtrado de agua. Para finalizar este proceso dando apertura a la válvula de tanques (VT1), esta válvula permite que se dirija agua ya purificada hacia los tanques de almacenamiento. En la tabla 7 del listado de instrucciones se observa la secuencia del sistema

Se debe tener en cuenta que por la disposición de la planta la batería de filtros número 2 es similar a la batería de filtros número 1, por este motivo el sistema de la secuencia se emplea de modo similar para la batería de filtros número 2, haciendo la anotación de que el único parámetro que cambia es la asignación de la nomenclatura asignada.

Tabla 7. Secuencia PLC

VT1 ⁻	F1 ⁻ F2 ⁻ F3 ⁻ F4 ⁻ F5 ⁻	VF1 ⁺	L1 ⁺ L2 ⁺ L3 ⁺ L4 ⁺ L5 ⁺	L1 ⁻ L2 ⁻ L3 ⁻ L4 ⁻ L5 ⁻	VF1 ⁻	F1 ⁺ F2 ⁺ F3 ⁺ F4 ⁺ F5 ⁺	VT1 ⁺	VT2 ⁻	F6 ⁻ F7 ⁻ F8 ⁻ F9 ⁻ F10 ⁻	VF2 ⁺	L6 ⁺ L7 ⁺ L8 ⁺ L9 ⁺ L10 ⁺	L6 ⁻ L7 ⁻ L8 ⁻ L9 ⁻ L10 ⁻
------------------	---	------------------	---	---	------------------	---	------------------	------------------	--	------------------	--	--

Tabla 7. (continuación)

VF2 ⁻	F6 ⁺ F7 ⁺ F8 ⁺ F9 ⁺ F10 ⁺	VT2 ⁺
------------------	--	------------------

VT = Válvula tanque. (+)= apertura (1) F = Filtrado.
VF = Válvula filtro. (-)= cierre (0) L = Lavado.

Junto a esta secuencia del PLC va anexo su respectivo lenguaje graphset, con el fin de entender de manera más precisa el proceso de retro lavado con el sistema automatizado (Anexo S). Los componentes que controlará esta secuencia estarán definidos mediante las siguientes identificaciones

Tabla 8. Identificaciones componentes

COMPONENTE	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Válvula hacia tanques	VT	Válvula que permite el envío de fluido filtrado hacia tanques de almacenamiento
Válvula de filtración	VF	Válvula que permita el paso del fluido para iniciar el proceso de retro lavado
Válvula para filtración	F	Válvula que permite el paso del fluido a ser filtrado
Válvula de lavado	L	Válvula individual que realiza el retro lavado por filtro individual

3.5.6 Controlador lógico programable (PLC). Para lograr un funcionamiento correcto de la optimización y la automatización, se requiere de la implementación de

dispositivos que sean capaces de controlar el proceso que ha sido tratado a lo largo de este trabajo, por este motivo se deben tener en cuenta unos parámetros de selección a la hora de asignar el controlador lógico programable (PLC) que vaya a manejar cada uno de los dispositivos dentro del sistema automático.

El controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo capaz de ser controlado utilizando un lenguaje de programación, para realizar un proceso de automatización industrial, utiliza señales de entrada y salida, las cuales pueden ser digitales o análogas, para la selección del PLC que controlará el sistema de automatización se determinaron unos factores;

- ❖ Entradas digitales (mínimo 60)
- ❖ Salidas digitales (mínimo 60)
- ❖ Voltaje de alimentación de 24 V DC
- ❖ Facilidad de programación
- ❖ Resistencia a factores medio ambientales en la planta

Teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente se consultó la página de la empresa MITSUBISHI ELECTRIC y se seleccionó un controlador lógico programable FX3U (imagen 8), los datos técnicos del PLC en el Anexo I

Imagen 8. Controlador lógico programable (FX3U)



Fuente: RHONA. [en línea]. [Citado en 12 de mayo de 2.017]
Disponible en internet <<https://www.rhona.cl>>

Imagen 9. Datos técnicos PLC

Especificaciones	FX3GE-24MR/ES	FX3GE-24MT/ESS	FX3GE-24MR/DS	FX3GE-24MT/DSS	FX3GE-40MR/ES	FX3GE-40MT/ESS	FX3GE-40MR/DS	FX3GE-40MT/DSS	
Número de E/S (direcciones)	Máx. 256 direcciones en total (suma de E/S locales y descentralizadas conectadas a través de la red CC-Link)								
Rango de información	Máx. 128 E/S referenciables directamente y máx. 128 E/S descentralizadas								
Fuente de alimentación	100–240 V AC, 50/60 Hz		24 V DC		100–240 V AC, 50/60 Hz		24 V DC		
Memoria del programa	EEPROM integrada para 32.000 pasos, casete de memoria intercambiable EEPROM para un cambio sencillo de programa								
Tiempo de procesado	0,21 µs o 0,42 µs por instrucción básica								
Entradas integradas	Número de entradas	2 analógicas/14 digitales				2 analógicas/24 digitales			
	Tensión de las señales de entrada	24 V DC ($\pm 10\%$), se pueden seleccionar sensores de lógica positiva o negativa							
	Rango analógico de entrada	Tensión: 0 a 10 V DC, Corriente: 4 a 20 mA DC							
	Resolución de las entradas analógicas	Tensión: 2,5 mV (10 V/4000), Corriente: 5 µA (16 mA/3200)							
Salidas integradas	Número de salidas	1 analógica/10 digitales				1 analógica/16 digitales			
	Tensión de conmutación	Max. 240 V AC, Max. 30 V DC	5–30 V DC	max. 240 V AC, max. 30 V DC	5–30 V DC	max. 240 V AC, max. 30 V DC	5–30 V DC	max. 240 V AC, max. 30 V DC	5–30 V DC
	Tipo de salida	Relé	transistor	relé	transistor	relé	transistor	relé	transistor
	Máx. corriente de conmutación en salidas de relé	2 A	0,5 A	2 A	0,5 A	2 A	0,5 A	2 A	0,5 A
		8 A ^①	0,8 A ^①	8 A ^①	0,8 A ^①	8 A ^①	0,8 A ^①	8 A ^①	0,8 A ^①
	Rango analógico de salida	Tensión: 0 a 10 V DC, Corriente: 4 a 20 mA DC							
Contador de alta velocidad	Resolución de la salida analógica	Tensión: 2,5 mV (10 V/4000), Corriente: 4 µA (16 mA/4000)							
	Número de contadores de alta velocidad	21 en total, formados por 16 contadores monofase (C235–C250) y cinco contadores bifase (C251–C255)							
	Rango del conteo:	-2.147.483.648 a 2.147.483.647							
Ethernet	Velocidad de transferencia	100 Mbit/s / 10 Mbit/s							
	Método de comunicación	Dúplex completo/ semidúplex							
	Clase de transmisión	Banda básica							
	Longitud máxima de segmento	100 m							
Condiciones ambientales	Temperatura ambiente: 0–55 °C, Humedad relativa: 5–95 %								

Fuente: Mitsubishi electric.[en línea]. [Citado en 12 de mayo de 2.017]. Disponible en internet <<https://es3a.mitsubishielectric.com/fa/es>>

Nota: Dentro de las especificaciones técnicas del PLC se hace anotación de que aparecen integradas 14 entradas digitales y 24 salidas digitales, sin embargo el PLC de la serie FX, en este caso FX3U es totalmente expandible y cuenta con una alcance de 60 entradas digitales y 64 salidas digitales.

Para la instalación y programación del PLC se deben revisar los planos que se encuentran anexos en este documento, ya que estos son de vital importancia para entregarle un buen uso a los dispositivos. Anexos J, K

3.5.7 Modelado de la planta (isométrico 3D). La planta de tratamiento no contaba con un diseño detallado de la red hidráulica (zona de filtros) que permitiera diseñar la alternativa seleccionada, por este motivo se realizó el levantamiento isométrico de dicha red hidráulica, identificando cada uno de los componentes con los que actualmente la zona de filtración cuenta, los planos del levantamiento isométrico se encuentran anexos en este trabajo.

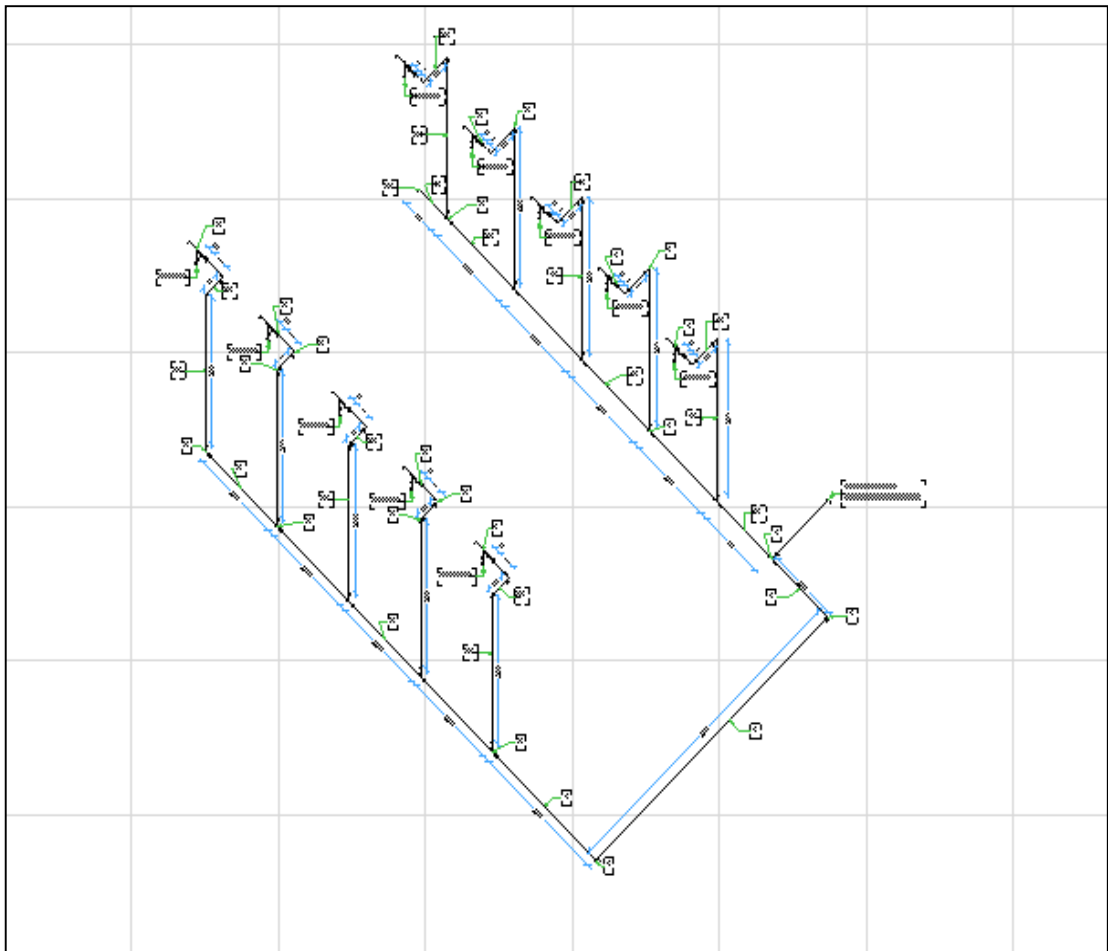
La red hidráulica que pasa por los filtros se dividió en tres zonas;

- ❖ Tubería de filtrado
- ❖ Tubería de retro lavado
- ❖ Tubería de agua filtrada

La división de estas tuberías contribuyó a comprender mejor el funcionamiento de cada uno de los componentes que se presentan en la red hidráulica, se identificó la cantidad total de elementos que comprenden cada una de las líneas de tubería, así mismo fue uno de los principales componentes para el diseño de la alternativa de solución que actualmente está siendo presentada.

