

**Tecnológico de Costa Rica**  
**Área Académica de Ingeniería Mecatrónica**



**Mejora del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales para la Empresa Eaton  
Electrical S.A.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en  
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Ana María Murillo Morgan**

**Cartago, 16 de junio de 2017**

Declaro que el presente documento de tesis ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos y resultados experimentales propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de tesis realizado y por el contenido del presente documento.



---

Ana María Murillo Morgan

Cartago, 16 de junio de 2017

Céd: 1-1567-0893

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
Proyecto de Graduación  
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



MSc. Marta Vílchez Monge  
Profesora Lectora



Lic. Jaime Mora Meléndez  
Profesor Lector



Ing. Arys Carrasquilla Batista, M.C.  
Profesora Asesora

Los miembros de este Tribunal dan fe de que la presente tesis de maestría ha sido aprobada y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 16 de junio de 2017

## Resumen

El proyecto de automatización de la planta de tratamiento de aguas residuales surgió como respuesta a una oportunidad de mejora al proceso de tratamiento actual de la empresa Eaton Electrical. El sistema de control actual con el que cuenta la planta de tratamiento, así como sus elementos electromecánicos, más específicamente las electroválvulas, se encuentran en un estado de deterioro en el que el operario encargado debe accionar estos elementos manualmente. Dada esta situación se puede decir que no existe un sistema de control. Con miras a solventar este problema se diseñó una propuesta de un sistema completamente automatizado con el cual el operario no tiene necesidad de accionar manualmente las válvulas, sino que existen rutinas que él mismo pueda seleccionar que se encargan de activar los distintos elementos cuando sea requerido. Para lograr el objetivo se emplearon diferentes sensores que miden las variables que afectan el proceso y le permiten al nuevo sistema de control tomar decisiones con respecto a los actuadores (válvulas y bombas) que garantizan las características fisicoquímicas con las que el agua debe ser vertida al alcantarillado según el reglamento vigente del Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.

**Palabras Clave:** aguas residuales, automatización, Eaton PLC, planta de tratamiento, sensor de pH, sensor de temperatura.

## Summary

The project of the automation of the wastewater treatment plant aroused in response to an opportunity to improve the current treatment process of the company Eaton Electrical. The current control system of the treatment plant and its electromechanical elements, more specifically the solenoid valves, are in a state of deterioration in which the operator in charge must actuate these elements manually. It can be said that there is no efficient control system functioning now. In order to solve this problem, a proposal was made for a fully automated system with which the operator will no longer be in need to manually actuate the valves. With the new system, routines that the operator can select are the ones responsible for activating and deactivating the different electro-mechanic elements when required. To achieve the objective, different sensors were used to sense the variables that affect the process and allow the new control system to make decisions regarding the actuators (valves and pumps) that guarantee the physicochemical characteristics with which the water must be discharged to the Sewer system in accordance with the regulations of the Ministry of Health of Costa Rica.

**Key Words:** automation, Eaton PLC, pH probe, temperature probe, wastewater, water treatment plant.

## Dedicatoria

***A Dios.***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y paciencia para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

***A mi familia.***

*Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

*Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

## Agradecimientos

### ***A mis profesores.***

*MSc. Marta Vélchez, Dr. Ing. Juan Luis Crespo, Ing. Arys Carrasquilla por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de este proyecto de graduación. Profesores que no sólo imparten lecciones académicas sino que también son un ejemplo de profesionalismo que marcaron positivamente las etapas intermedias y finales de mi camino universitario.*

### ***A mis amigos.***

*Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Ricardo Jiménez, Arturo Jiménez, Alice Saborío, Rodolfo Piedra, Fabricio Solórzano, Alonso Obando, Rodolfo Guevara, Rodrigo Carranza, Ricardo Fletes.*

### ***A EATON.***

*Por haberme abierto las puertas en lo que fue mi primera experiencia laboral y enseñarme no sólo a ser una mejor profesional sino una mejor persona. Gracias por todo el apoyo y cariño demostrado durante todo mi año como pasante.*

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
Glosario y abreviaturas .....	vii
<b>Capítulo 1.</b> Introducción .....	1
1.1 Actividad comercial de la empresa EATON Electrical .....	1
1.2 Generación de aguas residuales por parte de la empresa .....	1
1.3 Deterioro de los elementos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales .....	2
1.4 Descripción general de la propuesta de automatización .....	3
1.5 Objetivos .....	5
1.5.1 Objetivo general .....	5
1.5.2 Objetivos específicos .....	5
<b>Capítulo 2.</b> Marco Teórico .....	6
2.1 Tratamiento de aguas residuales .....	6
2.2 Principios de automatización .....	9
2.2.1 PLC .....	9
2.2.2 Bomba tipo diafragma .....	10
2.2.3 Filtro-prensa .....	11
2.2.4 Bomba dosificadora .....	12
<b>Capítulo 3.</b> Situación actual de la PTAR en Eaton .....	13
3.1 Generalidades e histórico del sistema .....	13
3.2 Parámetros de diseño .....	13
3.2.1 Elementos electromecánicos instalados en la planta de tratamiento	16
3.2.2 Sistema de tuberías de la planta de tratamiento .....	17
3.2.3 Elementos de control instalados en la planta de tratamiento .....	17
3.3 Interfaz humano máquina .....	19
<b>Capítulo 4.</b> Sistema automático de tratamiento de agua .....	22



4.1	Procedimientos de operación .....	22
4.2	Variables controlables .....	22
4.3	Reparación del funcionamiento del filtro prensa .....	28
4.3.1	Causa 1: Rangos de presiones utilizados .....	28
4.3.2	Causa 2: Válvulas de escape de agua deterioradas .....	28
4.4	Equipo requerido para la automatización de la PTAR.....	29
4.4.1	Sensores de pH.....	29
4.4.2	Sensores de temperatura .....	32
4.4.3	Caudalímetros de entrada y salida.....	34
4.4.4	Interruptores de nivel .....	35
4.4.5	Caudalímetros de purga.....	37
4.4.6	Electroválvulas .....	38
4.4.7	Bomba de suministro de químicos .....	38
4.4.8	Módulos de control.....	40
4.5	Inversión estimada para los equipos requeridos en la automatización de la PTAR .....	41
4.6	Secuencias automáticas para el manejo de la PTAR .....	42
4.7	Plan de implementación de la propuesta de automatización.....	53
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Sistema parcialmente automatizado de tratamiento de agua.....</b>	<b>54</b>
5.1	Parámetros de diseño y variables controlables .....	54
5.2	Equipo requerido para el control de la PTAR.....	56
5.2.1	Interruptores de nivel .....	56
5.2.2	Módulos de control.....	56
5.3	Inversión estimada para la implementación del sistema de control.....	57
<b>Capítulo 6.</b>	<b>Resultados obtenidos con el proceso de automatización .....</b>	<b>58</b>
6.1	Creación de la OPS 323-360-374 .....	58
6.2	Reducción en el tiempo de secado del filtro prensa.....	60

6.3 Reducción en la cantidad de elementos electromecánicos accionados de manera manual.....	61
<b>Capítulo 7. Conclusiones .....</b>	<b>62</b>
<b>Capítulo 8. Recomendaciones .....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>
Apéndices.....	65
<b>A.1 OPS-323 / OPS-360 / OPS-374 .....</b>	<b>65</b>
Anexos .....	66
<b>B.1. Hoja de datos sensor de pH .....</b>	<b>66</b>
<b>B.2. Hoja de datos IXIAN™ class pH transmitter .....</b>	<b>67</b>
<b>B.3. Hoja de datos sensor de temperatura .....</b>	<b>68</b>
<b>B.4. Hoja de datos convertidor de señal UART a RS/485 .....</b>	<b>69</b>
<b>B.5. Hoja de datos caudalímetro .....</b>	<b>72</b>
<b>B.6. Hoja de datos interruptor de nivel .....</b>	<b>74</b>
<b>B.7. Hoja de datos bomba dosificadora .....</b>	<b>75</b>
<b>B.8. Hoja de datos del filtro prensa .....</b>	<b>76</b>
<b>B.9. Hoja de datos RTD Temperature EZO™.....</b>	<b>77</b>
<b>B.10. Hoja de datos Universal flow meter totalizer EZO™.....</b>	<b>78</b>
<b>B.11. Hoja de datos caudalímetro de purga .....</b>	<b>79</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. BOCETO DEL ENFOQUE DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN .....	4
FIGURA 2.1. BOMBA TIPO DIAFRAGMA TOMADA DE R. L. MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA. ....	10
FIGURA 2.2. FILTRO PRENSA DE LA EMPRESA EATON ELECTRICAL S.A. ....	11
FIGURA 3.1. PLANO PLANTA EATON ELECTRICAL VR BRINDADO POR EATON ELECTRICALS.A. ....	14
FIGURA 3.2. MÁXIMO NIVEL DE AGUA PERMITIDO EN LOS REACTORES .....	15
FIGURA 3.3. GABINETE DE CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO .....	19
FIGURA 3.4. PANTALLA DE CONTROL PTAR .....	20
FIGURA 4.1. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA ELABORADO CON MICROSFT VISIO .....	23
FIGURA 4.2. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PTAR ELABORADO CON MICROSOFT VISIO .....	25
FIGURA 4.3. DETALLE SENSORES Y ACTUADORES EN EL REACTOR 1 ELABORADO CON MICROSOFT VISIO .....	26
FIGURA 4.4. DETALLE SENSORES Y ACTUADORES EN EL REACTOR 2 ELABORADO CON MICROSOFT VISIO .....	26
FIGURA 4.5. IXIAN™ PH TRANSMITTER ATLAS SCIENTIFIC TOMADO DE <a href="https://www.atlas-scientific.com/product_pages/industrial/ph_transmitter.html">HTTPS://WWW.ATLAS-SCIENTIFIC.COM/PRODUCT_PAGES/INDUSTRIAL/PH_TRANSMITTER.HTML</a> .....	32
FIGURA 4.6. CONVERTIDOR UART A RS-485 TOMADO DE <a href="http://www.robotshop.com/en/sfe-uart-to-rs-485-converter.html">HTTP://WWW.ROBOTSHOP.COM/EN/SFE-UART-TO-RS-485-CONVERTER.HTML</a> .....	34
FIGURA 4.7. DIAGRAMA DE FLUJO DE LLENADO DE REACTORES ELABORADO CON GRAFIO .....	43
FIGURA 4.8. DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN REACTOR 1 ELABORADO CON GRAFIO .....	44
FIGURA 4.9. SEGUNDA PARTE DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN REACTOR 1 ELABORADO CON GRAFIO .....	45
FIGURA 4.10. TERCERA PARTE DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN REACTOR 1 ELABORADO CON GRAFIO .....	46
FIGURA 4.11. DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN REACTOR 2 ELABORADO CON GRAFIO .....	47
FIGURA 4.12. SEGUNDA PARTE DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN REACTOR 2 ELABORADO CON GRAFIO .....	48
FIGURA 4.13. TERCERA PARTE DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN REACTOR 2 ELABORADO CON GRAFIO .....	49
FIGURA 4.14. DIAGRAMA DE FLUJO DE RECOLECCIÓN DE LODOS EN EL REACTOR 1 ELABORADO CON GRAFIO .....	50
FIGURA 4.15. DIAGRAMA DE FLUJO DE RECOLECCIÓN DE LODOS EN EL REACTOR 2 ELABORADO CON GRAFIO .....	51
FIGURA 5.1. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARCIAL DE LA PTAR ELABORADO CON MICROSOFT VISIO.....	55

FIGURA 7.1. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DE TRATAMIENTO DE AGUA EN EATON S.A. ELABORADO CON GRAFIO .....	58
FIGURA 7.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LODOS ELABORADO CON GRAFIO .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. MEDIDAS LONGITUDINALES DE LOS REACTORES EN LA PTAR DE EATON ELECTRICAL.....	15
TABLA 3.2. ELEMENTOS ELECTROMECÁNICOS INSTALADOS EN LA PTAR .....	16
TABLA 3.3. ELEMENTOS DE CONTROL INSTALADOS EN LA PTAR .....	18
TABLA 3.4. FUNCIÓN DE LOS ÍCONOS MOSTRADOS EN LA PANTALLA HMI .....	21
TABLA 4.1. NOMENCLATURA DE LAS VÁLVULAS EN EL SISTEMA AUTOMATIZADO .....	26
TABLA 4.2. NOMENCLATURA DE LAS BOMBAS EN EL SISTEMA AUTOMATIZADO .....	27
TABLA 4.3. NOMENCLATURA DE LOS SENSORES EN EL SISTEMA AUTOMATIZADO .....	27
TABLA 4.4. SELECCIÓN DE SENSOR DE PH .....	31
TABLA 4.5. SELECCIÓN DE SENSOR DE TEMPERATURA.....	33
TABLA 4.6. SELECCIÓN DE CAUDALÍMETRO .....	35
TABLA 4.7. SELECCIÓN DE INTERRUPTOR DE NIVEL .....	36
TABLA 4.8. SELECCIÓN DE CAUDALÍMETRO DE PURGA .....	37
TABLA 4.9. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS ELECTROVÁLVULAS.....	38
TABLA 4.10. SELECCIÓN DE BOMBA DE SUMINISTRO DE QUÍMICOS.....	39
TABLA 4.11. DESCRIPCIÓN DE LAS ENTRADAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO .....	40
TABLA 4.12. DESCRIPCIÓN DE LAS SALIDAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO .....	40
TABLA 4.13. DESGLOSE DE LA INVERSIÓN ESTIMADA POR PARTE DE LA EMPRESA PARA LA AUTOMATIZACIÓN COMPLETA DE LA PTAR .....	41
TABLA 4.14. VALORES PROGRAMADOS POR DEFECTO PARA LA CANTIDAD DE QUÍMICOS Y TIEMPOS DE MEZCLADO .....	52
TABLA 5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ENTRADAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO .....	56
TABLA 5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS SALIDAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO.....	56
TABLA 5.3. DESGLOSE DE LA INVERSIÓN ESTIMADA POR PARTE DE LA EMPRESA PARA LA AUTOMATIZACIÓN PARCIAL DE LA PTAR .....	57

## Glosario y abreviaturas

- **Fosfatizado.** Proceso mediante el cual algunos productos químicos reaccionan con el metal base para ofrecer una barrera química contra la corrosión y como beneficio secundario aumentan la adherencia de la pintura.
- **Agua Residual.** Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.
- **PTAR.** Planta de tratamiento de aguas residuales.
- **PLC.** Programador lógico controlable.
- **HMI.** Human-machine interface.
- **Lodos.** Mezcla de sólidos y aguas generada como subproducto de los procesos de tratamiento de aguas con productos químicos tales como coagulantes, polímeros y floculantes.
- **Aforo.** Medición de caudal.
- **Alcantarillado sanitario.** Red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas residuales hasta su punto de tratamiento y vertido.
- **Caudal.** Volumen de un líquido que pasa por un punto en un tiempo determinado.
- **Recirculación.** Aprovechamiento del agua residual, tratado o no, dentro del espacio confinado en que se genera el agua residual.
- **Efluente.** Un líquido que fluye hacia afuera del espacio confinado que lo contiene. En el manejo de aguas residuales se refiere al caudal que sale de la última unidad de tratamiento.
- **CIIU.** Código Internacional Industrial Unificado, revisión 3.
- **Afluente al sistema de tratamiento.** Se refiere a las aguas que ingresan al tratamiento preliminar, o la primera unidad de tratamiento.
- **Ente generador.** Persona física o jurídica, pública o privada, responsable del tratamiento y posible reuso de aguas residuales, o de su vertido en un medio receptor o alcantarillado sanitario.