3.4.6.1 Tubería de filtrado. La red de filtrado posee actualmente 10 válvulas tipo mariposa bridadas y de accionamiento manual, 20 codos de 90 grados con un diámetro de 4 pulgadas y 3 codos de 90 grados con un diámetro de 4 pulgadas, esta tubería recibe el fluido desde el tanque de equilibrio por una tubería de 6 pulgadas donde finalmente se encuentra con una reducción de tubería de 4 pulgadas, cada una de las líneas de tubería está unida por una cantidad de 10 tee de diámetro de 4 pulgadas y 11 tee de diámetro de 6 pulgadas, la cantidad de tubería en metros para el diámetro de 6 pulgadas es de (18.69 metros) y la cantidad de tubería en metros para el diámetro de 4 pulgadas es de (22.15 metros). Ver anexo M

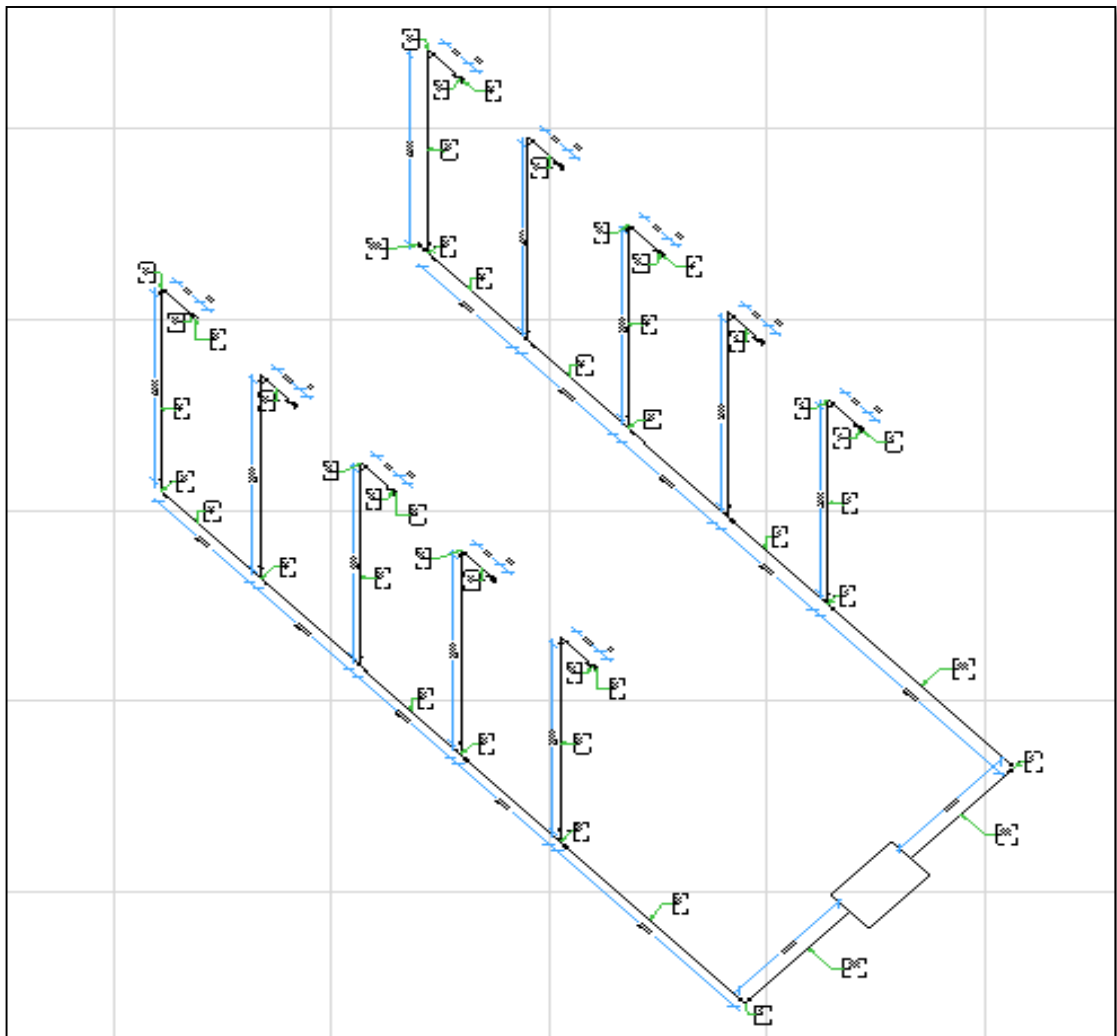
Imagen 10. Red de tubería de filtrado



3.5.7.2 Tubería de retro lavado. La tubería de retro lavado es una de las más importantes dentro de estos sistemas ya que esta es la que le da una mayor vida útil a los filtros que se presentan en la planta, esta tubería posee actualmente un total de 10 válvulas tipo mariposa bridadas y de accionamiento manual, 11 codos de 90 grados con diámetro de 4 pulgadas y 1 codo de 90 grados con diámetro de 6 pulgadas, para la unión de la tubería se cuenta con 9 tee con un diámetro de 6 pulgadas, la cantidad de tubería en metros para el diámetro de 6 pulgadas es de (16.83 metros de largo) y la cantidad de tubería en metros para el diámetro de 4 pulgadas es de (22.8 metros de largo).

Esta red envía el agua que lleva impurezas hacia un caja de inspección la cual redirige este fluido hacia una finca. Ver anexo O

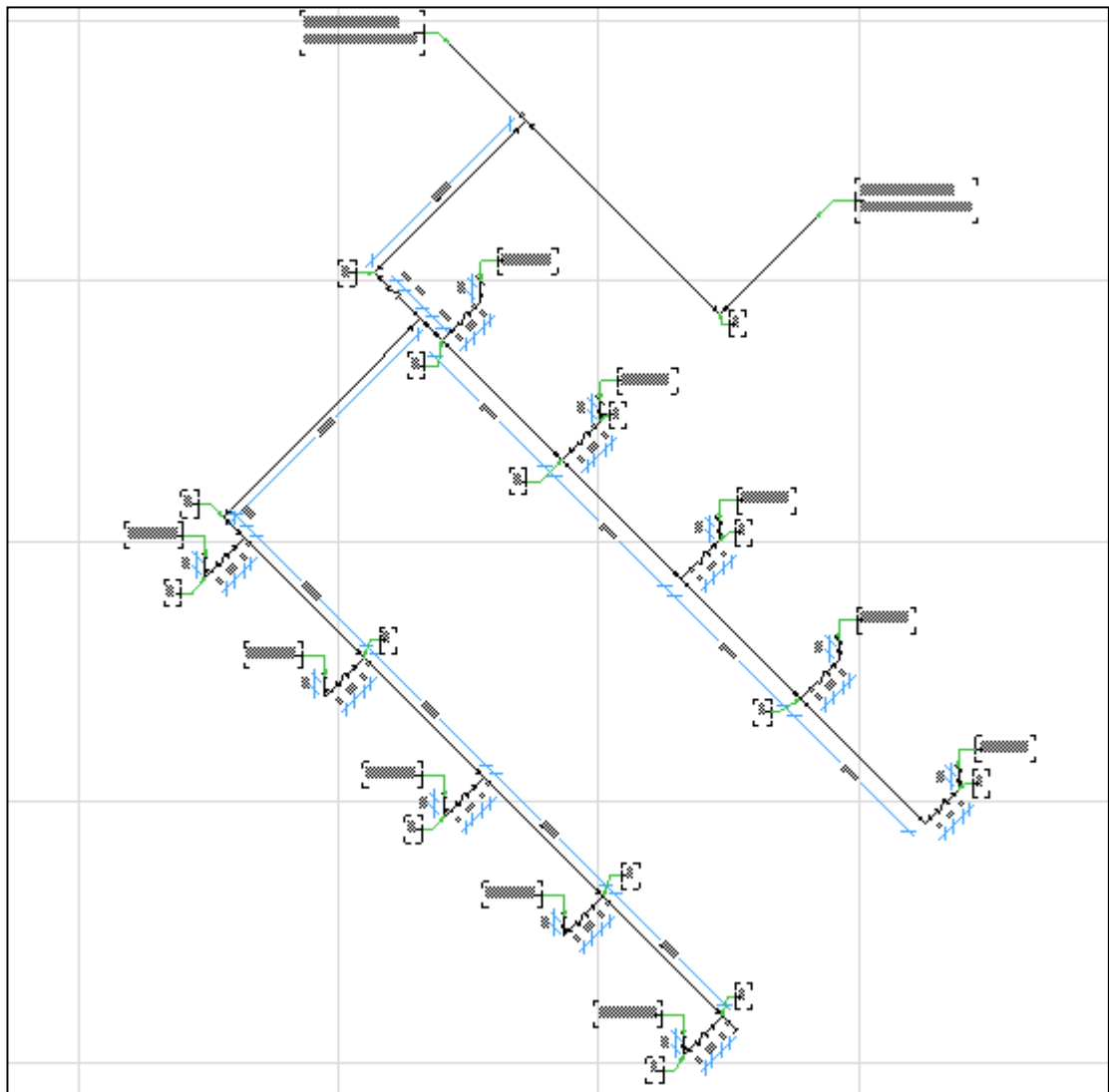
Imagen 11. Red de tubería de retro lavado



3.5.7.3 Tubería de agua filtrada. La tubería que entrega a diario el agua que es filtrada dentro de la planta cuenta con los siguientes elementos, 10 válvulas tipo mariposa con un diámetro de 6 pulgadas y de accionamiento manual, 11 codos de 90 grados con un diámetro de 6 pulgadas, 3 codos de 90 grados con un diámetro de 4 pulgadas, 1 tee con diámetro de 4 pulgadas, la cantidad de tubería en metros para el diámetro de 6 pulgadas es de (11.25 metros de largo) y la cantidad de tubería para el diámetro de 4 pulgadas es de (3.69 metros de largo).

La tubería sé que presenta en esta red se dirige hacia dos tanques, un tanque #1 con una capacidad de 161.000 litros (161 m^3) y hacia un tanque #2 con una capacidad de 131.000 litros (131 m^3). Ver anexo K

Imagen 12. Red de tubería de agua filtrada



3.5.8 Indicaciones de modificación. Para lograr un funcionamiento correcto de la optimización se requiere de la instalación y el cambio de algunos elementos esenciales al momento de realizar la automatización dentro del sistema hidráulico, el cambio de estos componentes garantizará que la secuencia de filtración y retro lavado que ha sido descrita anteriormente cumpla con los requisitos establecidos para su correcto funcionamiento.

Dentro de la modificación se realizó el plano isométrico en 3D de cada una de las líneas de tubería que compone el sistema hidráulico (tubería de filtración, tubería de retro lavado, tubería entrega de tanques), en estos mismos se especifica cada uno de los componentes que deben ser reemplazados, así como su debida acotación y simbología.

3.5.8.1 Modificación (tubería de filtración). Las 10 válvulas que actualmente se utilizan (válvulas tipo mariposa de accionamiento manual), serán sustituidas por 10 válvulas tipo wafer de actuador automatizado, estas válvulas deben presentar el mismo tamaño y dimensión tener un diámetro de 4" (pulgadas) para que su instalación sea acorde con los requerimientos en planta.

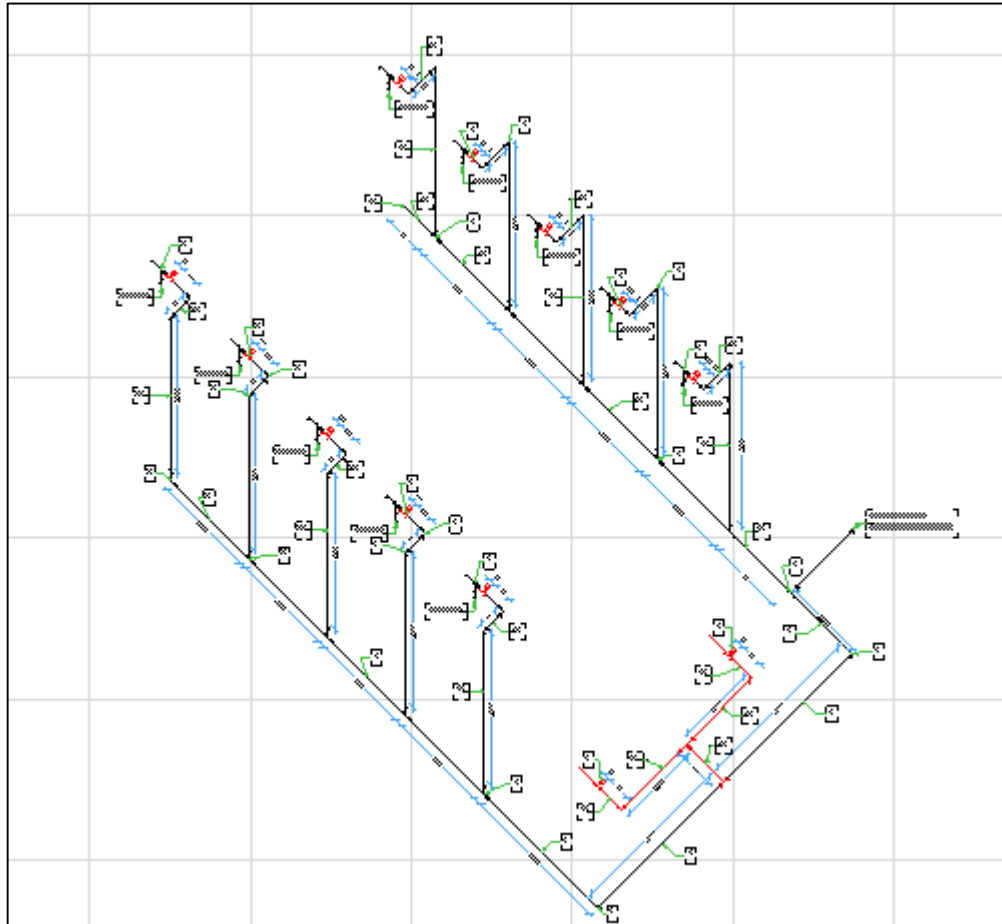
La red hidráulica que se presenta actualmente debe ser modificada en un tramo de sección, logrando de esta manera que la secuencia de automatización presentada funcione correctamente, además de esto se deben anexar 2.10 metros de tubería nueva donde se realizara la instalación de las válvulas denominadas (VF1 y VF2), las indicaciones y cambios en tuberías se presentan a continuación