- **Coloides.** Sistemas dispersos en el que las partículas en suspensión varían entre 0,001  $\mu\text{m}$  y 0,1  $\mu\text{m}$ .
- **Alcali.** Cualquier sustancia que presente propiedades alcalinas.
- **EPP.** Equipo de protección personal.
- **AseEaton.** Asociación de empleados de Eaton Electrical.

## Capítulo 1. Introducción

### 1.1 Actividad comercial de la empresa EATON Electrical

Eaton es una compañía dedicada a brindar soluciones eficientes en la administración de energía eléctrica, hidráulica y mecánica. La compañía es un líder mundial en tecnología de productos eléctricos, sistemas y servicios para la calidad de la energía, distribución y control, transmisión de energía, iluminación y productos de cableado; componentes hidráulicos, sistemas y servicios para equipos industriales y móviles; combustible aeroespacial, sistemas hidráulicos y neumáticos para uso comercial y militar, y sistemas de soportes de transmisión y trenes de potencia para camiones y automóviles para lograr un mayor rendimiento, ahorro de combustible y seguridad [1].

Actualmente los negocios de Eaton comprenden cinco segmentos distintos: Sector Eléctrico, Hidráulico, Aeroespacial, Camiones y Automotriz. En Costa Rica la empresa solamente se encuentra involucrada en el sector eléctrico y cuenta con dos facilidades dentro del territorio nacional: una bodega localizada en La Valencia, Heredia y la planta de manufactura localizada en Moravia, San José. Dicha planta es la encargada de manufacturar y ensamblar distintas líneas de productos como centros de carga, medidores, tableros de distribución, entre otros.

### 1.2 Generación de aguas residuales por parte de la empresa

Dentro de los procesos que atraviesan algunos de los diversos componentes de cada uno de los productos se encuentra el proceso de pintura el cual consiste en la aplicación de un recubrimiento orgánico de naturaleza sólida con tamaños de partículas inferiores a 100 micras que se transfiere a la superficie a pintar por medio de un campo eléctrico. Cabe destacar que la superficie debe ser conductora por lo que antes de poder ser pintada atraviesa un proceso de pre-tratamiento en un túnel de fosfatizado en dónde se limpia, fosfatiza y sella la pieza por medio de diferentes baños.

Por la gran cantidad de químicos que trae el agua residual proveniente de los baños del pre-tratamiento de las piezas, no se puede disponer de esta por el alcantarillado sin antes realizarle algún tipo de tratamiento para nivelar sus niveles de pH, temperatura, y cantidad de partículas sólidas a valores fijados por el Ministerio de Ambiente y Energía [2]. Es debido a esta necesidad de tratar el agua que en el año 2006 se instala una planta de tratamiento de aguas residuales (en adelante llamada PTAR) dentro de las instalaciones



de la empresa. Si bien esta planta en un principio fue diseñada por personal de la empresa para ser autónoma, actualmente es operada por una persona capacitada en el manejo de la misma.

### 1.3 Deterioro de los elementos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales

En un principio el diseño de la planta establecía que su operación fuera casi que autónoma pues contaba con un controlador lógico programable (PLC) y sensores encargados de medir el nivel (alto o bajo) del agua almacenada en los reactores. A partir de las mediciones que cada sensor proveía, el controlador se encargaba de activar o desactivar los elementos electromecánicos en conjunto con la adición de los químicos necesarios para completar el proceso de tratamiento y llevar el agua a un nivel de pH adecuado para su expulsión hacia el alcantarillado público. La PTAR contaba también con un HMI para operar la planta en un “modo manual” en donde el operario podía controlar tanto los elementos electromecánicos como la dosificación de los químicos por medio de una pantalla táctil.

No obstante, por falta de mantenimiento y seguimiento del proyecto, la PTAR actualmente sólo puede ser operada de manera manual. Los sensores de nivel experimentaron daños irreparables en el transcurso del tiempo y no fueron sustituidos, por lo que el PLC no tiene manera de tomar decisiones autónomas acerca del momento conveniente para accionar los diferentes componentes electromecánicos. Unido a esto se implementó un cambio en los químicos utilizados para el tratamiento del agua, razón por la cual las bombas dosificadoras de químicos fueron removidas y ahora el operario debe realizar las mezclas de los químicos necesarios para el tratamiento y suministrarlas al tanque de manera manual con un balde. Otros elementos en estado crítico del sistema son las válvulas de dirección de flujo pues estas comenzaron a presentar fallas en su accionar eléctrico por lo que en algunos casos fueron sustituidas sin guardar su respectiva conexión al PLC o bien; las entradas y salidas del programador dejaron de responder y se tuvieron que hacer nuevas conexiones para accionar las válvulas y las bombas.

Los inconvenientes presentados con anterioridad dan pie a que el operario que maneje la PTAR deba tener una capacitación especial puesto que lo mostrado en la pantalla HMI no corresponde en absoluto al diagrama del proceso actual. El encargado del funcionamiento del proceso debe saber cuáles válvulas no se pueden activar por medio

del PLC e ir al campo y accionarlas manualmente. Esto debido a que los actuadores no se encuentran conectados o bien, no se encuentran conectados en la posición correcta. Las fuerzas que se deben ejercer para lograr el accionamiento de las válvulas en ocasiones son considerables y pueden causar incapacidades temporales en la persona encargada.

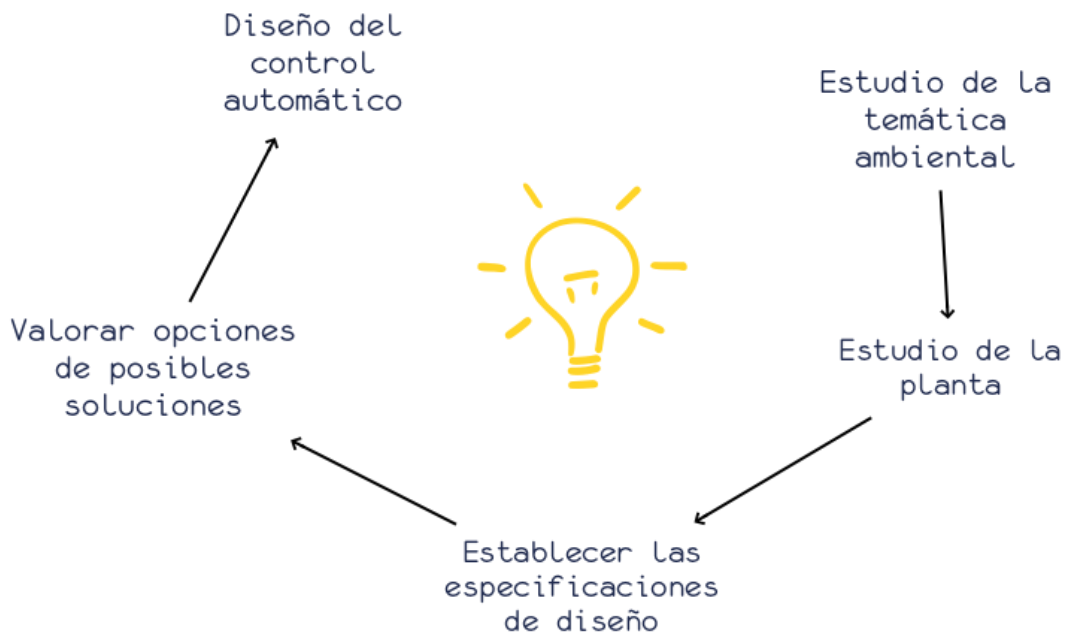
El operario encargado también debe estar constantemente midiendo el pH, la temperatura, y el grado de precipitación de los lodos para determinar en qué momento se pueden accionar las bombas y expulsar el agua tratada al alcantarillado y anotar los valores para el reporte semanal que se debe presentar al Ministerio de Ambiente y Energía.

Dada la condición actual de la PTAR y la dependencia de un recurso humano que la opere, la empresa decidió abrir un proyecto que plantee mejoras a su proceso de tratamiento de aguas; para ello, se planteó una solución automatizada para futura implementación a criterio de la empresa.

#### 1.4 Descripción general de la propuesta de automatización

Dado el estado de la PTAR, Eaton ha recibido la visita de varias empresas dedicadas a la automatización de plantas de tratamiento. Sin embargo, las opciones presentadas por las empresas contemplan una automatización completa del proceso que implican una inversión sumamente elevada y que no garantiza el correcto cumplimiento de los parámetros una vez finalizada la automatización. Es por esto que se prefiere modificar y optimizar el sistema de control con el que se cuenta actualmente o presentar una propuesta de automatización completa que no requiera una inversión tan elevada por parte de la empresa.

A continuación, en la Figura 1.1 se muestra el enfoque que se le dará al desarrollo de la propuesta de automatización:



**Figura 1.1. Boceto del enfoque de la propuesta de automatización**

- Estudio de la temática ambiental: Como primer paso se debe estudiar el marco ambiental que rodea los procesos de tratamientos de aguas y las disposiciones para el vertido de aguas residuales al sistema de alcantarillado.
- Estudio de la planta: Seguidamente se debe determinar la manera en que opera la PTAR de la empresa, en este paso se busca determinar cuáles variables pueden controlarse de forma automática y cuáles se deben controlar de forma manual y periódica para asegurar el cumplimiento del Decreto Ejecutivo N° 39316-S [2]. Además, se pretende determinar los rangos de valores apropiados para cada una de las variables.
- Establecer las especificaciones de diseño: Luego se establecen los parámetros de pH, temperatura, cantidad de sólidos y demás encontrados para el correcto funcionamiento de la planta.
- Valorar opciones de posibles soluciones: Se plantean diversas opciones de solución para la automatización completa y/o parcial de la PTAR y se valoran las ventajas y desventajas de cada una.
- Diseño del control automático: Para las variables automatizables, se desarrollará el diseño del control automático, se incluyen los costos de componentes, modificaciones mecánicas y electrónicas a ser implementadas en el sistema ya existente en la empresa o bien la adquisición total de nuevo equipo.

En el Capítulo 2 se detallan los fundamentos teóricos necesarios para comprender las propuestas de automatización realizadas en los Capítulo 5 y Capítulo 4. Seguidamente en el Capítulo 6 se muestran los principales resultados alcanzados con el desarrollo de la propuesta de automatización y la solución al problema que se encontró referente a la utilización del filtro-prensa. En el Capítulo 3 se puede encontrar una descripción detallada del estado actual de los componentes de la PTAR y en la sección 4.3 se detalla en la solución a un problema encontrado en el desarrollo del proyecto concerniente al filtro-prensa. Finalmente en el Capítulo 7 se muestran las conclusiones del proyecto y en el Capítulo 8 se habla acerca de las recomendaciones para mejorar el mismo.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo general

Como objetivo general en el proyecto de graduación se tiene el proveer una alternativa para el manejo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Eaton Costa Rica, mediante el diseño de un sistema de control que logre garantizar las características fisicoquímicas con las que el agua debe ser vertida al alcantarillado.

### 1.5.2 Objetivos específicos

1. Determinar las variables a controlar en la planta de tratamiento para lograr el diseño del sistema de control.
2. Diseñar un sistema de control, para las variables automatizables, que permita garantizar las características fisicoquímicas con las que el agua debe ser vertida al alcantarillado público.
3. Minimizar el contacto que tiene el operario con los elementos electromecánicos del sistema.
4. Establecer un procedimiento de automatización para las variables no automatizables.

## Capítulo 2. Marco Teórico

### 2.1 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales es necesario para la prevención tanto de la contaminación ambiental como la del agua, y es importante pues constituye un medio de protección de la salud pública. Su origen es relativamente reciente pues data desde los finales de los años 1800, tiempos que coinciden con la época de la higiene. De acuerdo con R. Rojas el objetivo del tratamiento de aguas residuales es la conversión del agua residual proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable a las condiciones del ambiente (estético, organoléptico y de salud pública) y la disposición adecuada de los sólidos (lodos) obtenidos durante el proceso de purificación [3].

Por lo general, las aguas residuales se encuentran compuestas por dos elementos: un efluente líquido y un constituyente sólido, lo cual provoca que obtengan la clasificación de coloide. Los coloides se obtienen de membranas porosas (pergamino animal o vegetal) en donde las sustancias disueltas atraviesan dichas membranas mientras que las partículas en suspensión quedan retenidas. Muchas partículas de los coloides quedan cargadas eléctricamente por medio de la absorción de iones y forman una especie de membrana protectora alrededor de las partículas, lo cual les permite tener muy buena estabilidad [4]. La composición de las aguas residuales es muy variable en razón de los diversos factores que la afectan como por ejemplo el tipo de industria. En el caso de Eaton, el agua proveniente del proceso de pintura constituye una mezcla de los siguientes componentes:

- FO-111
- Hidróxido de Sodio
- Jabón desengrasante
- PO-427
- Agua de lluvia o agua potable

Ahora bien, aunque las aguas residuales se encuentren en cierto grado diluidas con aguas de lluvia, siguen contando en su composición con elementos contaminantes que al ser descargados al alcantarillado público o cualquier otro medio receptor pueden causar un alto impacto ambiental y poner en riesgo la salud de las personas. Si bien la meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril que no contenga en algún grado especies microbianas o elementos dañinos, los procesos para el

tratamiento de aguas se basan en la eliminación de estos contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas nacionales o internacionales [5].

En el caso particular de Costa Rica, la legislación vigente que trata con el tema de manejo de aguas residuales y disposición de lodos cuenta con los siguientes reglamentos y decretos:

- Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, publicado en el periódico La Gaceta n° 234 el día 2 de Diciembre de 2015.
- Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, publicado en el periódico La Gaceta el día 19 de Marzo de 2007.
- Decreto N°25018-MEIC, publicado en el periódico La Gaceta n° 59 el día 25 de Marzo de 1996.
- Decreto N° 31545-S-MINAE Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, publicado en el periódico La Gaceta n° 246 el día 22 de Diciembre de 2003.

En la actualidad se agruparon los métodos de tratamiento en dos grandes grupos: operaciones unitarias y procesos unitarios. La diferencia siendo que en el primer grupo predomina la aplicación de principios físicos y en el segundo la actividad química o biológica [3]. La empresa Eaton se encuentra familiarizada con los procesos unitarios pues para su tratamiento de aguas se emplean diversos químicos que serán detallados posteriormente. A continuación se enlistan las etapas de tratamiento dentro del proceso según Rojas [3].

1. **Tratamiento preliminar.** Procura acondicionar las aguas residuales para proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas con la apariencia estética de las plantas de tratamiento.
2. **Tratamiento primario.** Su objetivo es eliminar una parte sustancial del material sedimentable o flotante por medios físicos o mecánicos. Entre los tipos de este tratamiento se tienen: flotación, sedimentación primaria, oxidación química y coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
3. **Tratamiento secundario.** Convierte la materia orgánica finamente dividida en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Algunos ejemplos de este tratamiento son lodos activados y discos rotatorios.

4. **Tratamiento avanzado o terciario.** Complementa los procesos anteriormente indicados y logra efluentes con mayor grado de purificación. En este tratamiento se logra la remoción de los siguientes factores:
  - a. Fosfatos y nitratos
  - b. Sustancias tenso activas
  - c. Sólidos totales disueltos
  - d. Valor de temperatura incorrecto
5. **Desinfección.** Reduce el contenido selectivo de organismos causantes de enfermedad como lo son las bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas previo a su disposición final.
6. **Disposición de lodos.** Debido al alto contenido de materia orgánica putrescible, los lodos deben ser acondicionados antes de su disposición final.

Dentro de los ejemplos de tratamiento primario se tiene el de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Se hace importante definir el principio de funcionamiento de este método puesto que es el utilizado en la empresa Eaton para tratar sus aguas. Este tipo de tratamiento presenta grandes ventajas dentro de las cuales está la menor sensibilidad a las variaciones en el caudal y la composición del afluente. Ahora bien, como se mencionó con anterioridad, los coloides que han absorbido iones cuentan con una membrana protectora que les da estabilidad. Es necesario romper esta membrana para poder aglomerar las partículas sólidas de las aguas de tratamiento (lodos) y así poder removerlos del agua para su debida disposición.

Para conseguir que las partículas coloidales se desestabilicen se realizan tres operaciones: coagulación, floculación y decantación. En la primera etapa de coagulación se elimina la doble capa eléctrica que caracteriza a los coloides; no obstante, es necesario que el agua a tratar tenga un pH óptimo de coagulación para que los coagulantes puedan eliminar eficazmente la capa eléctrica. Este pH óptimo se determina por medio de experimentación pues varía de acuerdo a los componentes presentes en las aguas residuales. La floculación consiste básicamente en la aglomeración de los coloides mediante la atracción de las partículas con el aglutinamiento que se logra por la presencia de unas sustancias conocidas como floculantes [5]. Finalmente la etapa de decantación consiste en permitir que el agua tratada repose para que los flóculos se concentren en el lugar destinado para tal fin dentro del reactor.

Las sustancias químicas utilizadas en la coagulación se pueden clasificar en tres categorías [4]:

1. **Coagulantes:** son compuestos de aluminio o fierro que pueden producir hidróxidos gelatinosos no solubles y absorber las impurezas.
2. **Alcalinizantes:** sustancias como cal viva, soda cáustica y carbonato de sodio que puedan proporcionar la alcalinidad necesaria para la coagulación.
3. **Coadyuvantes de la coagulación (floculantes):** compuestos que se pueden convertir en partículas más densas y hacer que los floculos sean más firmes.

Dentro de las propiedades de los buenos coagulantes se destacan el poder actuar con los alcalis para producir hidróxidos gelatinosos que contienen y absorben impurezas, y producir iones trivalentes de cargas eléctricas positivas que atraen y neutralizan las cargas eléctricas de los coloides protegidos que por lo general son negativas [4].

## 2.2 Principios de automatización

Cuando se habla de automatización se hace referencia a la transferencia de tareas de producción realizadas por operarios humanos a un conjunto de dispositivos tecnológicos. Con la automatización se busca lograr los siguientes objetivos:

- Reducir costes de producción y mejorar la producción de las empresas.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal.
- Integrar la gestión y producción dentro de la empresa.
- Simplificar las labores de mantenimiento de los equipos.

Ya que la automatización consiste en el uso de sistemas computarizados y electromecánicos para controlar los procesos industriales, resulta conveniente definir lo que es un controlador lógico programable, mejor conocido como PLC y algunos otros dispositivos no tan comunes que se utilizan en la propuesta de automatizaciones.

### 2.2.1 PLC

Un PLC es un equipo electrónico programable en varios tipos de lenguaje que fue diseñado para controlar en tiempo real y en un ambiente industrial, procesos secuenciales [6]. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los sensores y el programa lógico interno toma las decisiones acerca del estado de los actuadores del proceso. La utilización de este equipo se da principalmente en aquellas industrias en donde existen procesos de maniobra, control, señalización, etc.

Además es necesario conocer la manera en la que el PLC recibe la información a través de los sensores. Estos son dispositivos que transforman el efecto de una causa física o química en una señal eléctrica. La causa es muy variada, por ejemplo existen sensores de presión, temperatura, dilatación, humedad, pH, entre otros. La señal eléctrica producida por los sensores es la que el PLC interpreta y con base a ella y a su



programación activa o desactiva los actuadores correspondientes. Un actuador es lo opuesto a un sensor. Estos dispositivos transforman una señal eléctrica en una variable física. A continuación se presentan los principales actuadores que se mencionan en el desarrollo de la propuesta del sistema automatizado para la PTAR.

### 2.2.2 Bomba tipo diafragma

Es un tipo de bomba de desplazamiento positivo que se vale del empuje de unas paredes elásticas para lograr el aumento de presión. Esto se logra mediante la variación del volumen de una cámara a través del movimiento de las mismas paredes elásticas. [7]. Normalmente se utilizan también unas válvulas de retención que controlan que el movimiento del fluido se realice solamente de la zona de menor presión a la de mayor presión. Dentro de las ventajas de las bombas dosificadoras tipo diafragma se encuentran la falta de cierres mecánicos y empaquetaduras que son las principales causas de rotura de los equipos de bombeo. Además estas bombas no necesitan tener el espacio de aspiración completamente lleno de líquido para funcionar por lo que no hay inconveniente alguno si al inicio de la succión la tubería tiene aire. No obstante, la mayor ventaja de estas bombas consiste en que su mantenimiento es sencillo y rápido y los componentes son fácilmente sustituibles. En la Figura 2.1 se muestran los componentes de una bomba tipo diafragma con miras a que se entienda de mejor manera su funcionamiento.

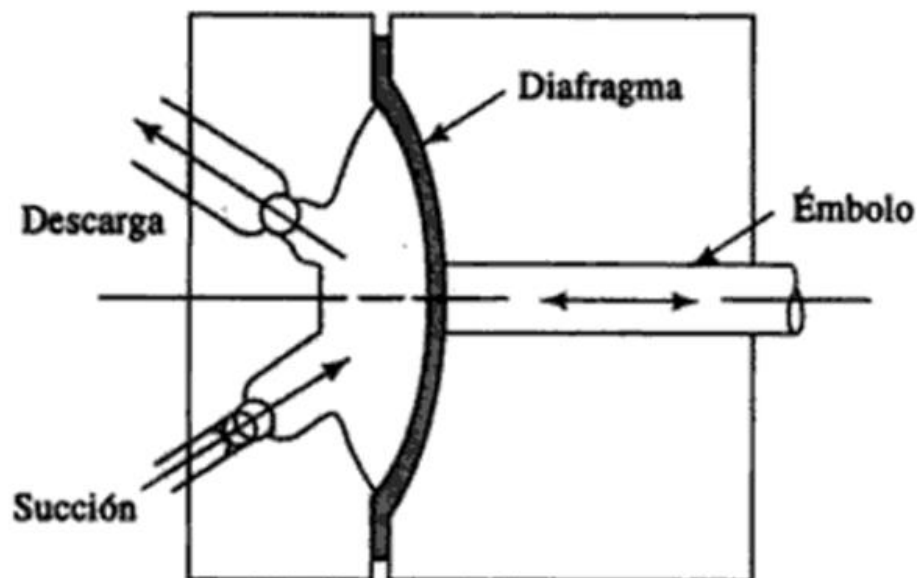


Figura 2.1. Bomba tipo diafragma tomada de R. L. Mott, Mecánica de fluidos aplicada.

### 2.2.3 Filtro-prensa

Este tipo de filtro es utilizado con frecuencia en el campo del tratamiento de aguas pues es una manera eficiente de filtrar los lodos residuales que quedan en los reactores. El filtro prensa es un sistema de filtración por presión, está constituido por un sistema de placas apiladas en donde cada una tiene en su interior un filtro de papel o tela. Las placas apiladas cuentan con incisiones con forma de canales para que al utilizar un tipo de presión, ya sea hidráulica o mecánica, se fuerce el paso de agua por ellos [8]. Esta acción da pie a que los sólidos que están suspendidos en los lodos sean retenidos en los filtros. En la Figura 2.2 se muestra el filtro prensa que se encuentra dentro de las instalaciones de la empresa.



**Figura 2.2. Filtro prensa de la empresa Eaton Electrical S.A.**

Una vez que se ha evacuado la mayor cantidad de líquido haciendo uso de la presión, los lodos remanentes pueden ser removidos del filtro para su debida disposición. Al final del proceso de filtrado y secado de lodos, la textura de estos se asemeja al de la arcilla; si este no es el caso, el proceso no se ha llevado a cabo de manera correcta.

#### 2.2.4 Bomba dosificadora

La bomba dosificadora pertenece al grupo de desplazamiento positivo y es del tipo reciprocante. Es un tipo especial de bomba diseñada para inyectar un químico líquido en el seno de un fluido. Al utilizar estas bombas se puede obtener un control preciso del volumen de químico añadido. Una de las ventajas que presenta este tipo de bomba radica en que el caudal ajustado es preciso aun cuando la presión en la tubería donde se inyecte el químico varíe. Existen diferentes tipos de bombas dosificadoras de acuerdo con el elemento impulsor, sin embargo, las más comunes son las accionadas por un motor eléctrico y las de tipo solenoide.

## Capítulo 3. Situación actual de la PTAR en Eaton

### 3.1 Generalidades e histórico del sistema

La PTAR en Eaton Electrical opera desde las 7:30 hasta las 17:00 horas de lunes a viernes durante cincuenta y dos semanas al año de forma continua. Esto se debe a que la planta recibe únicamente las aguas residuales provenientes del proceso productivo de pintura y, al encontrarse la empresa dentro de una zona residencial, sólo se le permite realizar sus actividades laborales de manufactura dentro de ese horario.

La mezcla de aguas residuales llega a la PTAR por diferencia de alturas desde la planta de producción hasta los dos reactores. Durante el recorrido, el líquido pasa por una trampa inicial que se encuentra cerca del portón de las inmediaciones a la PTAR. Es en esta trampa donde se le da a la mezcla el tratamiento denominado como preliminar pues consiste de un arreglo de cedazos que se aseguran de que solamente pase líquido a los reactores a través de la tubería. Cualquier elemento sólido de tamaño mayor a medio centímetro queda atrapado en el arreglo y es incapaz de ingresar al sistema de tratamiento. Con esto se evitan daños a los equipos involucrados en el saneamiento de las aguas.

Una vez atravesada la trampa, el líquido fluye por una tubería de PVC de 4 pulgadas hasta una válvula de dirección (denominada VSR en el sistema) que determina a cuál de los dos reactores existentes fluirá. Cabe destacar que, entre las labores desarrolladas en la PTAR, el sistema controlado es únicamente el de encendido y apagado de unos cuantos equipos, ya que las demás mediciones, mezclas y vaciados los debe hacer el operario encargado.

Por el tipo de actividad desarrollada dentro de la empresa, el agua residual de la planta se categoriza de tipo especial, con codificación CIU 31201 según la Tabla 1 del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Dicha categoría corresponde al tipo de industria en donde se realice la manufactura de implementos para interruptores y cajas de interruptores así como también equipo de distribución de electricidad [9].

### 3.2 Parámetros de diseño

La PTAR de Eaton cuenta con dos reactores, el sistema de tuberías, una sala de control y un cuarto de químicos, todo distribuido como se muestra en la Figura 3.1

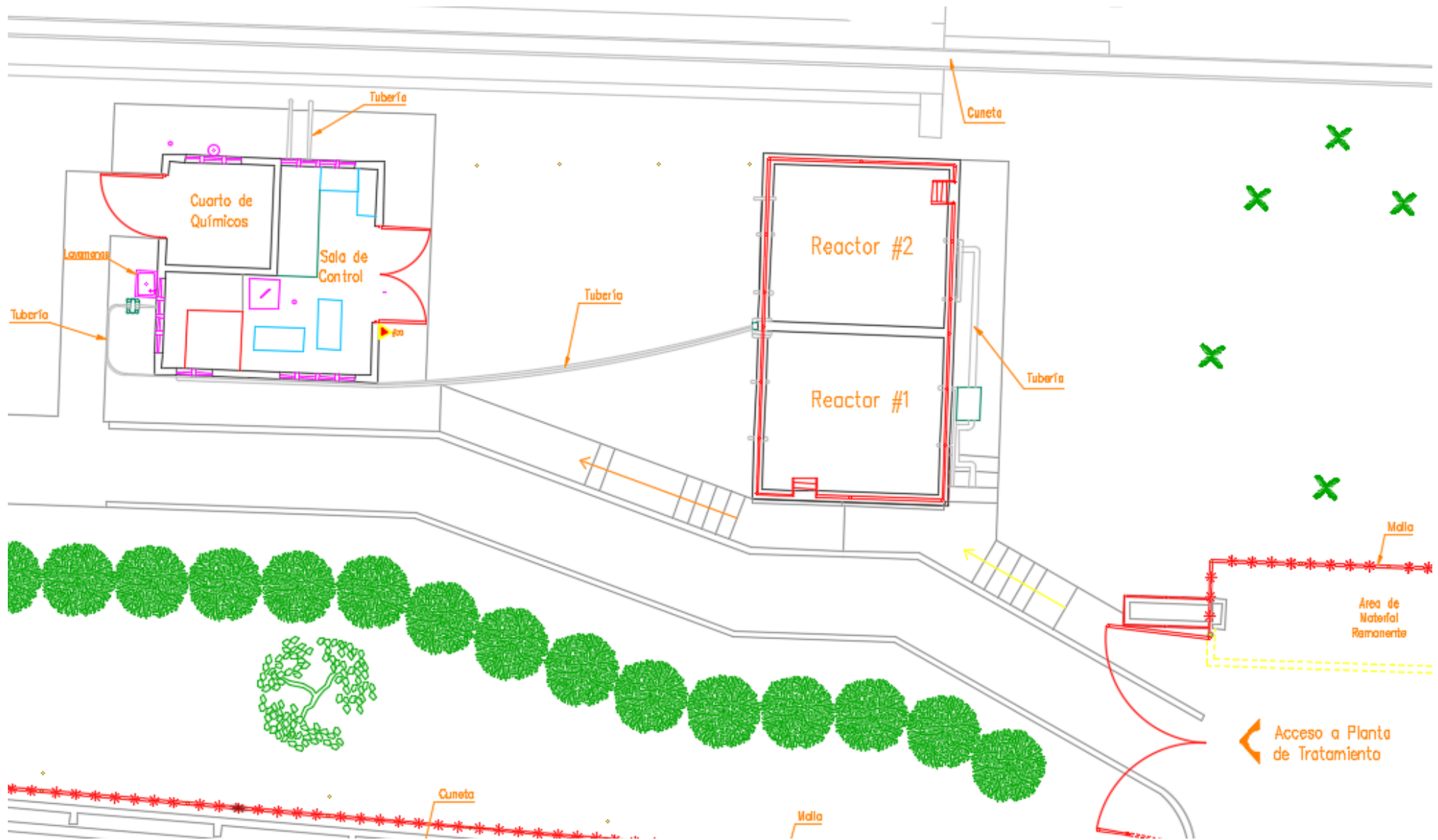


Figura 3.1. Plano Planta Eaton Electrical VR brindado por Eaton Electrical S.A.