Tabla 9. Elementos de modificación (tubería de filtración)

ELEMENTOS A REEMPLAZAR (TUBERIA DE FILTRACION)			
Componente	Tamaño	Descripcion	Cantidad
Valvulas	4" (diámetro)	SCH 40, Valvula Mariposa,automatizable, Bridada	12
Tuberia	6"	SCH 40, Tubo, Socket Weld,PVC	2,10 m
Codos	6 "	SCH 40, Codo 90°, Socket Weld, PVC	2
Tee	6"	SCH 40, Tee, Socket Weld, PVC	2

El plano anexo N indica en color rojo cada una de las modificaciones que se debe realizar, en este mismo se especifica cada uno de los cortes que se debe realizar con su debida acotación, indicando cada uno de los elementos (codos, tee), los cuales son complementos para la unión de la tubería que se instalara

Imagen 13. Plano isométrico (modificación tubería de filtrado)



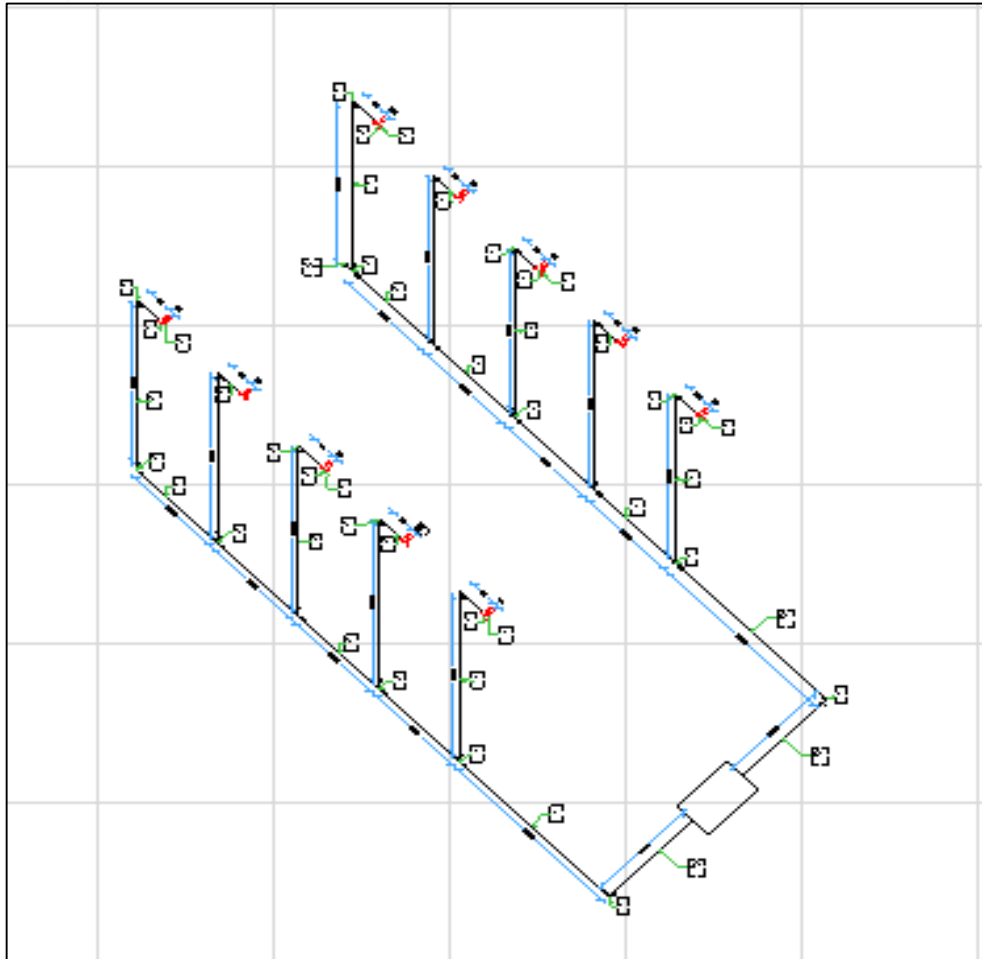
3.5.8.2 Modificación (tubería retro lavado). La tubería que actualmente presenta la red de retro lavado no sufrirá ninguna modificación, en ella solo se realizará el cambio de las 10 válvulas tipo mariposa que actualmente se utilizan por las válvulas tipo mariposa de accionamiento automatizado, estas válvulas cumplirán con la función de regular, dar apertura y cierre al paso del fluido al instante. También de realizar el retro lavado (una vez el PLC corra la secuencia instalada).

Tabla 10. Elementos de modificación (tubería de retro lavado)

ELEMENTOS A REEMPLAZAR (TUBERIA DE FRETRO LAVADO)			
Componente	Tamaño	Descripcion	Cantidad
Valvulas	4" (diametro)	SCH 40, Valvula Mariposa,automatizable, Bridada	10

Adjunto se encuentra el anexo P del plano en color rojo se indica cada una de las modificaciones pertinentes en esta red de tubería y del cambio de componentes que ha de aplicar, así mismo se indica las dimensiones y acotaciones que se deben tener en cuenta al momento de realizar la instalación.

Imagen 14. Plano isométrico (modificación tubería de retro lavado)



3.5.8.3 Modificación (tubería de agua filtrada). Al igual que la tubería de filtración, la red de tubería que actualmente se presenta en la línea que entrega el fluido tratado hasta los tanques de almacenamiento, se debe modificar en uno de sus tramos para lograr cumplir con la secuencia de automatización que ha sido programada en la memoria del PLC

Se deben instalar 2 válvulas tipo mariposa con un diámetro de 4" (pulgadas), estas válvulas son las que han sido denominadas con la marca (VT1, VT2), estas válvulas independizarán el retro lavado de cada una de las baterías de filtros, garantizando que mientras una batería se encuentra en lavado, la otra batería cumplirá con la función de seguir purificando y tratando el fluido que es enviado desde el tanque de equilibrio.

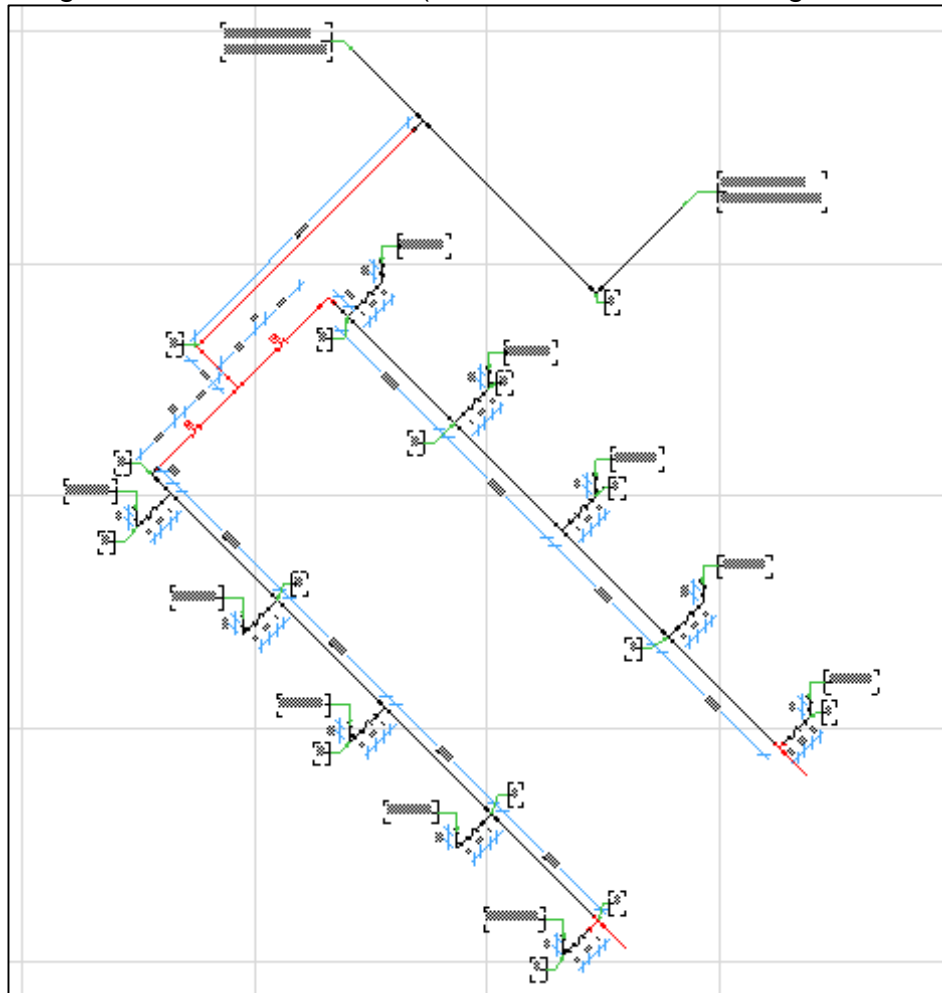
Se deben incorporar en total 2.83 metros de tubería en PVC y realizar el cambio de codos y tee, de tal manera que la circulación del fluido no interfiera con las dos redes de tubería anteriormente mencionadas, cada uno de los cambios y modificaciones

que se presentan se pueden observar en el plano anexo L, donde se indica acotación, elementos a cambiar y ubicación de los componentes al momento de realizar la instalación.

Tabla 11. Elementos de modificación (tubería de agua filtrada)

ELEMENTOS A REEMPLAZAR (TUBERIA DE AGUA FILTRADA)			
Componente	Tamaño	Descripcion	Cantidad
Valvulas	4" (diametro)	SCH 40, Valvula Mariposa,automatizable, Bridada	2
Tuberia	4"	SCH 40, Tubo, Socket Weld,PVC	2,83m
Codos	4"	SCH 40, Codo 90°, Socket Weld, PVC	2
Tee	4"	SCH 40, Tee, Socket Weld, PVC	2

Imagen 15. Plano isométrico (modificación tubería de agua filtrada)



3.6 RED HIDRAULICA

La red hidráulica que actualmente se encuentra instalada, cuenta con tubería de PVC de diferente diámetro, en la línea de filtración se encuentra con un diámetro de 4 pulgadas (SCH 40), la línea de retro lavado maneja un diámetro de 4 pulgadas (SCH 40) y la línea que entrega el agua que ha sido filtrada usa un diámetro de 6 pulgadas (SCH 40). El fluido que es tratado, después enviado hacia dos tanques de almacenamiento con capacidad de (tanque #1 - $161 m^3$) y (tanque #2- $131 m^3$), para el retro lavado actualmente se utilizan aproximadamente $50 m^3$ de agua por cada lavado. Según directivos Ecosiecha y operarios de la planta.

Con este volumen de fluido que es empleado actualmente y con el caudal del consumo actual que presenta la población, se calculará cual es el tiempo real que en la actualidad se emplea para cada uno de los lavados de filtros que realiza la planta;

$$Q_{Consumo\ del\ pueblo} = 18 \frac{L}{S} \text{ al dia} = 0.018 \frac{m^3}{S} \text{ al dia}$$

$$Volumen\ (retro\ lavado) = 50 m^3$$

$$Tiempo\ de\ retro\ lavado = \frac{50 m^3}{0.018 \frac{m^3}{S}} = 45min$$

Durante los lavados de filtros que se realizan a diario en la planta (4 al día) con un tiempo de lavado de 45 minutos y por los cierres que se deben realizar en la tubería que dirige el fluido hacia los tanques, estos tanques presentan una disminución de nivel aproximadamente entre ($45 m^3$ - $50 m^3$ por cada retrolavado). Según la información otorgada por directivos Ecosiecha y operarios de la planta.