De acuerdo con los datos del plano en la Figura 3.1 y mediciones en el campo se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Medidas longitudinales de los reactores en la PTAR de Eaton Electrical**

<b>Medidas Reactores</b>	
Largo (l)	3,59
Ancho (w)	3,22
Profundidad (a)	2,00

Luego, al utilizar la ecuación de volumen dada por

$$V = l * w * a \quad (1)$$

$$V = 3,59 * 3,22 * 2$$

$$V = 23,10 \text{ m}^3$$

Se determina que la capacidad de volumen de agua que cada reactor puede contener es de aproximadamente  $23 \text{ m}^3$ .

Es importante mencionar que, para realizar el tratamiento de aguas, no se utilizan los reactores completamente llenos, sino que se llega a un nivel determinado por el operario. El nivel apropiado es aproximadamente 10 cm debajo del codo de alimentación de 4 pulgadas en el reactor respectivo y provoca que el volumen máximo a tratar en cada reactor no sea de  $23 \text{ m}^3$  sino de aproximadamente  $14 \text{ m}^3$ . La situación descrita previamente se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2. Máximo nivel de agua permitido en los reactores**

El proceso de tratamiento de aguas dentro de la empresa se puede dividir en 4 subprocesos:

1. Recolección de afluente de aguas residuales en los reactores
2. Tratamiento de aguas residuales
3. Expulsión del efluente hacia el alcantarillado público
4. Captación y disposición de lodos

El circuito referente a la captación de los lodos es cerrado ya que el líquido filtrado que se escapa de los lodos encapsulados dentro del filtro prensa es enviado de nuevo a los reactores. Con esto se logra que estos sean capturados ahora como líquidos y no como sólidos. El material que queda preso dentro del filtro es recolectado para su debida disposición. Cabe rescatar que los lodos producidos en la PTAR de Eaton son recolectados por una empresa que los mezcla junto con aserrín para luego ser utilizados como combustible en los hornos de la empresa Holcim.

### 3.2.1 Elementos electromecánicos instalados en la planta de tratamiento

En esta sección se presenta la Tabla 3.2 que contiene un listado de los elementos electromecánicos instalados en la planta de tratamiento así como las características y la cantidad de ellos presente en la totalidad del sistema.

**Tabla 3.2. Elementos electromecánicos instalados en la PTAR**

Unidades	Nombre	Características
1	Bomba Tipo Diafragma	Marca: SandPiper; Modelo: S20B3P1PPAS000
1	Bomba Tipo Diafragma	Marca: Serfilco; Modelo: PPL-01 <sup>1</sup> . Diámetro tubería de carga y descarga: 1". Modelo plástico, de uniones por gaza.
1	Filtro Prensa	Marca: Serfilco; Modelo: 2-18-PPGMH P-43-0806-G
1	Caudalímetro	Marca: Tecnoval; Especificaciones: L x LC, DN50, 15 m <sup>3</sup> /h, ΔP=0,03MPa
1	Caudalímetro	Marca: Keyline Smart Meter Modelo: WDE-DN1000

<sup>1</sup> El modelo de la bomba es ilegible. Sin embargo, dado los fluidos a trasegar, se supone que los materiales internos están conformados de santopreno, lo que provocaría un modelo como el mencionado. Se tiene certeza en la clasificación PP\*-01, el valor marcado en asterisco es el de origen de la duda.



2	Juego Motor-Bomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Motor:</b> Marca: St. Louis Mo. U.S.A; Modelo: R61964B</li> <li>• <b>Bomba:</b> Marca: Franklin; Modelo: DB1-1/2-K1</li> </ul>
1	Juego Soplador-Motor 1 <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Soplador:</b> Marca: Dresser Roots; Modelo 22 U-RAI</li> <li>• <b>Motor:</b> Marca: US Motors; Modelo: T393A (3 HP)</li> </ul>
1	Juego Soplador-Motor 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Soplador:</b> Marca: Dresser Roots; Modelo 33 U-RAI</li> <li>• <b>Motor:</b> Marca: US Motors; Modelo: T421A (7 HP)</li> </ul>
6	Electroválvulas para el direccionamiento del flujo.	Diversas marcas y modelos

### 3.2.2 Sistema de tuberías de la planta de tratamiento

Casi que todo el sistema de tuberías de la planta de tratamiento es de 2 pulgadas con cédula 80. Sin embargo, hay ligeras excepciones como la tubería por donde llega el afluente del departamento de pintura la cual es de 4 pulgadas y un subsistema de tuberías propio del filtro prensa. Este subsistema se encarga de devolver el agua recolectada en el filtro a los reactores y tiene un diámetro de 1 pulgada. Además, la tubería para la purga de los reactores es de media pulgada de diámetro.

### 3.2.3 Elementos de control instalados en la planta de tratamiento

Desde el inicio de operación de la planta en el 2006, se contaba con distintos dispositivos de control tanto para el proceso completo como para el arranque de los motores y las bombas. No obstante, muchos de los módulos de entradas y salidas del PLC se han quemado y no han sido sustituidos. A continuación en la Tabla 3.3 se listan los componentes con los que se cuenta en el panel instalado dentro de la sala de control. Cabe mencionar que todo el equipo de control es marca Eaton ya que la empresa tiene una división ubicada en Alemania dedicada al desarrollo de este tipo de tecnologías.

<sup>2</sup> Actualmente, fuera de línea. El equipo no se utiliza tal cual está la disposición y el circuito en estos momentos.



**Tabla 3.3. Elementos de control instalados en la PTAR**

Unidades	Nombre	Características
1	PLC	Modelo: ELC-PC12NNDR Controlador programable con reloj y calendario, 6 entradas digitales DC y 6 salidas digitales a relay
1	Fuente de alimentación	Modelo: ELC-PS01 Fuente de alimentación de 24 Watts que suministra 1 Amp
4	Módulo de entradas	Modelo: ELC-EX08NNDN Módulo de expansión de 8 entradas digitales DC
3	Módulo de salidas	Modelo: ELC-EX08NNNR Módulo de expansión de 8 salidas digitales a relay
2	Arrancador de motor NEMA	Modelo: AN16BN Arrancador de 18 amperios no reversible
1	Arrancador de motor NEMA	Modelo: AN16AN Arrancador de 9 amperios no reversible
4	Arrancador de motor NEMA	Modelo: AN16DN Arrancador de 27 amperios no reversible
1	Fuente de alimentación	Modelo: PSS55A
1	HMI	Modelo: HMI08CE Interfaz humano-máquina de 8 pulgadas con puerto de expansión y botones funcionales.

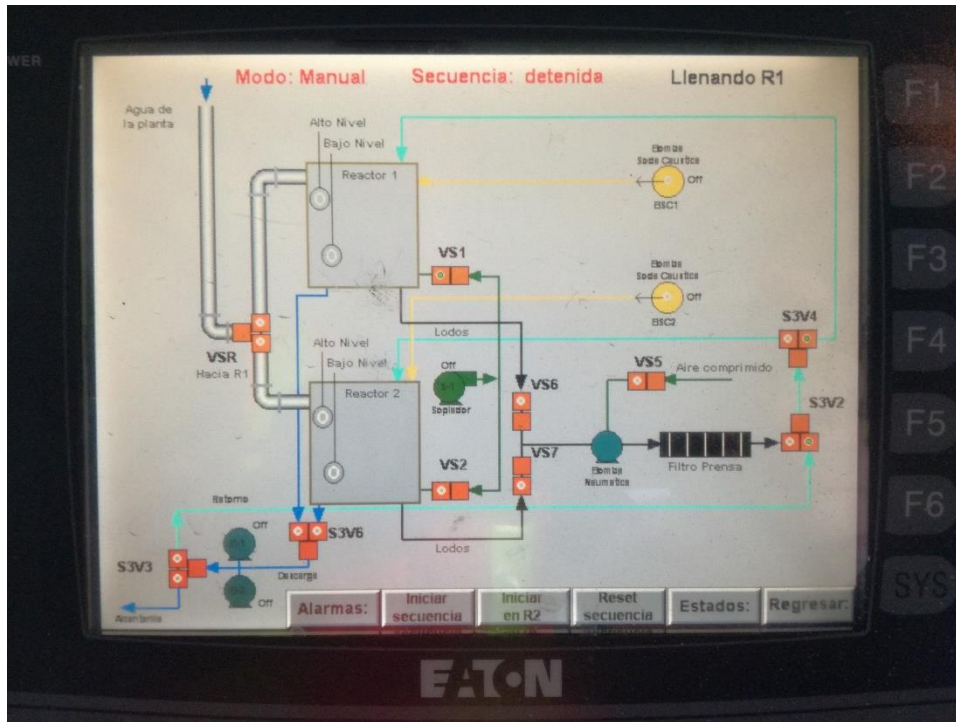
En la Figura 3.3 se muestra el gabinete de control que se tiene en la empresa destinado a la PTAR.



Figura 3.3. Gabinete de control de la planta de tratamiento

### 3.3 Interfaz humano máquina









Como dice la Tabla 3.3, dentro del equipo de control presente en el sistema, se cuenta con una pantalla HMI la cual aún es capaz de realizar las funciones para las que fue instalada. La pantalla mostrada en la interfaz que describe el antiguo proceso de tratamiento de aguas se puede apreciar en la Figura 3.4.



**Figura 3.4. Pantalla de control PTAR**

Con esta pantalla el operario cuenta con un buen manejo de los distintos elementos del sistema puesto que puede encender las bombas y los aireadores, y controlar la dirección del flujo de líquido al abrir y/o cerrar las distintas válvulas. Sin embargo, con el transcurso de los años y por la falta de un mantenimiento adecuado las entradas del PLC empezaron a fallar y se tuvieron que hacer ajustes en las conexiones para asegurar que el sistema continuara en funcionamiento. Debido a esto, la pantalla HMI ya no es tan intuitiva en comparación a hace unos años cuando todo estaba conectado correctamente. En la Tabla 3.4 se menciona cada uno de los íconos presentes en la Figura 3.4 y lo que realmente accionan en la actualidad.

Tabla 3.4. Función de los íconos mostrados en la pantalla HMI

Ícono	Función actual	Mantiene la función del panel
<b>VS1</b>	Abre el paso de aire hacia el reactor 1	
<b>VS2</b>	Abre el paso de aire hacia el reactor 2	
<b>VS6</b>	Abre el paso de lodos del reactor 1	
<b>VS7</b>	Abre el paso de lodos del reactor 2	
<b>VSR</b>	Enciende la bomba de succión B1	
<b>S3V6</b>	Activa los aireadores	
<b>S3V3</b>	Manipula la válvula que en el diagrama se nombra "S3V4". Físicamente no existe en el proceso actual.	
<b>Bomba Soda Cáustica</b>	No posee	
<b>VS5</b>	Enciende la bomba de diafragma para succión de lodos	
<b>S3V2</b>	Físicamente no existe en el proceso actual.	

## Capítulo 4. Sistema automático de tratamiento de agua

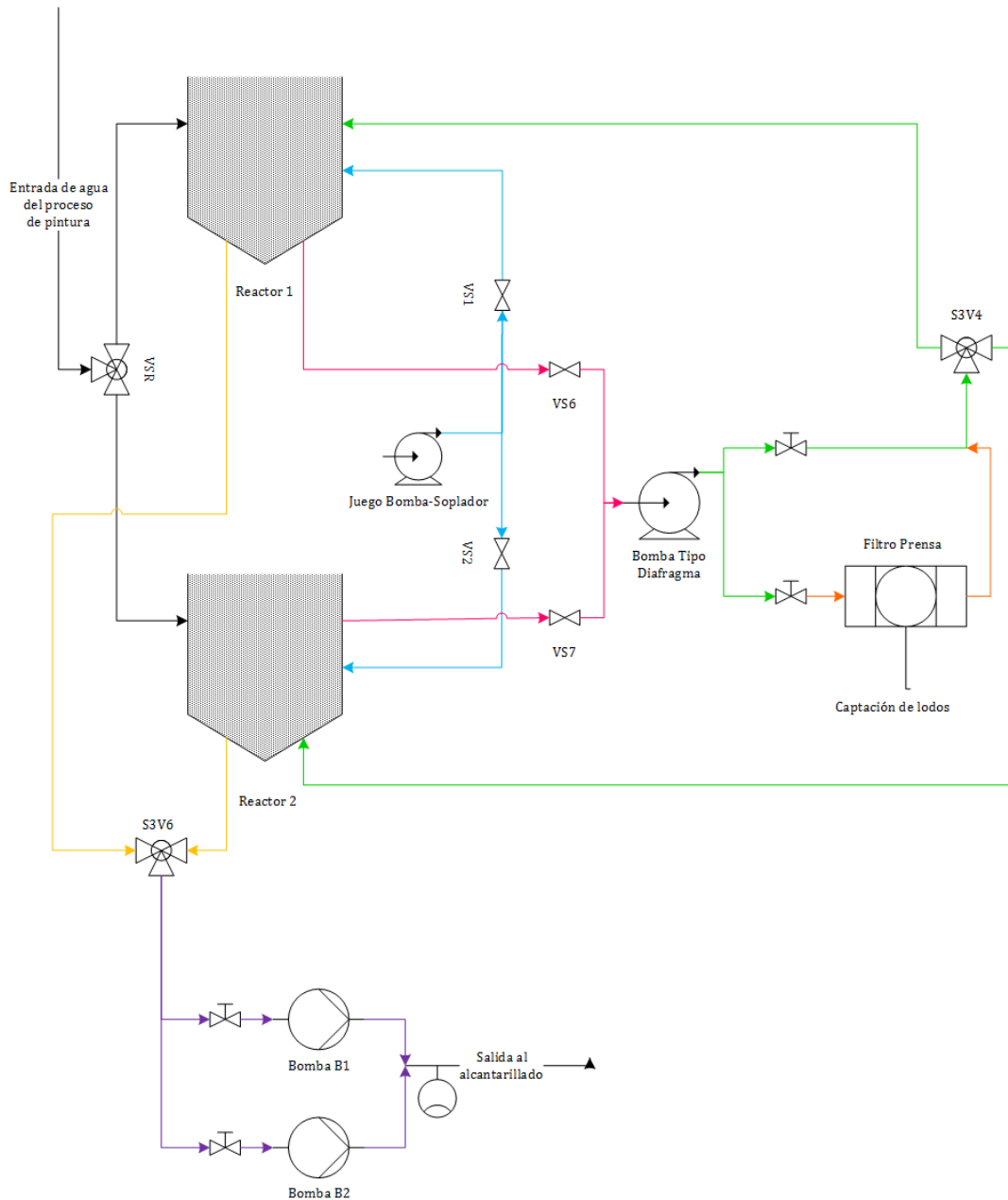
### 4.1 Procedimientos de operación

La planta de tratamiento no es operada por una misma persona en el transcurso del año por lo que a la hora de realizar las revisiones para determinar cuál era el procedimiento a seguir, se encontró que existían variaciones en la rutina. Estas rutinas dependen de la persona que se encuentre encargada de la planta en ese momento pues la hoja de trabajo estándar que se tiene para la PTAR es obsoleta. El proceso de tratamiento de aguas ha experimentado cambios en cuanto a los químicos que se utilizan lo cual provoca que los pasos que se tenían definidos con anterioridad no sean los que se deben seguir actualmente.

Con el fin de poder tener un proceso estandarizado y facilitar la automatización, se trabajó en conjunto con los departamentos de mantenimiento industrial y seguridad laboral (EHS por sus siglas en inglés: "Environment, Health, and Safety") para definir una nueva hoja de trabajo estándar. El nuevo procedimiento a seguir se definió hablando con todas las personas que en algún momento pueden estar encargadas del manejo de la PTAR para llegar a un consenso con todas ellas de los pasos adecuados y la cantidad de químicos y sustancias a utilizar en el tratamiento. Además, se revisaron las hojas de trabajo estándar (OPS) obsoletas y se encontró que existían tres de ellas para el mismo proceso de tratamiento de aguas con la diferencia de que una era para el tratamiento diario, otra para el semanal, y la última para el mensual. No obstante, las diferencias entre las tres OPS eran mínimas puesto que sólo cambiaba un paso o la cantidad de químico a suministrar. Es por esto que se decide unificar y actualizar las tres instrucciones de operación existentes para formar una nueva OPS que se presenta en la sección 6.1.

### 4.2 Variables controlables

A continuación, en la Figura 4.1 se tiene un esquema del equipo y su distribución en la PTAR manteniendo la nomenclatura que se le dio a cada elemento en el diseño original.



**Figura 4.1. Diagrama de operación de la planta elaborado con Microsoft Visio**

Las válvulas que aparecen sin nombre en la Figura 4.1 no tuvieron manera de ser accionadas eléctricamente en el diseño original, son sólo de accionamiento manual.

De acuerdo con el proceso de tratamiento de aguas realizado en la empresa, las variables que se determinaron como controlables son las siguientes:

- Nivel de afluente en los reactores
- Valor de pH del agua
- Sólidos sedimentarios en el agua tratada
- Recorrido del agua a través del sistema

Como propuesta para un sistema automatizado con la menor inferencia humana posible que sea capaz de manipular las entradas al sistema y de esa manera establecer un control sobre las variables se tiene el esquema mostrado de la Figura 4.2 a la Figura 4.4. Con ello se plantea de forma general el uso de diversos sensores, el cambio de válvulas manuales por válvulas que puedan ser accionadas por algún mecanismo de control externo (en este caso por señales eléctricas) y la incorporación de una bomba dosificadora que se encargue de suministrar la cantidad determinada de químicos para el tratamiento.

En la Figura 4.2 se tiene el esquema general de la propuesta de automatización de la PTAR en donde se cambian las válvulas manuales de la Figura 4.1 por electroválvulas, además se introduce una bomba y las válvulas necesarias para suministrar los químicos a los reactores. También se propone el uso de dos caudalímetros, uno en la tubería de entrada de afluente y otro en la tubería de salida de efluente. El primero será una medida de control para asegurarse que todo el líquido que ingrese a la PTAR sea tratado y expulsado al alcantarillado público por medio de comparaciones con el valor medido por el caudalímetro de salida. Además, el caudalímetro de salida es necesario puesto que en la bitácora que se le entrega al Ministerio de Ambiente y Energía debe ir anotado ese dato. Las válvulas VSL1, VSL2 y VCRL se agregan al diseño original como medida para resolver el problema existente con el filtro prensa que se detalla posteriormente en la sección 284.3.

En la Figura 4.3 se ejemplifica con detalle las modificaciones necesarias al reactor uno. Se incluyen interruptores de nivel para controlar el llenado y el vaciado del reactor, un sensor de pH con el que se logra determinar el momento en el que la mezcla está lista para el suministro del siguiente químico o bien ya está tratada por completo, un sensor de temperatura para incluir el valor en la bitácora y asegurarse que el efluente arrojado al sistema de alcantarillado no sea perjudicial para el medio ambiente, una válvula solenoide en la línea de la purga y un sensor de flujo en la misma línea para determinar el momento en el que la purga está completa y no hay aire dentro de la tubería. La Figura 4.4 corresponde a las modificaciones en el reactor dos (son las mismas que el reactor uno con diferente nomenclatura).



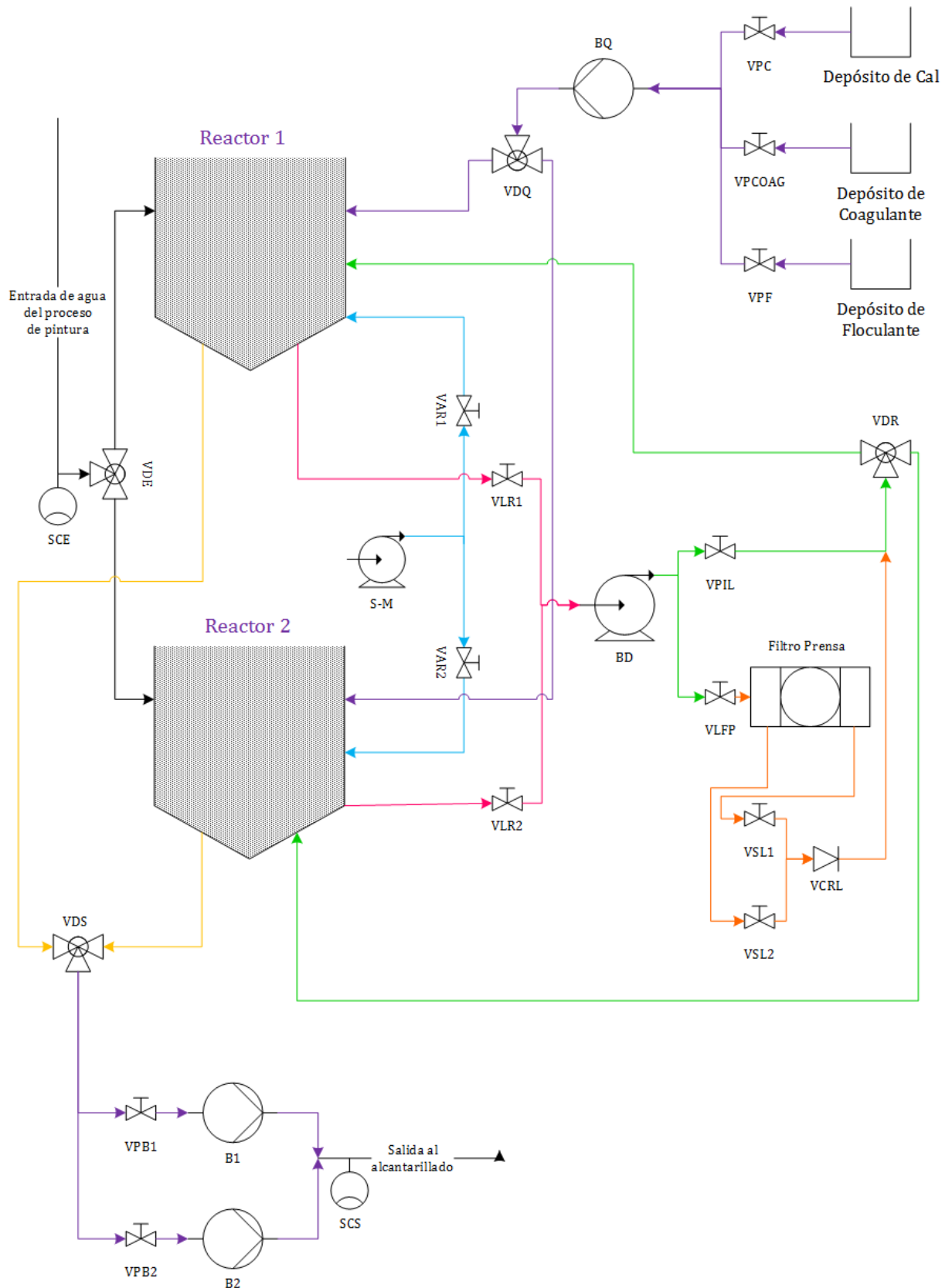


Figura 4.2. Propuesta de automatización de la PTAR elaborado con Microsoft Visio



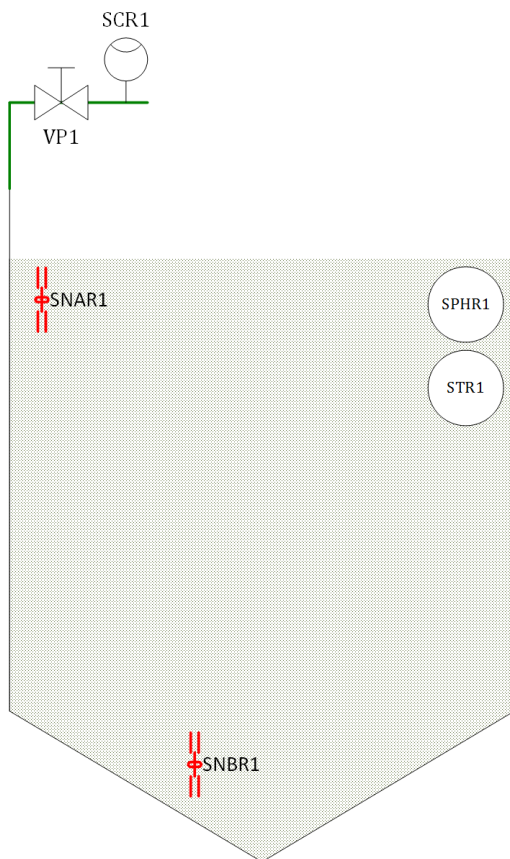


Figura 4.3. Detalle sensores y actuadores en el reactor 1 elaborado con Microsoft Visio

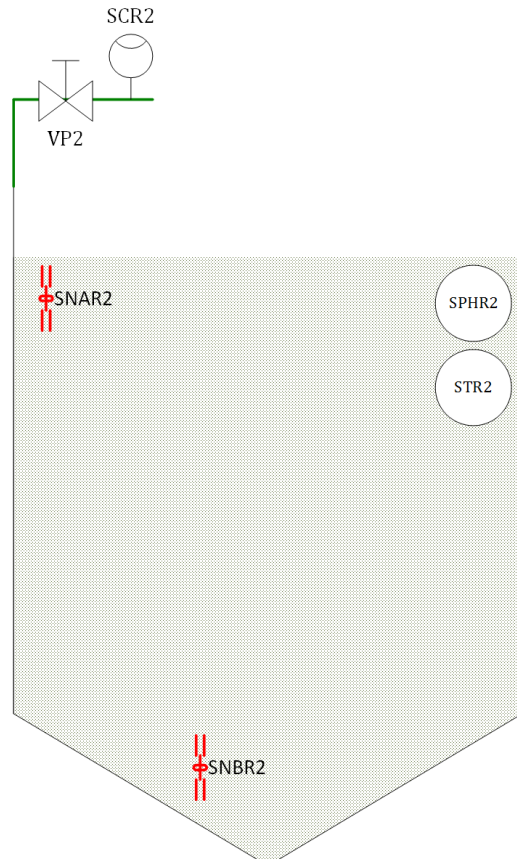


Figura 4.4. Detalle sensores y actuadores en el reactor 2 elaborado con Microsoft Visio

Seguidamente, en la Tabla 4.1 se listan los nombres de las válvulas que aparecen en la Figura 4.2 y el significado de sus siglas.

Tabla 4.1. Nomenclatura de las válvulas en el sistema automatizado

Nombre de válvula	Significado
<b>VDE</b>	Válvula de dirección de entrada
<b>VAR1</b>	Válvula aireador reactor 1
<b>VAR2</b>	Válvula aireador reactor 2
<b>VDS</b>	Válvula de dirección de salida
<b>VDR</b>	Válvula de dirección de retorno
<b>VPB1</b>	Válvula de paso bomba 1
<b>VPB2</b>	Válvula de paso bomba 2
<b>VLR1</b>	Válvula de lodos reactor 1
<b>VLR2</b>	Válvula de lodos reactor 2
<b>VLFP</b>	Válvula de lodos al filtro prensa

<b>VPIL</b>	Válvula de paso intercambio de lodos
<b>VCRL</b>	Válvula “check” retorno de lodos
<b>VSL1</b>	Válvula de salida lodos 1
<b>VSL2</b>	Válvula de salida lodos 2
<b>VP1</b>	Válvula de purga 1
<b>VP2</b>	Válvula de purga 2
<b>VPC</b>	Válvula de paso de cal
<b>VPCOAG</b>	Válvula de paso de coagulante
<b>VPF</b>	Válvula de paso de floculante
<b>VDQ</b>	Válvula dirección de químicos

Luego se tiene la Tabla 4.2 donde se detallan los nombres de las bombas y el soplador que aparecen en la Figura 4.2 y el significado de sus siglas.

**Tabla 4.2. Nomenclatura de las bombas en el sistema automatizado**

<b>Nombre de elemento</b>	<b>Significado</b>
<b>B1</b>	Bomba 1
<b>B2</b>	Bomba 2
<b>S-M</b>	Soplador-Motor
<b>BD</b>	Bomba tipo diafragma
<b>BQ</b>	Bomba de químicos

Por último, se tiene la Tabla 4.3 que contiene el nombre y el significado de los sensores que se muestran en las Figura 4.2 - Figura 4.4.