3.6.1 Red hidráulica (sistema optimizado). La automatización y optimización del sistema de lavado, contribuirá en la disminución de tiempo que es empleado para realizar el retro lavado de filtros, el sistema que se empleará tiene como objetivo reducir el tiempo que actualmente es empleado de (45 minutos) hasta un tiempo máximo de (8 minutos por batería), en conocimiento de que la planta cuenta con dos baterías de filtros el tiempo total estimado para el nuevo lavado de filtros será de (16 minutos) en total.

La solución de automatización que ha sido empleada garantizará que la operación de la planta será continua, por consiguiente al momento de realizar el lavado de filtros no habrá cierre de válvulas que permiten el paso del fluido filtrado hasta los tanques de almacenamiento, cuando una batería de filtros se encuentre en su respectivo lavado, la batería restante operará y filtrará agua sin ningún

inconveniente, con este nuevo tiempo de lavado, se determinará el volumen que se disminuirá en los tanques de almacenamiento, una vez haya sido implementado el sistema de automatización en la planta;

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo de retro lavado} \\ & (\textit{sistema automatizado}) = 8 \textit{ minutos} * 2 \textit{ baterias} = 16 \textit{ minutos} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Caudal Retro lavado (sistema automatizado)} \\ & = 20 \frac{L}{s} \textit{ por retro lavado} \div 2 \textit{ baterias} = 10 \frac{L}{s} \end{aligned}$$

$$\textit{Caudal (consumo del pueblo)} = 18 \frac{L}{s}$$

$$\Delta \textit{Caudal Empleado} = 18 \frac{L}{s} - 10 \frac{L}{s} = 8 \frac{L}{s}$$

Δ Volumen

$$(\textit{disminución en tanques}) = 8 \frac{L}{s} * 16 \textit{ minutos} * \frac{60 \textit{ segundos}}{1 \textit{ minuto}} = 7680 L = 7,68 m^3$$

$$\eta(\textit{Eficiencia}) = \frac{50 m^3 - 7,68 m^3}{50 m^3} = 0.8464 = 84,64 \%$$

El sistema de automatización que se plantea a lo largo de este trabajo, logra contribuir en un 84.64%, respecto a la disminución de niveles en los tanques de almacenamiento que se presentaban anteriormente. Siendo 8 minutos el tiempo de retro lavado mínimo para obtener los mejores resultados durante el proceso (agua tratada de calidad en el menor tiempo de retro lavado posible).

Ya que en el proceso que actualmente se utiliza para el retro lavado en la planta, las perdidas en los niveles de tanques de almacenamiento se alcanzan hasta los ($50 m^3$), una vez el sistema de automatización sea implementado los niveles de almacenamiento se reducirán ($7,68 m^3$).

4. MANUALES

Los manuales, dentro de cualquier proceso industrial o máquina, cumplen y establecen pautas, recomendaciones y procedimientos que deben ser tenidos en cuenta en el momento de realizar cualquier operación, buscando minimizar riesgos, evitar paros innecesarios y así mismo prolongar la vida útil de los equipos que se encuentran en funcionamiento.

4.1 MANUAL DE MONTAJE

Para la instalación de cada uno de los componentes que se agregarán en la planta, se deben tener en cuenta distintas recomendaciones y pasos a seguir para garantizar que el sistema funcionará correctamente y no presentará ninguna falla, las recomendaciones y pasos que se establecerán a continuación no deben ser omitidos.

4.1.1 Adecuación de la zona. El primer paso es adecuar el sitio donde se va encontrar ubicado el controlador lógico programable (PLC), se debe tener en cuenta que donde se encuentre ubicado este módulo, se debe realizar una limpieza al sitio requerido, así mismo se realizará una perforación con un diámetro de 170 mm en el sitio para garantizar la entrada del cableado para la conexión eléctrica como se observa en el sitio de instalación (imagen 16)

Imagen 16. Sitio de Instalación



4.1.2 Componentes y mano de obra. Al momento de realizar cada uno de los montajes se realizará la inspección de cada uno de los componentes solicitados a los proveedores, garantizando que cumplan con estándares técnicos, y de calidad para cumplir con la tarea que se les asigne, del mismo modo se debe verificar que

las personas encargadas de realizar la instalación de dichos componentes cuenten con las herramientas y la adecuación técnica necesaria.

4.1.3 Tuberías y bridas. El usuario estableció como requerimiento que no se realizarán modificaciones de direcciones y tramos de tuberías al momento de realizar la instalación de los nuevos componentes, por esta razón el primer paso que se debe realizar es cortar los tramos de tuberías necesarias para realizar la instalación de los sensores de turbidez, estos cortes se realizan a la medida mostrada en planos, una vez cortados los tramos necesarios se deben unir los componentes con soldadura para PVC, la instalación de las válvulas se realiza mediante el desmontaje de bridas y el cambio de válvulas antiguas por válvulas automáticas nuevas las cuales ya cuentan con su actuador.

4.1.4 Válvulas automáticas. Las válvulas tipo mariposa deben ser desmontadas y reemplazadas por válvulas automáticas, se deben cambiar en total 21 válvulas, dichas válvulas se dividen en 10 válvulas que controlan el flujo de filtración de agua, 10 válvulas que controlan el retro lavado de los filtros y una válvula que permite el paso y cierre de flujo hacia los tanques de almacenamiento, todas estas válvulas son de unión por brida.

4.2 MANUAL DE OPERACIÓN

El sistema que ha sido anteriormente detallado se opera siguiendo este manual y sin omitir pasos, cualquier modificación puede causar el daño de los componentes y dispositivos que comprenden las instalaciones, además puede causar peligro a los trabajadores e instalaciones dentro de la planta. Las sugerencias, procedimientos, pasos y recomendaciones expuestas en este trabajo deben ser tenidos en cuenta antes y después del sistema.

La operación del sistema automatizado y de cada uno de los dispositivos debe ser realizada por personal capacitado según sea el caso

4.2.1 Identificación de componentes. Para operar el sistema automatizado y llevar un riguroso control del mismo, se debe conocer cada uno de los componentes que lo integran, el nombre y nomenclatura que ha sido asignado para cada uno, en la tabla 12 se encuentra la descripción y numeración de cada uno de los componentes en la zona de los filtros, el subíndice (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10) en las válvulas hace referencia a la unidad filtrante que pertenece.

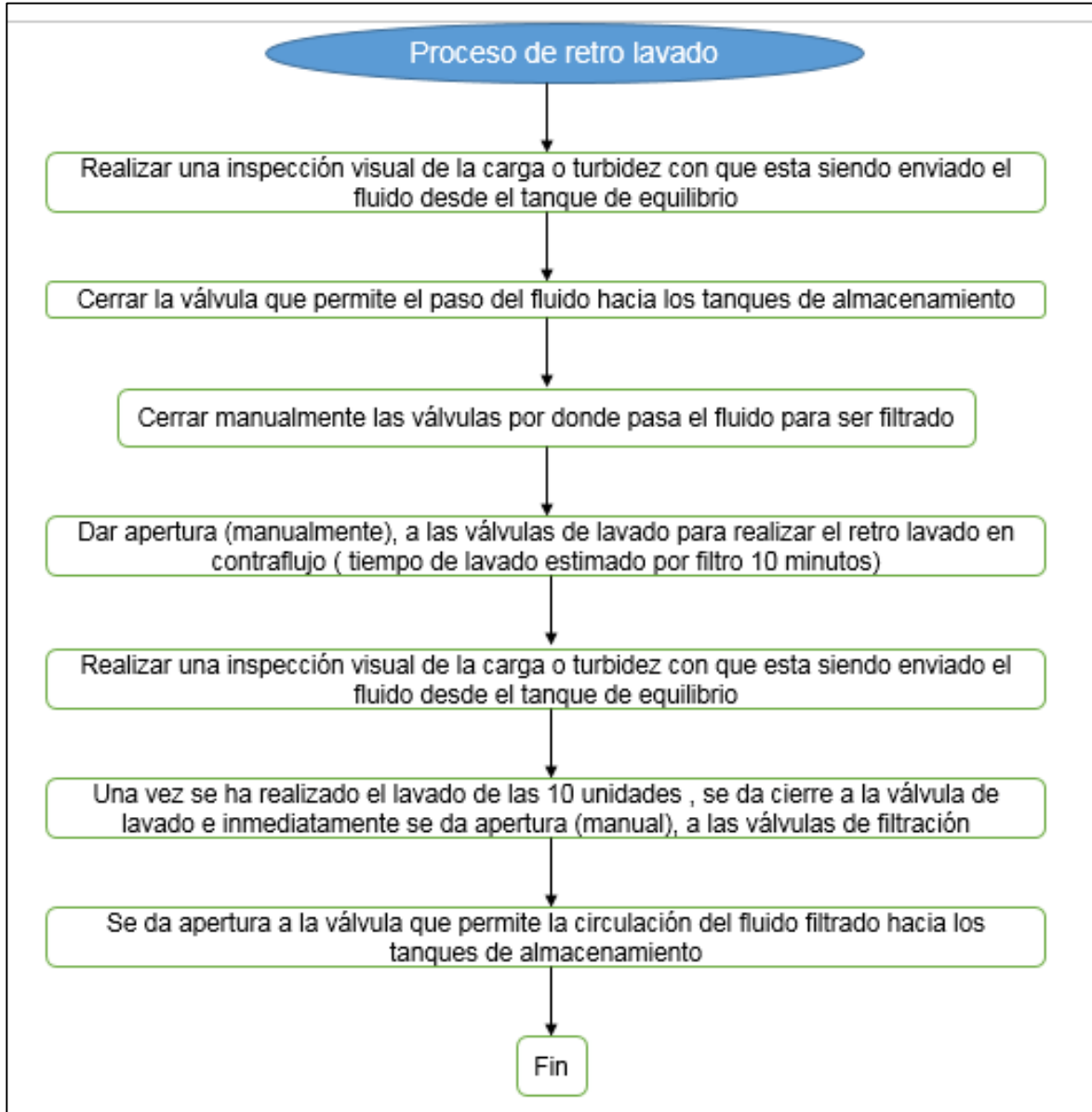
Tabla 12. Descripción de componentes

ZONA	COMPONENTE	IDENTIFICACIÓN
Entrega	Válvula de tanques	VT1
	Válvula de tanques	VT2
Captación	Válvula de retro lavado	VF1
	Válvula de retro lavado	VF2
Filtración	Válvula de filtración	F1
	Válvula de filtración	F2
	Válvula de filtración	F3
	Válvula de filtración	F4
	Válvula de filtración	F5
	Válvula de filtración	F6
	Válvula de filtración	F7
	Válvula de filtración	F8
	Válvula de filtración	F9
	Válvula de filtración	F10
Lavado	Válvula de lavado	L1
	Válvula de lavado	L2
	Válvula de lavado	L3
	Válvula de lavado	L4
	Válvula de lavado	L5
	Válvula de lavado	L6
	Válvula de lavado	L7
	Válvula de lavado	L8
	Válvula de lavado	L9
	Válvula de lavado	L10

4.2.2 Diagrama de proceso. Dentro del proceso que actualmente se realiza en la planta de tratamiento para dar función al lavado de filtros, se debe realizar una inspección visual del fluido y así determinar con que carga o turbidez se está enviando el fluido desde el tanque de equilibrio, de este modo el operario en turno deberá cerrar la válvula que permite el paso del fluido hasta los tanques, ya que el proceso de lavado se realiza a contra flujo, en modo de resumen se muestra el siguiente esquema del funcionamiento de retro lavado, y como se opera en condiciones actuales antes de implementar el nuevo sistema.

El proceso realizado anteriormente era netamente manual, el operador en turno debía realizar el cierre y apertura de válvulas de cada uno de los filtros de la planta, este lavado se realiza en total de a 3 filtros por turno máximo.