**Tabla 4.3. Nomenclatura de los sensores en el sistema automatizado**

<b>Nombre de sensor</b>	<b>Significado</b>
<b>SNAR1</b>	Sensor nivel alto reactor 1
<b>SNAR2</b>	Sensor nivel alto reactor 2
<b>SNBR1</b>	Sensor nivel bajo reactor 1
<b>SNBR2</b>	Sensor nivel bajo reactor 2
<b>SPHR1</b>	Sensor de pH reactor 1
<b>SPHR2</b>	Sensor de pH reactor 2
<b>STR1</b>	Sensor de temperatura reactor 1

<b>STR2</b>	Sensor de temperatura reactor 2
<b>SCE</b>	Sensor de caudal de entrada
<b>SCS</b>	Sensor caudal de salida
<b>SCR1</b>	Sensor de caudal reactor 1
<b>SCR2</b>	Sensor de caudal reactor 2

### 4.3 Reparación del funcionamiento del filtro prensa

El filtro-prensa que utiliza la empresa dura aproximadamente una semana recolectando los lodos que se ubiquen en cada reactor y otra semana en el proceso de secado de estos. Según la hoja de datos del equipo (adjunta como anexo B.8), todo el proceso de recolección de lodos y secado debería durar un máximo de 8 horas. Ahora bien, esto es para el estado original del filtro prensa y la cantidad de placas originales cuyo valor era de 13, en Eaton se le agregaron placas adicionales por lo que el proceso podría durar un poco más de 8 horas mas no dos semanas como es la situación que se tiene actualmente. Se trabajó en conjunto con el departamento de mantenimiento de la empresa para indagar la causa de este atraso y se determinaron dos posibilidades.

#### 4.3.1 Causa 1: Rangos de presiones utilizados

El filtro prensa debe utilizar tres rangos de presiones diferentes para funcionar de manera adecuada según la información provista por el fabricante en el anexo B.8. En la primera etapa de llenado se debe operar con una presión en el pistón de 20 psi durante 15 o 20 minutos. Luego viene la segunda etapa con una presión moderada entre 40 y 50 psi durante 45 o 60 minutos. Esta etapa sirve como una transición entre la primera etapa de llenado a presión baja y la etapa final a alta presión. La última etapa se realiza con una presión entre los 80 y los 100 psi y es en esta donde los sólidos de los lodos se comprimen y adquieren el estado arcilloso que se busca. El operario en la empresa trabaja únicamente con una presión en el pistón de 100 psi durante todo el ciclo de trabajo del equipo.

#### 4.3.2 Causa 2: Válvulas de escape de agua deterioradas

Dentro del sistema de tubería propio del filtro prensa, se notó la existencia de unas válvulas manuales totalmente deterioradas que eran imposibles de accionar. Las válvulas ni siquiera contaban con un mecanismo de accionamiento y se confundían con el resto de la tubería del filtro prensa. Por medio de pruebas y de desarmar partes del sub-sistema de tuberías se determinó que estas válvulas estaban en posición cerrada e impedían el paso del agua que es separada de los elementos sólidos de los lodos por el filtro prensa a su

destino que es retornar al reactor que no se encuentre en tratamiento. Como el agua no tiene medio de salida del filtro, esta se encuentra recirculando dentro de él y solo es capaz de evacuarlo en forma de pequeñas gotas por medio de aberturas entre las placas. Este método de evacuación del agua del filtro resulta totalmente ineficiente.

Dadas las dos posibilidades anteriores, se intuyó que la causa del problema de atraso en el filtrado de lodos es debido principalmente a la segunda causa propuesta puesto que este problema empezó a ocurrir desde hace unos años y no desde el inicio de operación de la PTAR. Con la sustitución de las válvulas deterioradas por las válvulas VSL1, VSL2 y VCRL mostrado en la Figura 4.2 se consigue habilitar de nuevo el paso de agua del filtro prensa hacia el reactor que no se encuentre en tratamiento. La humedad de los sólidos dentro del filtro sería minimizada con esta acción ya que el agua sería evacuada del filtro y no se encontraría en una recirculación permanente dentro de él; con esto el tiempo de secado sería acortado significativamente.

#### 4.4 Equipo requerido para la automatización de la PTAR

Para llevar a cabo la propuesta de automatización es necesario elegir el equipo adecuado, es por esto que se decidió aplicar el método de ingeniería en la selección de cada uno de los componentes que se requieren implementar.

##### 4.4.1 Sensores de pH

En la selección de sensores de pH se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

1. **Rango de pH:** el rango de pH con el que se trabaja en la PTAR se encuentra entre 6 y 13 por lo que es necesario que el sensor de pH escogido esté en capacidad de realizar mediciones dentro de ese rango.
2. **Precio:** si bien la empresa no lo ve como un factor decisivo a tomar en cuenta, se decide incluirlo como un criterio de selección para no elegir equipos que tengan un valor muy elevado.
3. **Frecuencia de calibración:** la mayoría de los sensores de pH requieren de una calibración cada cierto tiempo por lo que se prefiere escoger un sensor que tenga un largo periodo entre calibraciones.
4. **Compensación de temperatura:** los sensores de pH necesitan una compensación por temperatura para poder dar un valor fidedigno del pH de una sustancia, existen modelos de sensores de estos dispositivos que ya incluyen un sensor de temperatura para realizar esta compensación.
5. **Uso en campo con ambientes hostiles:** debido a que el agua que se encuentra en los reactores tiene químicos diluidos (FO-111, hidróxido de sodio y jabón desengrasante) es necesario que el sensor de pH sea capaz de funcionar en este ambiente sin dañar su propia integridad física.
6. **Tipo de señal de salida compatible con PLC:** las entradas analógicas del PLC de Eaton deben ser capaces de leer la información suministrada por

el sensor. Para que exista una verdadera comunicación entre los dispositivos, la salida del sensor puede ser cualquiera de las siguientes opciones:

- a.  $\pm 10 V$
- b.  $\pm 20 mA$

7. **Completamente sumergible:** es necesario que el sensor de pH que se implemente en el sistema sea capaz de estar completamente sumergido por una cantidad de tiempo indefinida puesto que se tiene contemplado que solo sea removido del reactor para realizar la calibración o inspecciones rutinarias por parte del departamento de mantenimiento.

Para la calificación de cada equipo encontrado se establece una numeración que va de 1 a 5 en donde se establece la manera con la cual cada opción cumple con cada uno de los criterios. Seguidamente se tiene el detalle de este rango escogido:

1. Deficiente
2. Malo
3. Satisfactorio
4. Bueno
5. Excelente

Para el sensor de pH requerido se encontraron seis posibles opciones las cuales se mencionan brevemente a continuación:

- **Opción 1:** Industrial pH probe de la marca Atlas Scientific.
- **Opción 2:** pH probe de la marca Atlas Scientific.
- **Opción 3:** Heavy-duty pH sensor for submersible applications (PHE-7352-15) de la marca OMEGA.
- **Opción 4:** Industrial electrodes (PHE-7351-15) de la marca OMEGA.
- **Opción 5:** Submersible flat Surface pH/ORP Electrodes (PHE-6510B) de la marca OMEGA.
- **Opción 6:** pH sensor de la marca Vernier.

En la Tabla 4.4 mostrada, se puede observar la calificación obtenida por cada una de las opciones para cada uno de los criterios establecidos.

**Tabla 4.4. Selección de sensor de pH**

Criterios	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6
Rango de pH	5	5	5	4	4	5
Precio	1	5	3	3	1	4
Frecuencia de calibración	3	3	4	3	3	1
Compensación de temperatura	5	1	1	1	1	1
Uso en campo con ambientes hostiles	5	5	4	3	3	1
Tipo de señal de salida compatible con PLC	5	4	3	3	2	1
Completamente sumergible	5	5	3	3	4	2
Total	29	28	23	20	18	15

De acuerdo con lo observado en la Tabla 4.4 se elige la primera opción para el modelo de sensor de pH a implementar. Esto se debe a que, aunque la diferencia entre la primera opción y la segunda sea de tan solo 1 punto, la primera opción es la única que ya incluye la compensación por temperatura, como lo indica el fabricante en la hoja de datos adjunta como anexo B.1, por lo que no sería necesario la compra de otro dispositivo para obtener una buena medición. No obstante, al igual que para el resto de opciones de sensores de pH consultados, es necesario el uso de otro dispositivo que convierta la señal de salida del sensor en una señal que pueda ser interpretada por el dispositivo de control. Es por esto que se decide utilizar el dispositivo que se muestra en la Figura 4.5 el cual está diseñado para usarse especialmente con el sensor de pH escogido, brinda una señal de salida de 4-20mA que va de acuerdo con el valor de pH medido y muestra el valor en el “display” para una lectura rápida por el operario (de acuerdo con la hoja del fabricante del anexo B.2).

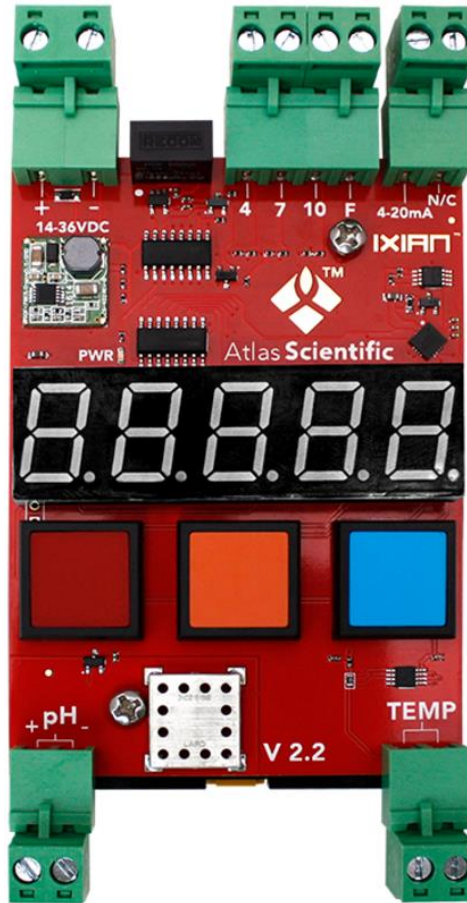


Figura 4.5. IXIAN™ pH Transmitter Atlas Scientific tomado de [https://www.atlas-scientific.com/product\\_pages/industrial/ph\\_transmitter.html](https://www.atlas-scientific.com/product_pages/industrial/ph_transmitter.html)

#### 4.4.2 Sensores de temperatura

Los criterios definidos para la selección del sensor de temperatura son los siguientes (de ahora en adelante se brindará una breve explicación solamente de los criterios que no hayan sido mencionados en las selecciones anteriores):

1. **Precisión:** la temperatura es un parámetro que se debe tener monitoreado de manera precisa puesto que su valor debe estar dentro de un rango establecido por el Ministerio de Ambiente y Energía (entre 15°C y 40°C) para validar que el proceso de tratamiento de aguas realizado en la empresa cumple con la normativa estatal.
2. **Precio**
3. **Tipo de señal de salida compatible con PLC**
4. **Completamente sumergible**
5. **Uso en campo con ambientes hostiles**
6. **Tiempo de respuesta:** este criterio hace referencia al tiempo que se debe esperar cada vez que se realice una medición para obtener un valor certero de la temperatura del reactor.

Al igual que en la selección de un sensor de pH, se establece una calificación que está en el rango de 1 a 5. Las opciones para sensor de temperatura encontradas son las siguientes:

- **Opción 1:** Temperature Probe (PT-1000) de la marca Atlas Scientific.
- **Opción 2:** Digital Field Ready Temperatura Probe with Data Logger (ENV-TMP-D) de la marca Atlas Scientific.
- **Opción 3:** Field Ready Temperature Probe (ENV-TMP) de la marca Atlas Scientific.
- **Opción 3:** Temperature sensor with Steel head de la marca Vishay BCcomponents.

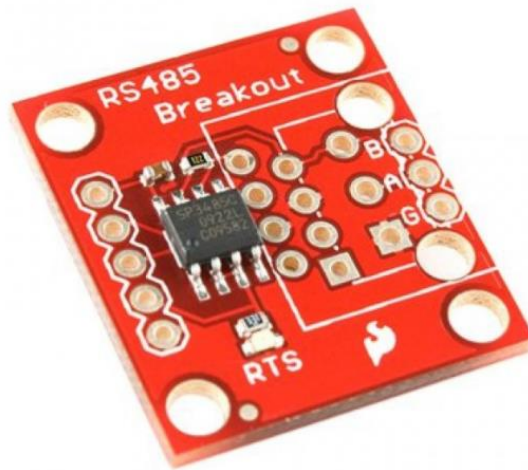
En la Tabla 4.5 se tiene la calificación obtenida por cada una de las opciones para cada criterio establecido.

**Tabla 4.5. Selección de sensor de temperatura**

Criterios	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Precisión	5	3	3	2
Precio	4	2	2	5
Tipo de señal de salida compatible con PLC	5	1	3	4
Completamente sumergible	5	5	5	2
Uso en campo con ambientes hostiles	4	3	3	1
Tiempo de respuesta	2	4	5	3
Total	25	18	21	17

De acuerdo con la Tabla 4.5 la opción que resulta más adecuada para la aplicación es la primera más que todo porque es el dispositivo que tiene más precisión (0.15 de acuerdo con la hoja de datos presente en el anexo B.3). Sin embargo, al igual que para el sensor de pH, es necesario hacer uso de un dispositivo que convierta la señal provista por el sensor en una que pueda ser interpretada por el PLC de la empresa. Ya que la señal proveniente del sensor de temperatura está en el formato UART, se decide utilizar el dispositivo de la Figura 4.6 que convierte la señal UART a RS-485 (como viene estipulado en la descripción del convertidor en el anexo B.4). La señal RS-485 si puede ser interpretada por el dispositivo de control utilizado.





**Figura 4.6. Convertidor UART a RS-485 tomado de <http://www.robotshop.com/en/sfe-uart-to-rs-485-converter.html>**

#### 4.4.3 Caudalímetros de entrada y salida

Para seleccionar un caudalímetro que sea adecuado para la aplicación en cuestión se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

1. **Precisión**
2. **Precio**
3. **Tipo de señal de salida compatible con PLC**
4. **Ubicación del proveedor:** en este caso si resulta de utilidad establecer como criterio la ubicación del proveedor puesto que es un equipo robusto que si se compra en algún lugar lejano en el exterior podría incurrirse en gastos elevados en el transporte del mismo.
5. **Rango de caudal medido:** como se mencionó anteriormente, el volumen máximo que se puede tratar en cada reactor es de aproximadamente  $23 \text{ m}^3$  y el tratamiento de aguas se realiza por lo menos una vez al día. Con esta información se tiene una idea del rango de caudal que el sensor tiene que estar en capacidad de medir.
6. **Display:** se considera necesario que el dispositivo escogido cuente con un display para que el operario pueda observar de una manera más directa el valor de la medición una vez que esta ha sido realizada.

Las opciones de caudalímetros entre las cuales se realizó la selección son los siguientes:

- **Opción 1:** CX-HEMFM de la marca GN
- **Opción 2:** FM100 Series Magnetic Flow Meter de la marca APG
- **Opción 3:** Electromagnetic flow sensor EX81 de la marca Seametrics
- **Opción 4:** Sanitary Magnetic Flow Meter MS2410 de la marca ISOMAG

A continuación, en la Tabla 4.6 se tiene la calificación de las opciones y su respectivo criterio.