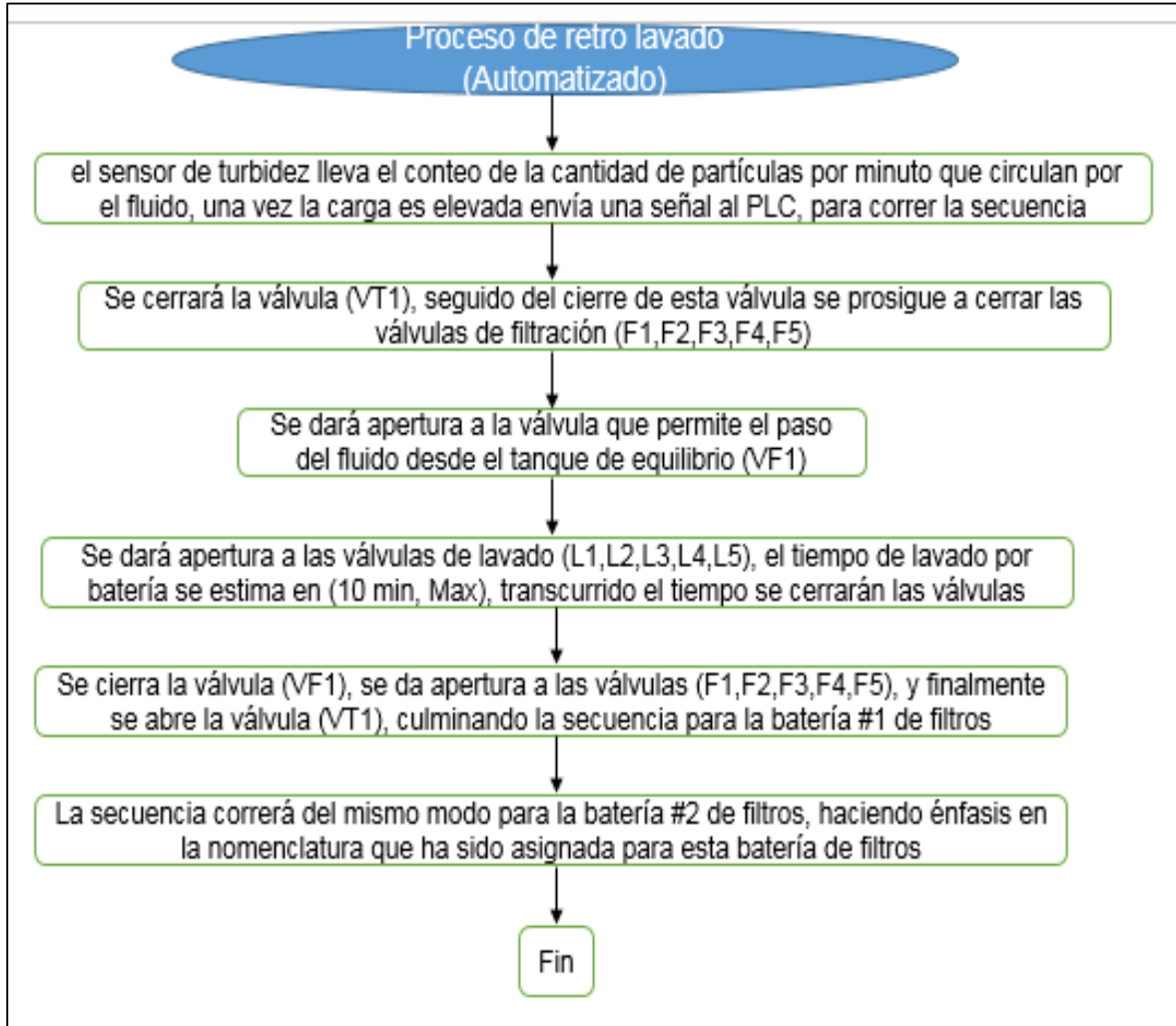
Esquema 3. Lavado de filtros condiciones actuales



4.2.3 Proceso de automatización. La automatización se realizó netamente en el área de las válvulas, ya que son estas las que controlan el proceso de filtración y lavado en los filtros. Dentro de los planos que comprenden este trabajo se encuentra la ubicación y modificación de cada uno de estos componentes.

En el esquema 4 se muestra el proceso de optimización que se realizó con la automatización y el funcionamiento de los componentes que comprenderán las nuevas redes hidráulicas.

Esquema 4. Proceso de automatización



4.2.4 Tablero de control. El tablero de control es una instalación eléctrica, este tablero de automatización y control eléctrico es una pieza muy importante dentro del sistema de automatización.

Dentro de estos paneles se encuentran los dispositivos de seguridad de los mecanismos, en el encontrará toda la conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, desde ellos se puede proteger y operar toda la instalación eléctrica o parte de ella.

La fabricación y ensamble del tablero de control eléctrico debe cumplir estándares internacionales de diseño y de normatividad para que se permita su uso correcto.

Imagen 17. Tablero eléctrico de control con PLC



Fuente: Skyrock. [en línea]. [Citado en 25 de mayo de 2.017]. Disponible en internet <<http://www..skyrock.com/>>

Para este proyecto el diseño y fabricación del tablero de control debe realizarse por medio de una empresa externa la cual está certificada en la elaboración de estos componentes, la cual estará encargada del manual de operación y de mantenimiento del mismo.

4.2.5 Plano eléctrico. Dentro del plano eléctrico se establece la disposición de los actuadores que controlarán las válvulas y componentes que serán automatizados y los accesorios para su utilización, en la imagen 18 se indican y aprecia la disposición de los actuadores y accesorios.

Imagen 18. Plano eléctrico

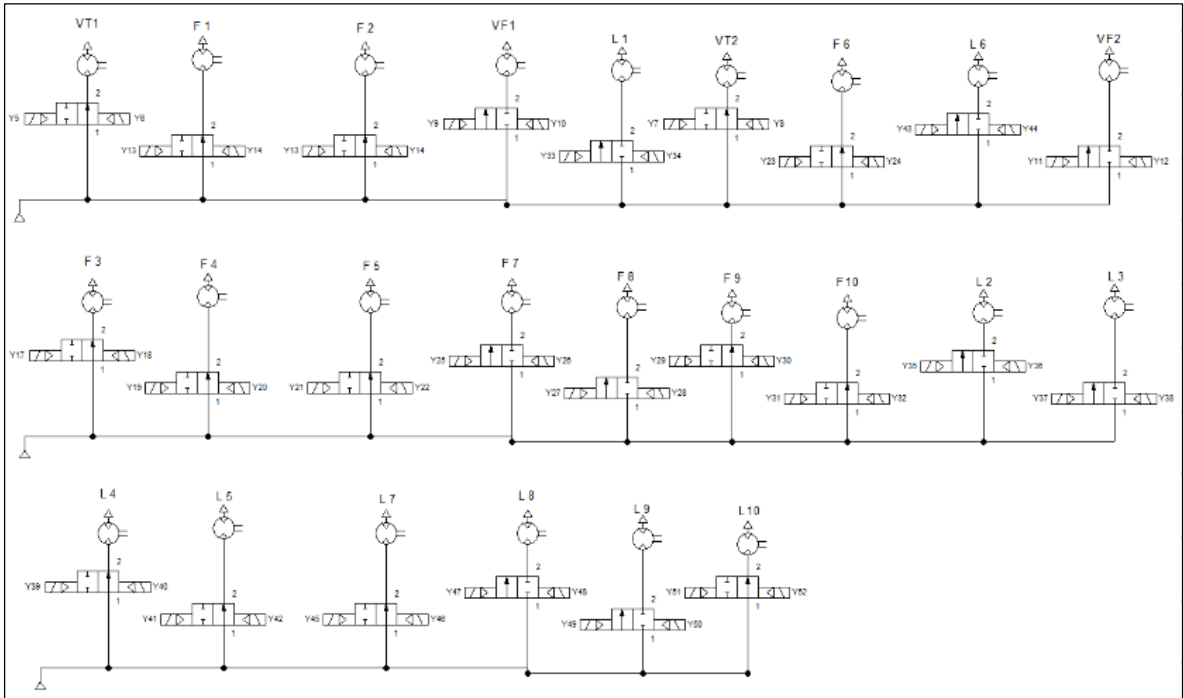


Imagen 19. Diagrama de contactos

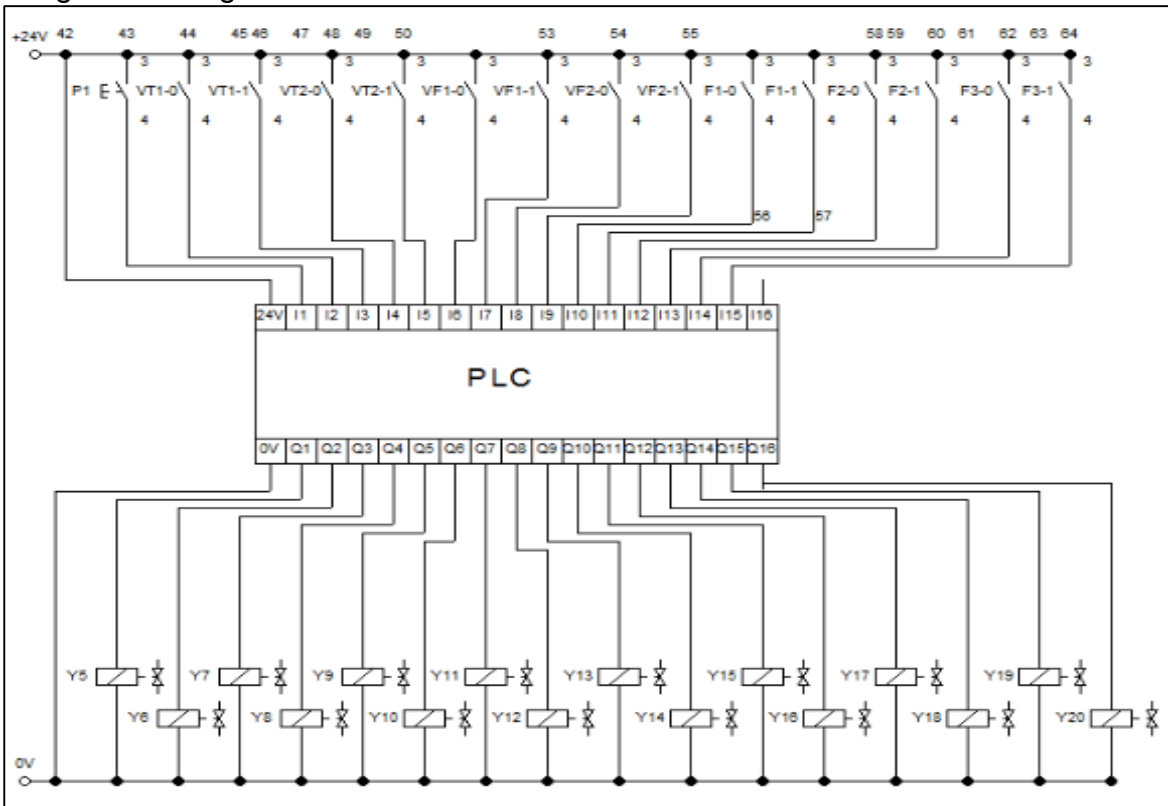


Imagen 19. (continuación)

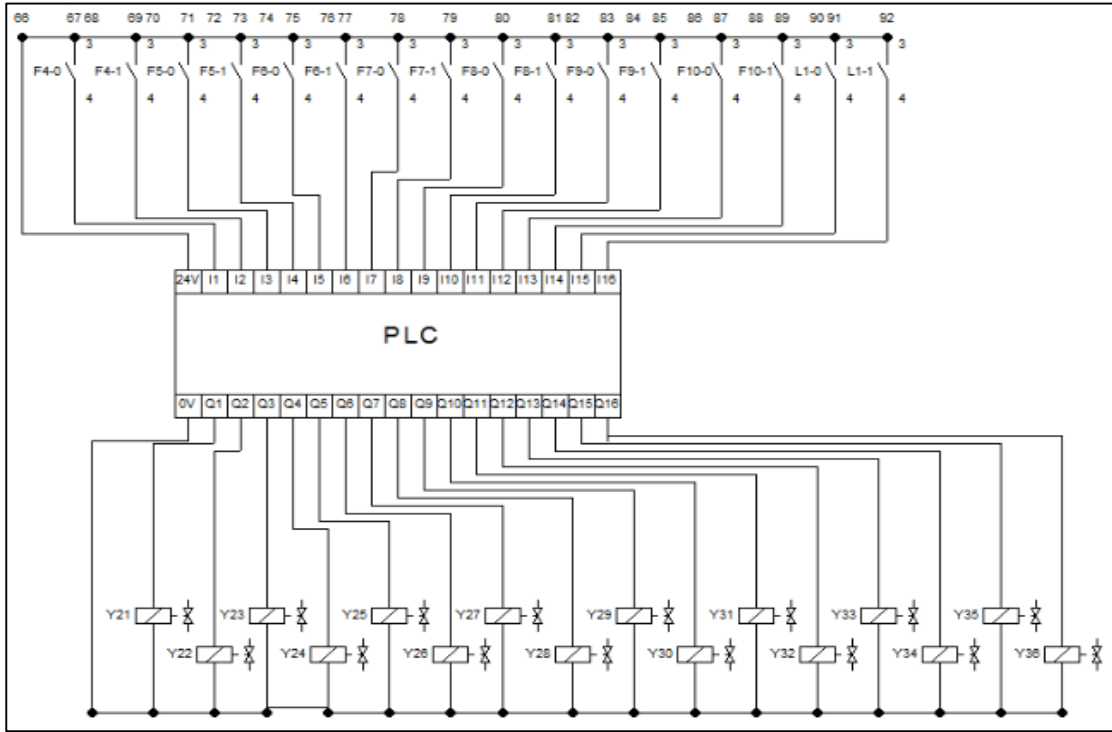


Imagen 19. (continuación)

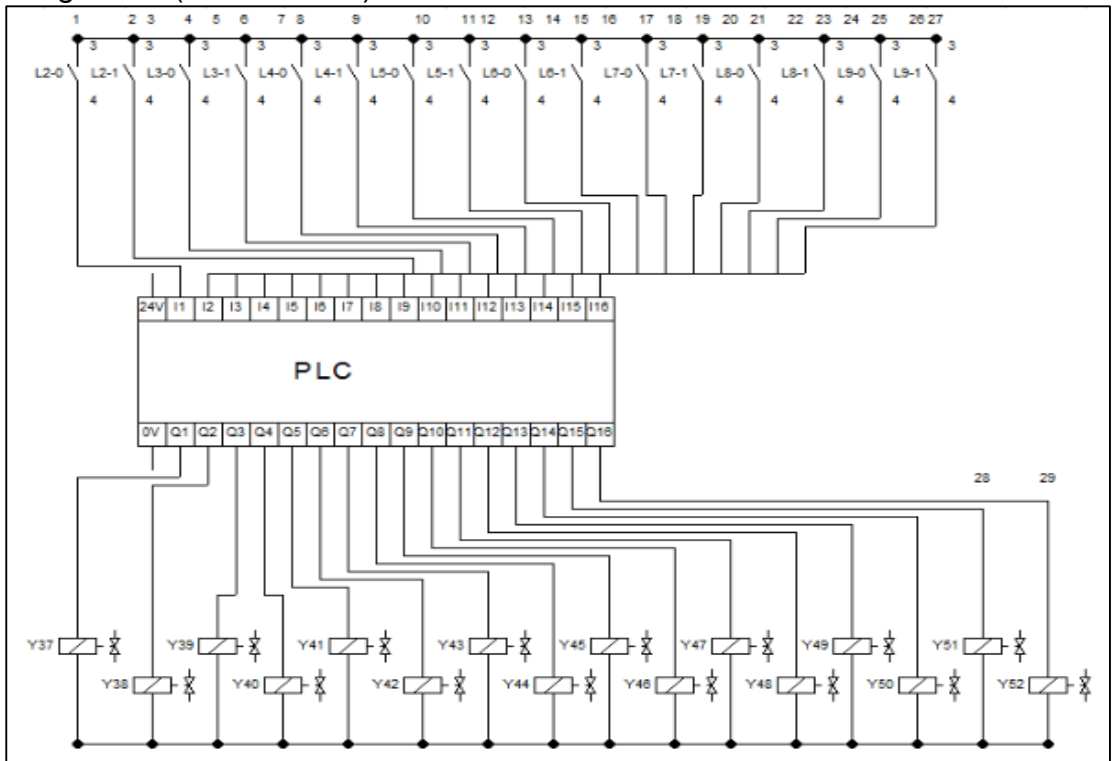
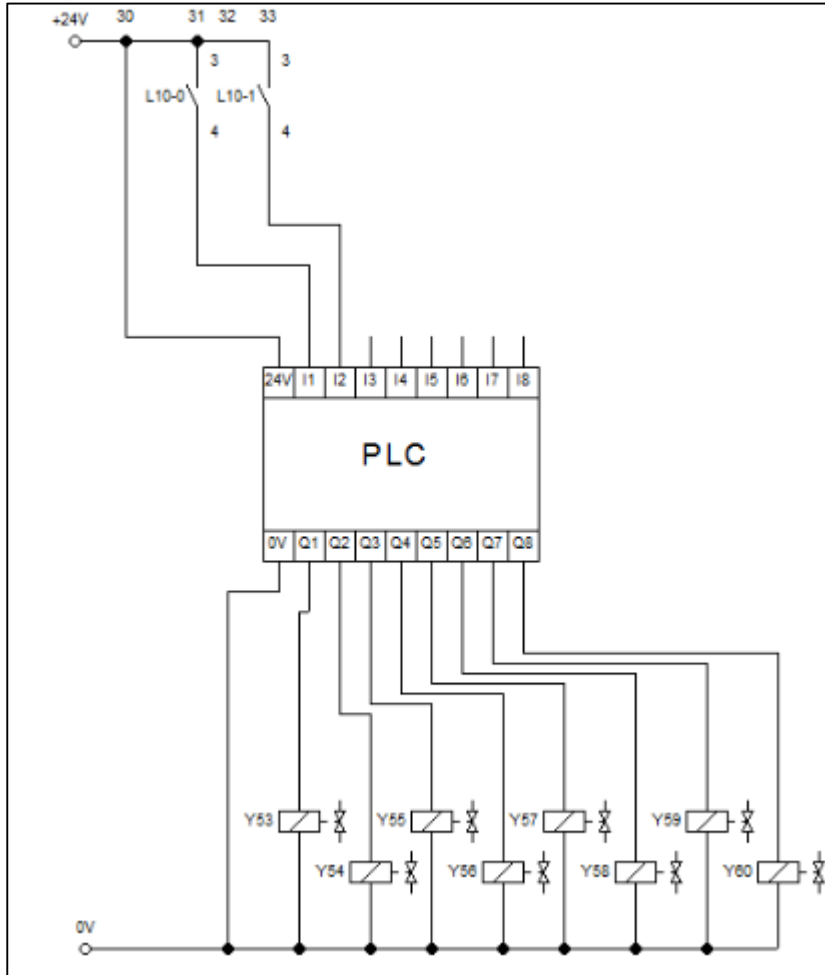


Imagen 19. (continuación)



4.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para que los componentes de nuestras maquinas funcionen de forma eficiente y tengan mayor vida útil, se debe realizar un plan de mantenimiento que contenga inspecciones de rutina e inspecciones programadas especializadas. Estos dos procesos son esenciales para nuestra maquinaria, ya que garantizan que nuestros componentes funcionen de la forma más adecuada posible, se prolongue la vida útil de nuestras máquinas y se conserve la integridad de los operarios.

El plan de mantenimiento que se va a desarrollar es para una planta de tratamiento de agua potable. El mantenimiento de los componentes se realizará con inspecciones de rutina e inspecciones programadas, a continuación se va a explicar la realización de cada tipo de inspección:

Inspecciones de rutina: Este tipo de inspección tiene la característica de no emplear equipo tecnológico, los operarios de la empresa lo pueden realizar usando sus

sentidos (vista, olfato y oído), se llevan a cabo operaciones sencillas como lectura de instrumentos y lubricación de superficies. Por tal motivo es un método de mantenimiento sencillo que pueden realizar todos los integrantes de la planta y económico ya que no requiere demasiado presupuesto, pero es esencial para corregir fallas sencillas a tiempo, evitar fallas severas y catástrofes. Preservando personas, equipos, materia prima y producto terminado.

En las inspecciones de rutina para la planta de tratamiento se debe hacer inspección a los siguientes elementos:

- ❖ Infraestructura.
- ❖ Sistemas eléctricos.
- ❖ Sistemas hidráulicos.

4.3.1 Infraestructura. Dentro de la infraestructura se debe realizar una inspección al suelo en el cual se encuentran las baterías de filtros de la planta, observando que no haya grietas que puedan ser perjudiciales en la estructura de los tanques que produzcan accidentes. También el cuarto donde se planea instalar el PLC del sistema de control en los filtros se debe adecuar de la mejor manera y observar que no haya grietas en las paredes, techo o suelo del cuarto. Ver imagen 20 de la infraestructura de la planta.

Imagen 20. Infraestructura batería de filtros de la PTAP



Fuente: Planta de tratamiento en Guasca, Cundinamarca

Imagen 21. Infraestructura cuarto de control de batería de filtros de la PTAP



Fuente: Planta de tratamiento en Guasca, Cundinamarca

Para cada elemento a inspeccionar en esta planta se desarrolló una tabla de la periodicidad del mantenimiento, donde se indica el elemento a inspeccionar, el procedimiento de mantenimiento recomendado para cada componente de los sistemas, los instrumentos y equipos que se deben utilizar. La periodicidad de mantenimiento sistema de infraestructura se observa a continuación en la tabla 13.

Tabla 13. Periodicidad mantenimiento infraestructura

Sistema	Elemento	Aspecto a inspeccionar	Periodicidad	Procedimiento	Instrumentos y equipos
Infraestructura	Suelo	Grietas	Semanal	Observar que no hayan grietas en el suelo	Vista
	Paredes	Grietas	Semanal	Observar que no hayan grietas en las paredes	Vista
	Iluminación	Adecuada iluminación	Semanal	Observar que la planta disponga de adecuada iluminación	Vista
	Ventilación	Adecuada ventilación	Semanal	Observar que el cuarto de control tenga adecuada ventilación	Vista

4.3.2 Sistemas eléctricos

La batería de filtros tendrá un sistema de control PLC en sus válvulas automatizadas y los sensores de turbidez, por esta razón se debe inspeccionar que la parte eléctrica del PLC no presente chispas, el sistema de control no presente sobrecargas, ni olores inusuales causantes de cortos circuitos y observar que los circuitos se encuentren en buen estado.

Imagen 22. Placa panel de control PLC



Fuente: Dat cam automation. [en línea]. [Citado en 25 de mayo de 2.017].
 Disponible en internet <<http://www.datcamautomation.com/>>

La periodicidad del mantenimiento del sistema eléctrico se presenta a continuación en la tabla 14.

Tabla 14. Periodicidad mantenimiento sistema eléctrico

Sistema	Elemento	Aspecto a inspeccionar	Periodicidad	Procedimiento	Instrumentos y equipos
Eléctrico	PLC	Revisar que no tenga polvo	Mensual	Soplar PLC para evitar corrientes estáticas por polvo	Soplador industrial
	Sensores	Revisar que no tengan polvo	Trimestral	Soplar sensores	Soplador industrial
	Cableado	Revisar que este protegido. En buen estado.	Trimestral	Observar que el cableado este en buenas condiciones, no este expuesto a ser comido (ratones) o a la interperie	Vista, cinta aislante, aceite de menta (para espantar ratones)
	Contadores	Revisar electroválvulas y terminales	Mensual	Observan que esten en buen estado, soplar el polvo	Soplador industrial

4.3.3 Sistemas hidráulicos. Este elemento es muy importante en esta planta, ya que se tiene una red hidráulica. Para el caso de los tanques de las baterías de filtros se debe inspeccionar que no haya fugas.

Para las tuberías en la planta se debe observar que no se presente pandeo en estas, que no presenten fugas y que no sufran de corrosión.

En el caso de que una de estas fallas se presente, lo más recomendado es corregirlas lo más pronto posible para que con el tiempo no se presenten fallas severas que afecten el ciclo normal de la planta.

Imagen 23. Batería de filtros y red hidráulica de la planta de Guasca



Fuente: Planta de tratamiento de Guasca

La periodicidad del sistema hidráulico que es el más importante en la planta de tratamiento, se observa a continuación en la tabla 15.

Tabla 15. Periodicidad mantenimiento sistema hidráulico

Sistema	Elemento	Aspecto a inspeccionar	Periodicidad	Procedimiento	Instrumentos y equipos
Hidráulico	Accesorios	Corrosión, fugas, ruidos, empalmes en codos y tees. Las valvulas deben responder a las señales de voltaje de forma adecuada.	Trimestral	Mediante la observación rectificar que no se presente corrosión, fugas, ruidos. Observar que los empalmes en codos y tees sean los adecuados. Y	Vista, nomenclatura de colores
	Tuberia	Corrosión, pandeo, acoples, caudales	Trimestral	Mediante la observación determinar que no haya corrosión o pandeo, que los acoples esten bien ajustados y mirar el comportamiento de los caudales.	Vista, nomenclatura de colores
		Estado interior tuberías	Cada 6 meses	Realizar un análisis termográfico para mirar que las tuberías no presenten obstrucciones	Caméra termográfica
	Tanques	Corrosión, fuga, válvulas	Trimestral	Mediante la observación evaluar los aspectos a inspeccionar	Vista, nomenclatura de colores

5. ANÁLISIS FINANCIERO

Es importante conocer los costos de este proyecto de optimización de la planta de tratamiento para determinar si es posible realizarlo o no, por este motivo en este capítulo se desarrollará un análisis financiero donde se evidenciarán los cálculos estimados de presupuesto ingenieril por parte de los proyectistas, se darán a conocer los precios de las válvulas automáticas, los sensores de turbidez, el PLC, los demás elementos correspondientes de instalación y el costo aproximado de la instalación del proyecto. Además se determinarán cuáles son los beneficios que trae el desarrollo de este proyecto para la producción de agua potable en la planta de Guasca.