Tabla 4.6. Selección de caudalímetro

Criterios	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Precisión	4	4	3	5
Precio	3	4	5	3
Tipo de señal de salida compatible con PLC	5	5	2	2
Ubicación del proveedor	1	4	3	3
Rango de caudal medido	1	5	3	5
Display	5	5	5	1
Total	19	27	21	19

De acuerdo con la Tabla 4.6, la mejor opción resulta ser la número dos con la ventaja de que la salida provista por el sensor es del tipo 4-20mA como se puede ver en la hoja del fabricante en el anexo B.5. Al utilizar este dispositivo, no resulta necesario el uso de un dispositivo adicional para poder comunicarse con el ELC.

La diferencia entre el caudalímetro de entrada y el de salida solamente es el diámetro que se debe comprar. Para el dispositivo de entrada, la tubería tiene un diámetro de cuatro pulgadas; mientras que, para el dispositivo de salida, la tubería tiene un diámetro de dos pulgadas.

#### 4.4.4 Interruptores de nivel

En la elección para los interruptores de nivel se tomaron en cuenta los siguientes criterios de selección:

1. **Uso en campo con ambientes hostiles**
2. **Precio**
3. **Tipo de señal de salida compatible con PLC**
4. **Facilidad de instalación en el reactor:** es necesario que la instalación de los interruptores en cada uno de los reactores se pueda hacer rápidamente pues la PTAR está en uso continuo durante todos los días hábiles de trabajo. Además no se quiere incurrir en un gasto muy elevado en el rediseño de los reactores o en la adición de componentes para poder instalar los interruptores.
5. **Robustez**
6. **Tiempo de respuesta**

Para la selección de un interruptor de nivel se cuenta con las siguientes opciones:

- **Opción 1:** interruptor de nivel FLOTECT Serie L10 de NvTecnologías.
- **Opción 2:** hazardous location horizontal-mount liquid-level float switches de McMaster.
- **Opción 3:** 316 Stainless Steel Liquid Level Switches de Omega
- **Opción 4:** level transmitter P/N: ABM-400-148U de Babbit International

En la Tabla 4.7 se muestran los criterios de selección para el interruptor de nivel y el análisis para la opción escogida.

**Tabla 4.7. Selección de interruptor de nivel**

<b>Criterios</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Opción 3</b>	<b>Opción 4</b>
Uso en campo con ambientes hostiles	4	5	5	5
Precio	5	3	4	1
Tipo de señal de salida compatible con PLC	5	4	5	3
Facilidad de instalación en el reactor	5	4	2	2
Robustez	4	4	3	5
Tiempo de respuesta	4	4	4	2
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>18</b>

De acuerdo con la Tabla 4.7 la mejor opción para la implementación en la PTAR corresponde a la primera opción de nvtecnologías lo cual representa una facilidad a la hora de la adquisición pues es un proveedor que se ubica dentro del país Además su instalación es sencilla de acuerdo a lo que se puede observar en la hoja del fabricante adjuntada en el anexo B.6.

#### 4.4.5 Caudalímetros de purga

Para seleccionar un caudalímetro de purga que sea adecuado para la PTAR se tomaron en cuenta los criterios mencionados a continuación. Es importante aclarar que este dispositivo no será utilizado propiamente para medir el caudal de la purga sino más bien para poder determinar el momento en el cual se tiene un flujo a través de esa tubería y con eso detener la purga del sistema.

1. **Precio**
2. **Tipo de señal de salida compatible con PLC**
3. **Tiempo de respuesta**
4. **Tipo de fluido medido:** al tratarse de una planta de tratamiento, se entiende que el agua que fluye dentro del sistema no está libre de contaminantes por completo. Es necesario que el caudalímetro escogido esté en capacidad de medir el flujo de agua tratada sin presentar daños a su integridad física.

Para la selección del caudalímetro de purga sólo se contó con dos opciones preliminares:

- **Opción 1:** Liquid Flow Meter – Plastic ½” NPS Threaded de CrCibernética.
- **Opción 2:** ½” Flow Meter SEN-204F de Atlas Scientific.

En la Tabla 4.8 se tiene la calificación de las opciones y su respectivo criterio.

**Tabla 4.8. Selección de caudalímetro de purga**

Criterios	Opción 1	Opción 2
Precio	5	2
Tipo de señal de salida compatible con PLC	2	4
Tiempo de respuesta	3	4
Tipo de fluido medido	2	5
Total	12	15

De acuerdo con la Tabla 4.8 la mejor opción utilizar es la segunda de la marca Atlas Scientific.

#### 4.4.6 Electroválvulas

En total se requiere la compra de 20 electroválvulas para la implementación de la propuesta de automatización. Dentro de la lista de proveedores autorizados de Eaton, se encuentra la empresa Tecnoval por lo que para facilitar el proceso de compra se decide utilizar el equipo provisto por dicha empresa. Las características de las electroválvulas se presentan en la Tabla 4.9.

**Tabla 4.9. Características principales de las electroválvulas**

Cantidad	Diámetro de Tubería [in]	Tensión de Alimentación [V]	Tipo de Válvula	Función en la PTAR
3	2	110	Tres pasos, bola dos agujeros	VDS, VDR, VDQ
11	2	110	ON/OFF	VLR1, VLR2, VPB1, VPB2, VAR1, VAR2, VPIL, VLFP, VPC, VPCOAG, VPF
2	1/2"	24	ON/OFF	VP1, VP2
1	4	110	Tres pasos, bola tres agujeros	VDE
2	1	110	ON/OFF	VSL1, VSL2
1	1	No requiere	Check	VCRL

Se decide utilizar válvulas con una alimentación de 110 V ya que las que originalmente fueron instaladas en el sistema funcionaban con ese valor de tensión por lo que al instalar las nuevas válvulas no habría que incurrir en gastos adicionales en la compra de un transformador para adaptar la tensión de alimentación a los requerimientos de las nuevas válvulas que se pretenden instalar.

#### 4.4.7 Bomba de suministro de químicos

En la propuesta de automatización se incluye el uso de una bomba de suministro de químicos denominada como BQ en la Figura 4.2. Para la selección de este equipo se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- 1. Precisión:** esta bomba será utilizada para el suministro de cantidades específicas (definidas por el usuario) de tres diferentes tipos de químicos para el tratamiento de aguas. Se requiere que el equipo elegido tenga muy buena precisión puesto que, si se modifica ligeramente la cantidad de químicos suministrados, el efluente que se desecha por el alcantarillado

podría dejar de cumplir con los requisitos del Ministerio de Ambiente y Energía.

2. **Rango de caudal suministrado:** según la receta actual para el tratamiento de agua, se deben suministrar 7kg de cal diluidos en agua, 5 L de coagulante y 20 L de floculante a cada reactor por lo que se requiere que la bomba elegida esté en capacidad de suministrar mínimo esa cantidad de químicos en un corto periodo de tiempo (máximo 5 minutos por cada químico).
3. **Tipo de señal de salida compatible con PLC**
4. **Tipo de señal de entrada compatible con PLC:** ya que la bomba será controlada por medio del PLC se requiere que la comunicación entre estos dos equipos se lleve a cabo sin inconvenientes.
5. **Capaz de trabajar con químicos**

Las opciones entre las cuales se realiza la evaluación son las siguientes:

- **Opción 1:** MAGDOS DX de la marca lutz-jesco
- **Opción 2:** peristaltic pump de la marca lutz-jesco
- **Opción 3:** Verderflex Vantage 5000 remote de la marca verderflex

A continuación, en la Tabla 4.10 se presenta la selección de la bomba de suministro de químicos que mejor funcione en la PTAR.

**Tabla 4.10. Selección de bomba de suministro de químicos**

Criterios	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Precisión	3	2	4
Rango de caudal suministrado	2	1	5
Tipo de señal de salida compatible con PLC	5	4	5
Tipo de señal de entrada compatible con PLC	5	4	5
Capaz de trabajar con químicos	5	5	5
Total	20	16	24

La opción predilecta de acuerdo con la Tabla 4.10 es la tercera que corresponde a la bomba dosificadora de la marca Verderflex. Un factor determinante en la elección de esta bomba fue la posibilidad de controlarla por medio de diferentes tipos de protocolos como lo son analógicos, digitales y de BUS de acuerdo con la hoja del fabricante que se encuentra en el anexo B.7. El hecho de que la bomba pueda ser controlada por medio de una señal analógica de 4-20 mA supone una facilidad en la implementación del sistema pues es una señal que puede ser fácilmente brindada por el dispositivo de control.

#### 4.4.8 Módulos de control

Para determinar la cantidad de módulos de control requeridos se parte de la asunción de que ninguno de los módulos presentes en el PLC actual funciona correctamente. Siguiendo la propuesta de automatización se tienen delimitadas las siguientes entradas y salidas presentadas en las Tabla 4.11 y Tabla 4.12.

**Tabla 4.11. Descripción de las entradas del sistema automático**

Cantidad	Tipo	Equipo al cual responde
4	Digital	Interruptores de nivel en cada reactor
2	Analógico	Sensores de pH en cada reactor
2	Analógico	Medidores de flujo a la entrada y la salida del sistema
1	Analógico	Bomba de suministro de químicos
4	RS-485	Sensores de temperatura y caudalímetros de purga

**Tabla 4.12. Descripción de las salidas del sistema automático**

Cantidad	Tipo	Equipo al cual responde
20	Digital	Electroválvulas de dirección de flujo
1	Analógico	Control de bomba de suministro de químicos
4	Digital	Bombas restantes y soplador

## 4.5 Inversión estimada para los equipos requeridos en la automatización de la PTAR

A partir de los equipos seleccionados en la sección 4.4 se realizaron las cotizaciones correspondientes para obtener un presupuesto aproximado de todo el equipo requerido para implementar la propuesta de automatización completa. La inversión en equipo total y su desglose se muestra en la Tabla 4.13. No obstante, es necesario aclarar que la inversión presentada en dicha tabla sólo incluye los costes de los elementos de control y medición; la modificación en los reactores y la adición de tubería para el suministro de químicos no se encuentran contemplados en este desglose.

**Tabla 4.13. Desglose de la inversión estimada por parte de la empresa para la automatización completa de la PTAR**

	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Válvulas	Válvula de tres pasos con bola de dos agujeros	3	€ 626 000,00	€ 2 122 140,00
	Válvula ON/OFF	13	€ 398 000,00	€ 5 846 620,00
	Válvula ON/OFF 1/2"³	2	€ 17 580,65	€ 35 161,30
Sensores	Válvula de tres pasos con bola de tres agujeros	1	€ 2 046 263,00	€ 2 312 277,19
	Sensor de pH³	2	€ 203 072,65	€ 406 145,30
	Sensor de temperatura y convertidor de señal³	2	€ 55 178,00	€ 110 356,00
	Medidor de flujo 4"³	1	€ 1 328 580,58	€ 1 328 580,58
	Medidor de flujo 2"³	1	€ 1 230 939,00	€ 1 230 939,00
	Interruptores de nivel³	4	€ 131 787,37	€ 527 149,48
	Medidor de flujo 1/2"³	2	€ 102 138,00	€ 204 276,00
	Bomba peristáltica	1	€ 550 000,00	€ 550 000,00
Control	Módulo de salidas digitales a relay (ELC-EX08NNNR)³	3	€ 20 107,10	€ 60 321,29

<sup>3</sup> Precio susceptible a cambio por la varianza en el tipo de cambio del dólar americano. Tipo de cambio utilizado para la Tabla 4.13: €587



Módulo de entradas digitales (ELC-EX08NNDN) <sup>3</sup>	1	€	17 278,93	€	17 278,93
Módulo de entradas analógicas (ELC-AN04ANNN) <sup>3</sup>	2	€	50 455,00	€	100 910,00
Módulo Adaptador RS-485 (ELC-485APTR) <sup>3</sup>	2	€	6 592,60	€	13 185,19
Módulo de salidas analógicas (ELC-AN02NANN) <sup>3</sup>	1	€	50 455,00	€	50 455,00
Total				€	14 915 795,26

#### 4.6 Secuencias automáticas para el manejo de la PTAR

A través del HMI el operario podrá controlar el accionamiento de todos los componentes electromecánicos. Además, podrá cambiar la cantidad de químicos suministrados, esta opción se decide dejar abierta previendo que en un futuro se deba cambiar la receta original del tratamiento. Sin embargo, se cuenta también con una serie de secuencias automáticas que permitirán prescindir de un operario designado a estar todo el día laboral en la PTAR. Su presencia será necesaria únicamente al inicio del proceso de tratamiento para suministrar los químicos en los depósitos y para realizar alguna modificación en los parámetros por defecto de las secuencias automáticas antes de que estas inicien. También será requerida su presencia en caso de que se active alguna alarma que requiera de su atención. A continuación, en la Figura 4.7 se presentan el diagrama de flujo de llenado de los reactores y en las Figura 4.8 -Figura 4.10 se tienen los diagramas de flujo que describen el funcionamiento de las secuencias automáticas diseñadas para el tratamiento de aguas en el reactor 1. Aparte de la simbología estándar de los diagramas, se tiene un código de color en donde el verde significa una acción que debe realizar el PLC, el morado significa la lectura de alguna señal proveniente de los sensores o bien una acción manual que debe realizar el operario (la diferencia se aprecia con el tipo de símbolo que se utiliza), el naranja implica la toma de una decisión por parte del PLC, el amarillo denota que se debe seguir una subrutina dentro del programa, el rojo indica el despliegue de una alarma y el rosado significa el almacenamiento de un valor en la memoria.