5.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Para que la elaboración de este proyecto sea posible, se desarrolló un presupuesto, donde se dan a conocer los costos necesarios del proceso de ingeniería llevado a cabo por los proyectistas de este trabajo de grado.

Tabla 16. Presupuesto proyecto

TOTAL TALENTO HUMANO				\$14.049.000		
GASTOS MAQUINARIA Y EQUIPOS						
USO LICENCIA DE SOLID EDGE	H	224	\$17.857	\$3.999.968	FUNDACION UNIVERSIDAD AMERICA	
USO LICENCIA FESTO FLUIDSIM	H	132	\$17.857	\$2.357.124	FUNDACION UNIVERSIDAD AMERICA	
USO LICENCIA ARCHICAD	H	75	\$26.666	\$1.999.950	PROYECTISTAS	
PORTATIL	UNI	1	\$2.000.000	\$2.000.000	PROYECTISTAS	
MEMORIA USB	UNI	1	\$20.000	\$20.000	PROYECTISTAS	
TOTAL GASTOS MAQUINARIA Y EQUIPOS				\$10.377.042		
FUNGIBLES						
PAPEL	RESMAS	4	\$11.000	\$44.000	PROYECTISTAS	
TINTA	CARTUCHOS	3	\$25.000	\$75.000	PROYECTISTAS	
PLOTTER	UNIDAD	8	\$3.000	\$24.000	PROYECTISTAS	
TOTAL FUNGIBLES				\$143.000		
TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS				\$24.569.042		
IMPREVISTOS (6%)				\$1.474.143		
TOTAL DESPUES DE IMPREVISTOS				\$26.043.185		

5.2 COSTO ELEMENTOS PROYECTO

Los elementos del proyecto son aquellos objetos que hacen parte del sistema automatizado que se va a implementar en la planta.

Tabla 17. Costos proyecto

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Tubería 4" - SCH 40 A.I.PVC	m	4,62	\$ 76.900	\$ 355.300
Tubería 6" - SCH 40 A.I.PVC	m	7,3	\$ 157.900	\$ 1.152.670
Codo 4" A.I	Unidad	1	\$ 32.500	\$ 32.500
Codo 6" A.I	Unidad	2	\$ 52.900	\$ 105.800
Tee simétrica 4" A.I	Unidad	1	\$ 43.400	\$ 43.400
Tee simétrica 6" A.I	Unidad	4	\$ 85.900	\$ 343.600
Brida plana 4" A.I	Unidad	22	\$ 65.000	\$ 1.430.000
Brida plana 6" A.I	Unidad	2	\$ 94.500	\$ 189.000
Electro válvula 2/2	Unidad	24	\$ 175.000	\$ 4.200.000
PLC (FX3U)	Unidad	1	\$ 1.850.000	\$ 1.850.000
Válvula mariposa 4"	Unidad	22	\$ 165.000	\$ 3.630.000
Válvula mariposa 6"	Unidad	2	\$ 235.000	\$ 470.000
Sensor de posición	Unidad	24	\$ 135.000	\$ 3.240.000
Sensor de turbidez	Unidad	1	\$ 230.000	\$ 230.000
Cable encauchetado	m	21	\$ 9.000	\$ 189.000
SUBTOTAL				\$ 17.461.270
IVA				\$ 3.317.641
TOTAL				\$ 20.778.911

5.3 COSTOS DESARROLLO E INSTALACIÓN

Con el objetivo de implementar nuestra alternativa de solución, es necesario contar con herramientas adecuadas para modificar tubería, reemplazar válvulas por unas automáticas, instalación de sensores, instalación de un PLC y su debida adecuación en la planta. Los costos presentados a continuación están relacionados con los precios de desarrollo del sistema automatizado del proyecto y su debida instalación.

Tabla 18. Costos de desarrollo e instalación

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Cortadora	hora	24	\$ 30.000	\$ 720.000
Soldadura para PVC	unidad	4	\$ 56.900	\$ 227.600
Operación de ensamble	hora	50	\$ 30.000	\$ 1.500.000
Operación de montaje	hora	50	\$ 30.000	\$ 1.500.000
Montaje eléctrico	unidad	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Auxiliar	hora	50	\$ 3.125	\$ 156.250
TOTAL				\$ 6.603.850

5.4 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

Una parte importante para determinar los costos totales del proyecto están relacionados con el mantenimiento del sistema y su operación, el mantenimiento en el sistema automatizado no es tan complejo, igual que su operación el operario

puede realizar una inspección y controlar el sistema de control. Al momento en que algún componente de la planta tenga una falla grave, una inspección no es suficiente por este motivo se requiere una empresa externa para que realice mantenimiento con una inspección programada. Estos costos de mantenimiento se realizan semestralmente.

Tabla 19. Costos de mantenimiento y operación

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VAOR UNITARIO	TOTAL
Operarios	Personal	3	\$ 0	\$0
Mantenimiento electrico	Unidad	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Mantenimiento de componentes	Unidad	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
TOTAL				\$ 3.000.000

5.5 RESUMEN DE COSTOS

En la siguiente tabla se describen detalladamente el resumen de los costos que implican la implementación del sistema de automatización en la planta, se detallan los costos de fabricación, ensamble y montaje. Una vez haya sido implementado, la optimización de retro lavado de filtros, los costos de mantenimiento se realizan semestralmente.

Tabla 20. Resumen de costos del proyecto

ITEM	VALOR
Costos del proyecto	\$ 20.778.911
Costos de desarrollo e instalacion	\$ 6.603.850
SUBTOTAL	\$ 27.382.761,00
IMPREVISTOS (3%)	\$ 821.482,83
TOTAL	\$ 28.204.243,83

6. CONCLUSIONES

- ❖ La implementación del sistema automatizado en el retro lavado de filtros que se plantea a lo largo de este trabajo, logra contribuir en un 84.64% , respecto a la disminución de niveles en los tanques de almacenamiento que se presentaban anteriormente, ya que el proceso que actualmente se utiliza para el retro lavado en la planta, las pérdidas en los niveles de tanques de almacenamiento se alcanzan hasta los ($50m^3$), una vez el sistema de automatización sea implementado los niveles de almacenamiento se reducirán ($7,68 m^3$).
- ❖ El sistema de automatización que se plantea, contribuye en un proceso continuo de funcionamiento tanto en la parte de filtración como en el ciclo de lavado de las baterías de filtros, así mismo se eliminan los paros que se presentaban en la planta una vez se realizaban los lavados de filtros.
- ❖ El precio de este proyecto no ofrece un beneficio monetario a la planta, pero al implementar el sistema automatizado hay mayor disponibilidad de agua en la planta, obteniendo así una menor disminución de los niveles en los tanques y mayor cantidad de agua, trabajando a una mejor capacidad. Beneficiando de esta manera a la planta de tratamiento y a la población de guasca.
- ❖ Al encontrarse automatizada la planta, el mantenimiento no es tan riguroso y frecuente, en periodos largos se requeriría de un mantenimiento especializado, con pequeñas inspecciones se puede mejorar la vida útil de la planta. Excepto para el sistema hidráulico, donde se debe hacer un análisis termo gráfico a la tubería los filtros ya que pueden estar obstruidas por los químicos provenientes del sedimentador.

7. RECOMENDACIONES

- ❖ Para que la planta funcione mejor se recomienda intervenir en el sedimentador, realizar un rediseño para que el proceso de sedimentación sea más prolongado. Ya que actualmente no funciona de forma óptima y también es un factor clave en el rendimiento de la planta.
- ❖ Para el manejo de la unidad de control del sistema automatizado, es recomendable hacer una adecuada capacitación a los operarios de la planta.
- ❖ Seguir las instrucciones de los manuales de instalación, operación y mantenimiento. En caso de tener dudas o inconvenientes se recomienda consultar al fabricante.
- ❖ Con este diseño automatizado la capacidad de usuarios que consumen agua puede ser mayor, ya que el nivel de los tanques presenta una menor disminución, se recomienda proveer de agua potable a pueblos aledaños a Guasca.
- ❖ Al realizar inspecciones periódicas a los componentes de la planta se garantiza que funcione mejor y se requiera menor mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría de la filtración del agua. En: Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: McGraw Hill, 2.000. p. 364

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua: Teoría de la filtración del agua. 3 ed. Bogotá: McGraw Hill, 2000. p. 702

Biblioteca virtual en desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE). Filtración rápida. [En línea]. [s.l.], [citado en 14 de marzo de 2.017]. Disponible en internet <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>>

ECOSIECHA S.A.E.S.P. Plan estratégico de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de guasca SA ESP. [En línea]. Guasca, Cundinamarca, Abril de 2014. [Citado en 30 de noviembre de 2.016]. Disponible en internet <<http://ecosiecha.co/wp-content/uploads/2014/04/PLAN-ESTRATEGICO-DE-ECOSIECHA-S.A.-E.S.P.1.pdf>>.

ECOSIECHA S.A.E.S.P. Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable “nueva” - E.S.P. Guasca. Generalidades. Guasca, Cundinamarca. Mayo de .2013. p. 3

ECOSIECHA S.A.E.S.P. Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable “nueva” - E.S.P. Guasca. Generalidades. Guasca, Cundinamarca. Mayo de .2013. p. 8

Gobierno de Aragón. Como se potabiliza el agua, así se potabiliza el agua. [En línea]. Zaragoza, [citado en 9 de febrero de 2.017]. Disponible en internet <<http://www.aragon.es/portal/site/GobiernoAragon>>

__ __ __ __ . Como se potabiliza el agua, el largo camino del abastecimiento del agua. [En línea]. Zaragoza, [citado en 9 de febrero de 2.017]. Disponible en internet <<http://www.aragon.es/portal/site/GobiernoAragon>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Colombia. (2008-07-23). 41 p.

__ __ __ __ . Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Colombia. (2008-07-23). 38 p.

__ __ __ __ . Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Colombia. (2008-07-23). 27 p.

Instrument Society of America. Norma ISA. S 5.1. (R1992-07-13). 28 p.

LOPEZ NUÑEZ, Angie consuelo y JIMENEZ SABOGAL, Brayan fernando. Manual de operación de agua potable San Antonio- asociacion Sucuneta, tiempo de lavado. (Bogotá D.C., 2016).

MEDINA DÍAZ, David Ricardo. Diseño de un sistema neumático para la optimización del retro lavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable de la mesa, Cundinamarca. Proyecto de grado para potar el título de ingeniero mecánico. Bogotá, Colombia. Fundación universidad de américa. 2.014. 213 p.

Mitsubishi electric. Datos técnicos PLC. [En línea]. [Citado el 25 de mayo de 2017]. Disponible en <<http://es3a.mitsubishielectric.com/fa/es>>

Panachlor S.A. Filtros de lecho profundo y su retrolavado. [En línea]. Manizales, Colombia, [citado en 14 de marzo de 2.017]. Disponible en internet <<http://panachlor.com/?p=1672>>

Proceso de tratamiento para potabilización. [en línea]. [Citado 25 de enero de 2.017]. Disponible en <<http://academic.uprm.edu/gonzalezc.pdf>>

ROMERO ROJAS, Jairo. Purificación del agua: Filtración. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2.009. p. 473

_____. Purificación del agua: Filtración. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2.009. p. 700

Rhona Equipamiento eléctrico. Controlador lógico programable (FX3U). [En línea]. [Citado el 25 de mayo de 2017]. Disponible en <<https://www.rhona.cl/producto/272/plc-60-entradas-64-salidas.html>>

SENA. Clasificación de filtros según la velocidad de operación. [en línea] [Citado el 7 de noviembre de 2.016]. Disponible en <http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html#>

Ricardo Mogollon. Tablero de control. [En línea]. [Citado el 25 de mayo de 2017]. Disponible en <<http://tienda.insumosdecontrol.com/index.php?cPath=37>>

ANEXOS

ANEXO A DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS PFD

ANEXO B
DIAGRAMA P&ID ALTERNATIVAS

ANEXO C
HOJA DE DATOS SENSOR TURBIDEZ



Fundación
Universidad de América


**Diseño de una red hidráulica, automatizada
para la optimización del lavado de filtros de la
planta de tratamiento de Guasca,
Cundinamarca**

FECHA:

REV:

DATA SHEET SENSOR DE TURBIDEZ

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

 Fundación Universidad de América	Diseño de una red hidraulica, automatizada para la optimización del lavado de filtros de la planta de tratamiento de Guasca, Cundinamarca		FECHA:
	DATA SHEET SENSORES DE TURBIDEZ		REV:
CONDICIONES DE SERVICIO	1	Tag No.	TURBIMAX CUS31
	2	Cantidad	1
	4	Numero P&ID	N.A
	5	Manguera de gas inerte	N.A
	6	Sizing with Flame Arrester	N.A
	7	Capacidad del Tanque	2,5 l/s
	8	Diámetro tubería	0.1016 m
	9	Instalación	Conjunto de inmersión y en tubería
	10	Caudal operación de la planta	20 l/s
	11	Fluido	Agua para beber, agua industrial.
	12	Punto inflamabilidad	N.A
	DATOS SENSOR	13	Temperatura de operacion °C/°F/ Max
14		Presion de operación tanque / Max	6 Bar/ 87 psi
15		Diámetro sensor	40 mm
16		Longitud sensor	191 mm
17		Rango de medición	0.00 a 3000 ppm
			0.0 a 3.0 g/l 0.0 a 200%
18		Distancia permisible entre sensor y transmisor	200 m
			660 ft
19		Tipo de sensor	Sensor óptico para medición de turbidez conforme a DIN EN ISO 7027
20		Material eje	Ventana óptica de PVC/PPS GF40
21		Torque	39 Nm
22	Peso	6,8 kg	
23	Longitud de onda	880 nm	
NOTES			

ANEXO D
HOJA DE DATOS ACTUADOR ELÉCTRICO ROTATIVO



Fundación
Universidad de América


Diseño de una red hidráulica, automatizada
para la optimización del lavado de filtros de la
planta de tratamiento de Guasca,
Cundinamarca

FECHA:

REV:

DATA SHEET PARA ACTUADORES ELÉCTRICOS ROTATIVOS

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

 Fundación Universidad de América	Diseño de una red hidráulica, automatizada para la optimización del lavado de filtros de la planta de tratamiento de Guasca, Cundinamarca		FECHA:
	DATA SHEET SENSOR PARA ACTUADORES ELÉCTRICOS ROTATIVOS		REV:
CONDICIONES DE SERVICIO	1	Tag No.	PASC01
	2	Cantidad	24
	3	Tanque No	N.A
	4	Numero P&ID	N.A
	5	Inert Gas Blanket	N.A
	6	Sizing with Flame Arrester	N.A
	7	Capacidad del Tanque	2,5 l/s
	8	(A) Diametro tanque	1,24 m
	9	(B) Altura tanque	1,30 m
	10	(C) Largo tanque	N.A
	11	Punto inflamabilidad	N.A
DATOS ACTUADOR ELÉCTRICO ROTATIVO	12	Fluido	N.A
	13	Temperatura de operacion °C/°F/ Max	(-20°C) a 85°C/ (-4°F a 150°F)
	14	Presion de operación tanque / Max	N.A
	15	Voltaje máx	220 VDC
	16	Corriente máx	Consultar información directamente con AIRMATIC
	17	Torque	50 Nm
	18	Consumo	15 W
	19	Tipo de montaje	ISO 5211
	20	Angulo de rotación	90°
	21	Tipo	On/ Off
	22	Humedad relativa	<90% (25°C)
	23	Tiempo en que tarda en realizar el giro de 90°	14 seg
NOTAS			

ANEXO E
HOJA DE DATOS VÁLVULA TIPO WAFER



Fundación
Universidad de América


Diseño de una red hidráulica, automatizada
para la optimización del lavado de filtros de la
planta de tratamiento de Guasca,
Cundinamarca

FECHA:

REV:

DATA SHEET VALVÚLA MARIPOSA TIPO WAFER

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

 Fundación Universidad de América	Diseño de una red hidráulica, automatizada para la optimización del lavado de filtros de la planta de tratamiento de Guasca, Cundinamarca		FECHA:
	DATA SHEET VALVULA MARIPOSA TIPO WAFER		REV:
CONDICIONES DE SERVICIO	1	Tag No.	PMAC10063
	2	Cantidad	24
	3	Tanque No	N.A
	4	Numero P&ID	N.A
	5	Inert Gas Blanket	N.A
	6	Sizing w ith Flame Arrester	N.A
	7	Capacidad del Tanque	2,5 l/s
	8	(A) Diametro tanque	1,24 m
	9	(B) Altura tanque	1,30 m
	10	(C) Largo tanque	N.A
	11	Punto inflamabilidad	N.A
DATOS VÁLVULA	12	Fluido	Aire, Agua, gases inertes.
	13	Temperatura de operacion °C/°F/ Max	(-20°C) a 120°C/ -4°F a 248°F
	14	Presion de operación tanque Bar/PSI/ Max	10,3 Bar/150 PSI
	15	Cuello	Montaje ISO 5211
	16	Cuerpo	Fundición GG-20 para montaje entre bridas ANSI 150 y DIN PN 10/16
	17	angulo de rotacion	90°± 3°
	18	Sello	EPDM
	19	Eje	Acero inoxidable 416
	20	Buje	PTFE
	21	Torque	50 Nm
	22	Peso	6,8 kg
	23	Voltaje máx	24 V DC
NOTES			

ANEXO F
CATÁLOGO VÁLVULA TIPO WAFER

ANEXO G
CATALOGO PARA ACTUADORES ELÉCTRICOS ROTATIVOS

ANEXO H
CATALOGO SENSOR DE TURBIDEZ TURBIMAX CUS31

ANEXO I
CATALOGO PLC FX3GE MITSUBISHI

ANEXO J
DIAGRAMA DE CONTACTOS (CONEXIONADO PLC)

ANEXO K
DIAGRAMA ELECTRICO Y DE CONTROL

ANEXO L
PLANO ISOMETRICO TUBERIA DE AGUA FILTRADA

ANEXO M
PLANO ISOMETRICO TUBERIA DE AGUA FILTRADA (AUTOMATIZADO)

ANEXO N
PLANO ISOMETRICO TUBERIA FILTRADA

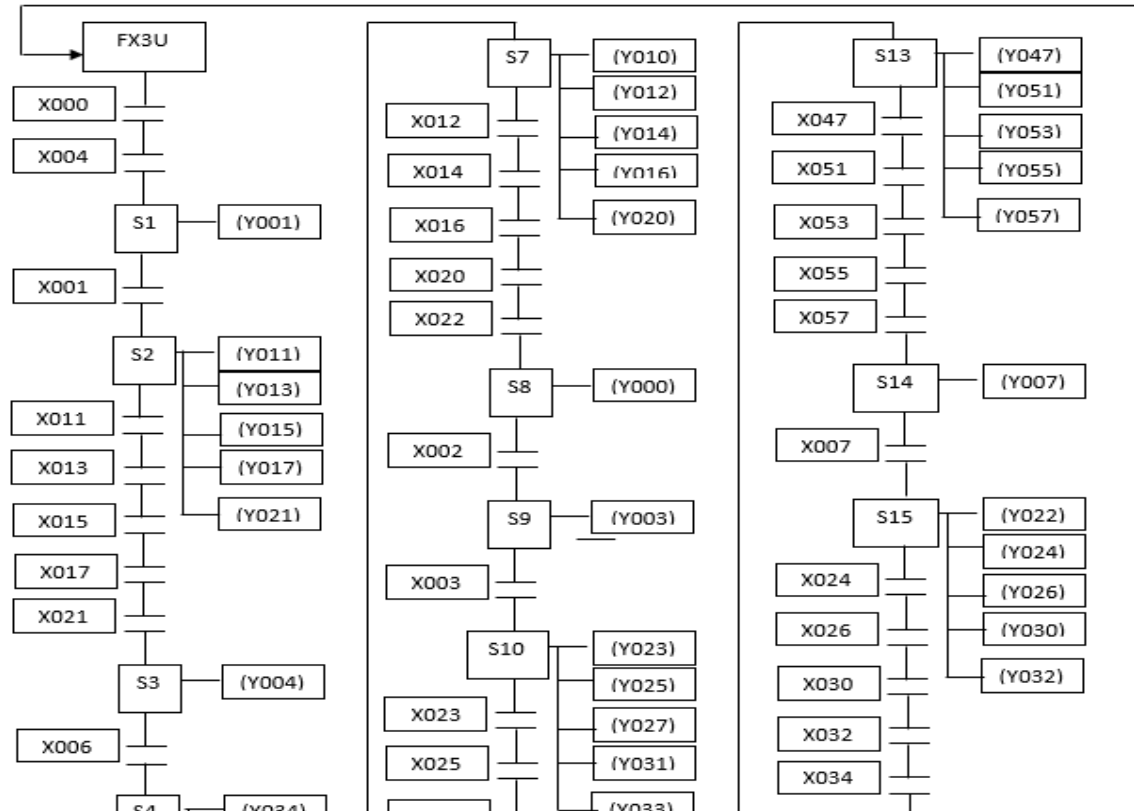
ANEXO O
PLANO ISOMETRICO TUBERIA FILTRADA (AUTOMATIZADA)

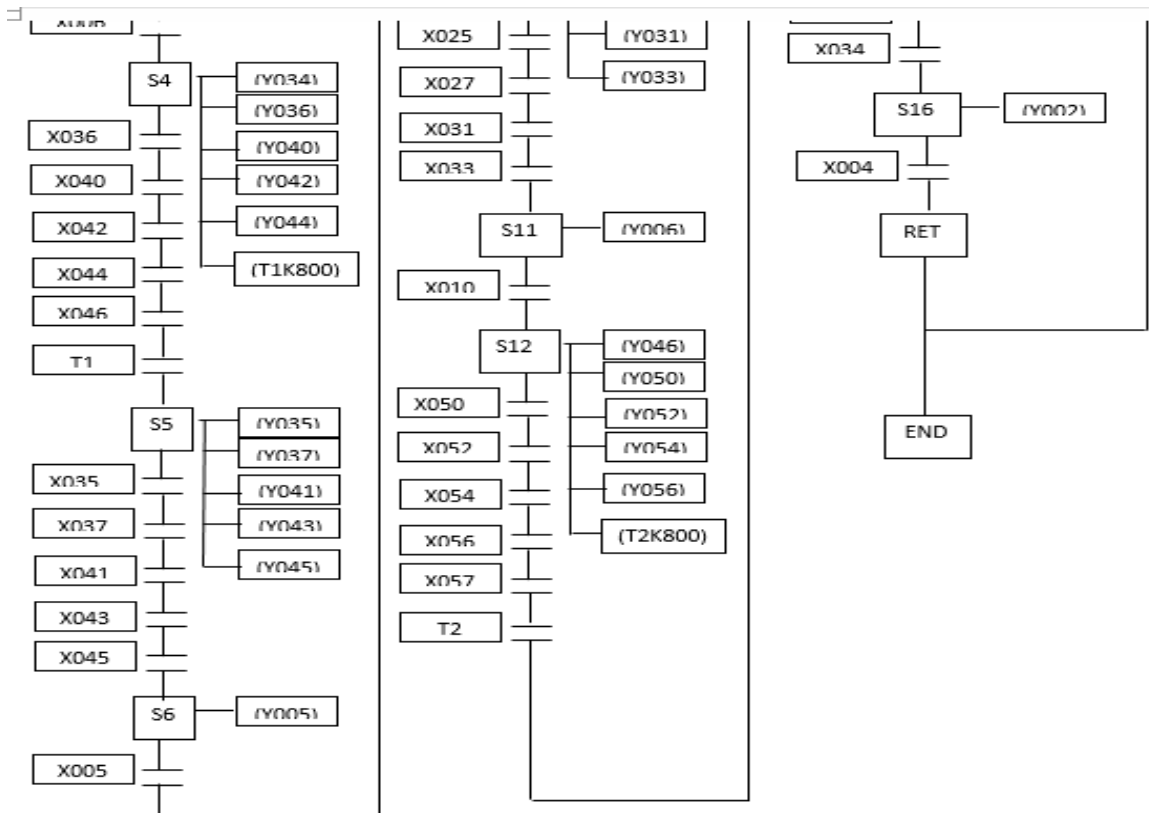
ANEXO P
PLANO ISOMETRICO TUBERIA RETRO LAVADO


ANEXO Q
PLANO ISOMETRICO TUBERIA RETRO LAVADO (AUTOMATIZADA)

ANEXO R
P&ID (CABLEADO PLC)

ANEXO S
LENGUAJE GRAPHSET






	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016




**AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL
LUMIERES**

Nosotros Juan David Casas León y Juan Sebastián Cárdenas Torres en calidad de titulares de la obra **Diseño de una red hidráulica automatizada, para la optimización del retro lavado de filtros en la planta de tratamiento de agua potable de Guasca, Cundinamarca**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el **Repositorio Digital Institucional – Lumieres**, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normalidad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

De igual forma como autor (es) autorizo (amos) la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

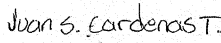
AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en **Bogota D.C.**, a los **11** días del mes de **Agosto** del año **2017**.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Juan Sebastián	Cárdenas Torres
Documento de identificación No	Firma
1020797379	

Autor 2

Nombres	Apellidos
Juan David	Casas León
Documento de identificación No	Firma
1075874873	