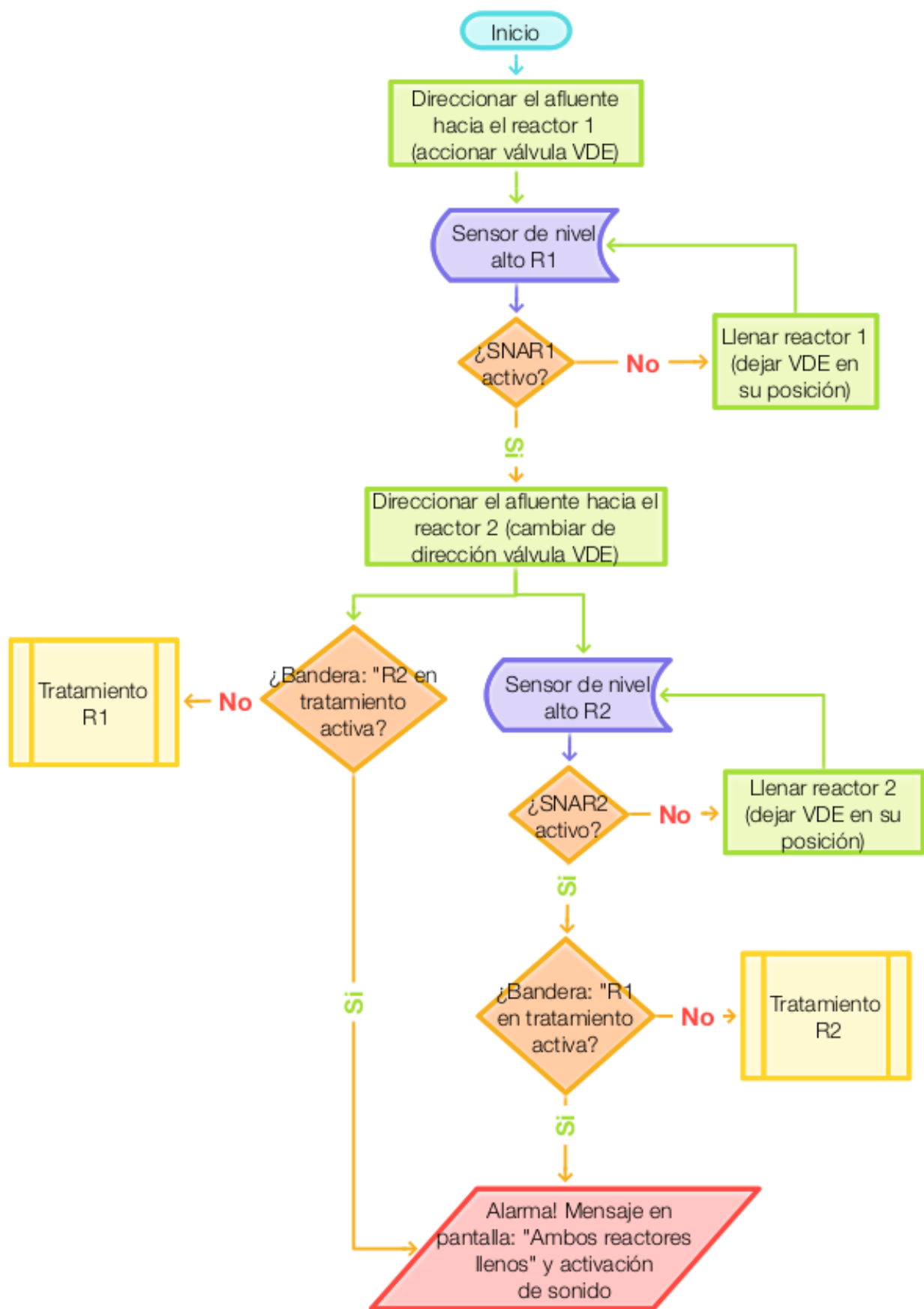


Figura 4.7. Diagrama de flujo de llenado de reactores elaborado con Grafió



Figura 4.8. Diagrama de flujo de tratamiento de agua en reactor 1 elaborado con Grafió

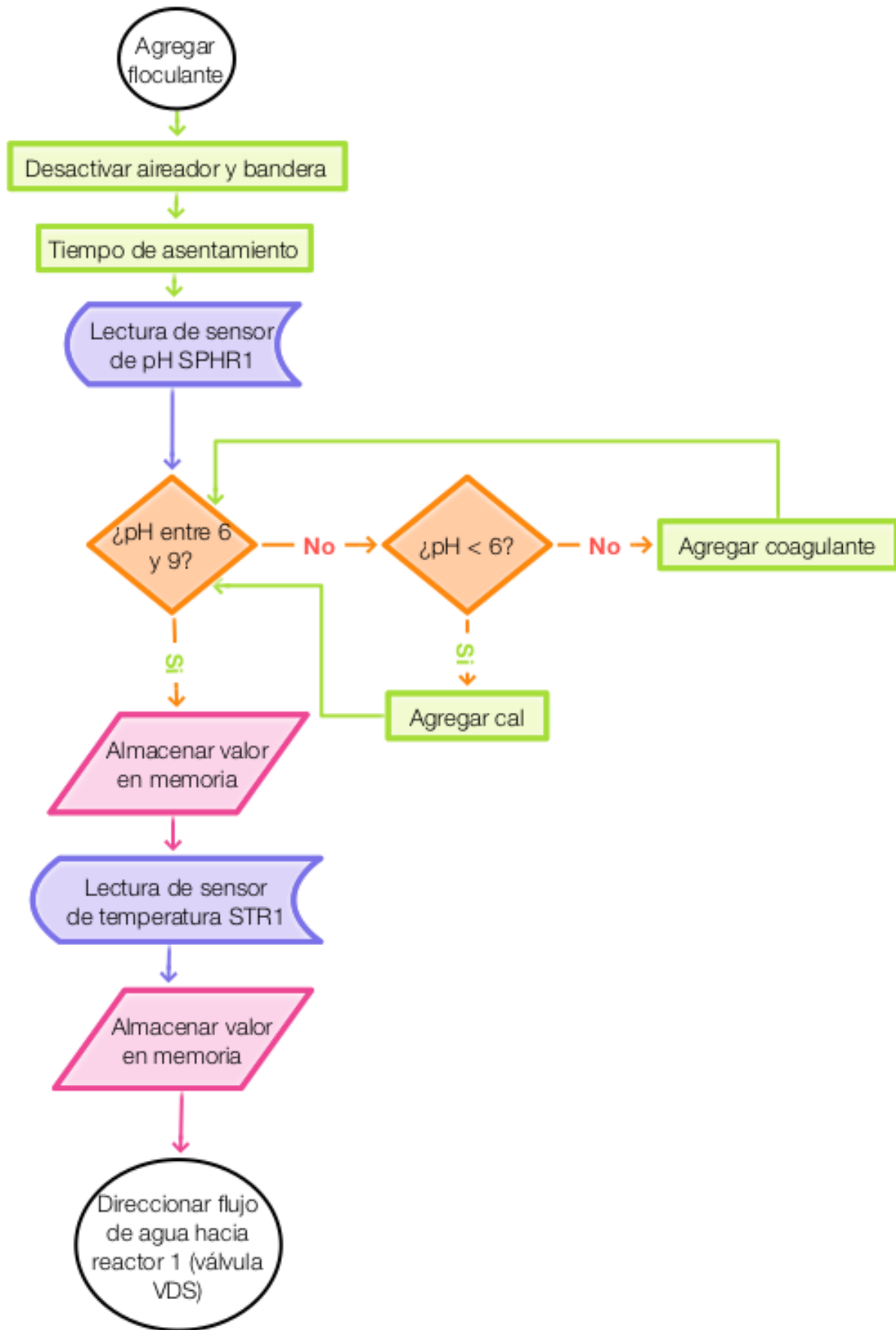


Figura 4.9. Segunda parte del diagrama de flujo de tratamiento de agua en reactor 1 elaborado con Grafió

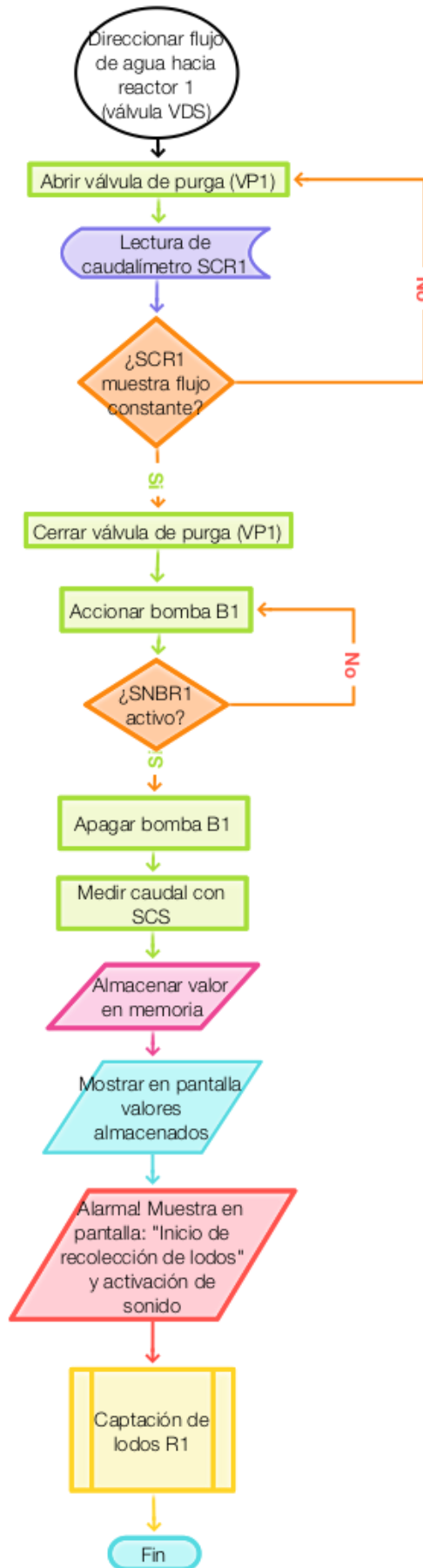


Figura 4.10. Tercera parte del diagrama de flujo de tratamiento de agua en reactor 1 elaborado con Grafo

A continuación, en las Figura 4.11 - Figura 4.13 se tienen los diagramas de flujo que describen el funcionamiento de las secuencias automáticas diseñadas para el tratamiento de aguas en el reactor 2.



Figura 4.11. Diagrama de flujo de tratamiento de agua en reactor 2 elaborado con Grafo



Figura 4.12. Segunda parte del diagrama de flujo de tratamiento de agua en reactor 2 elaborado con Grafió

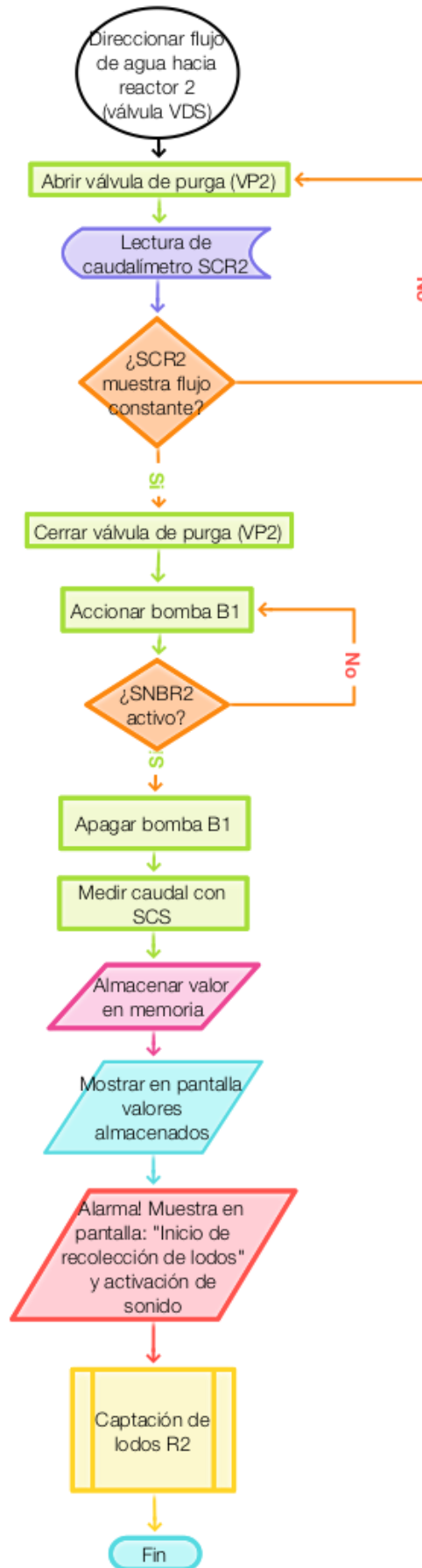


Figura 4.13. Tercera parte del diagrama de flujo de tratamiento de agua en reactor 2 elaborado con Grafo



Para finalizar se presenta en las Figura 4.14 y Figura 4.15 se muestran los diagramas de flujo que describen el proceso de recolección de lodos para cada reactor.

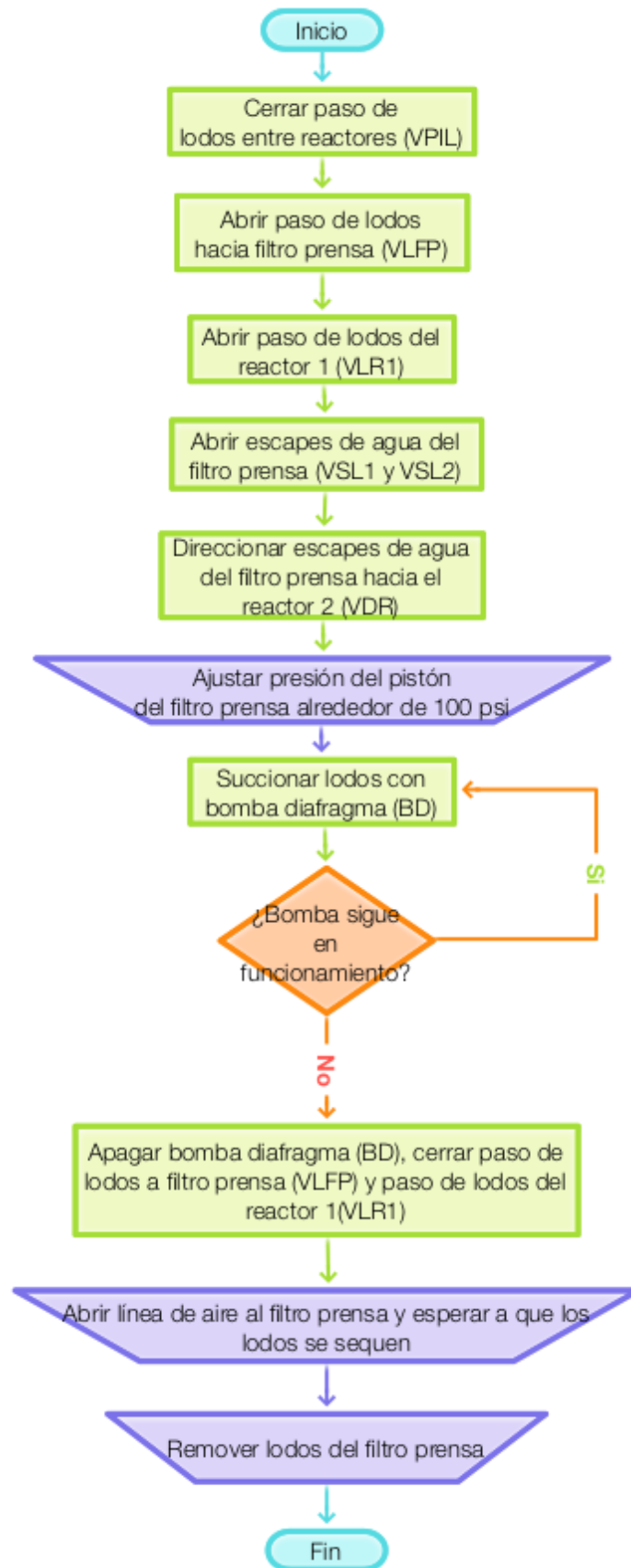


Figura 4.14. Diagrama de flujo de recolección de lodos en el reactor 1 elaborado con Grafo

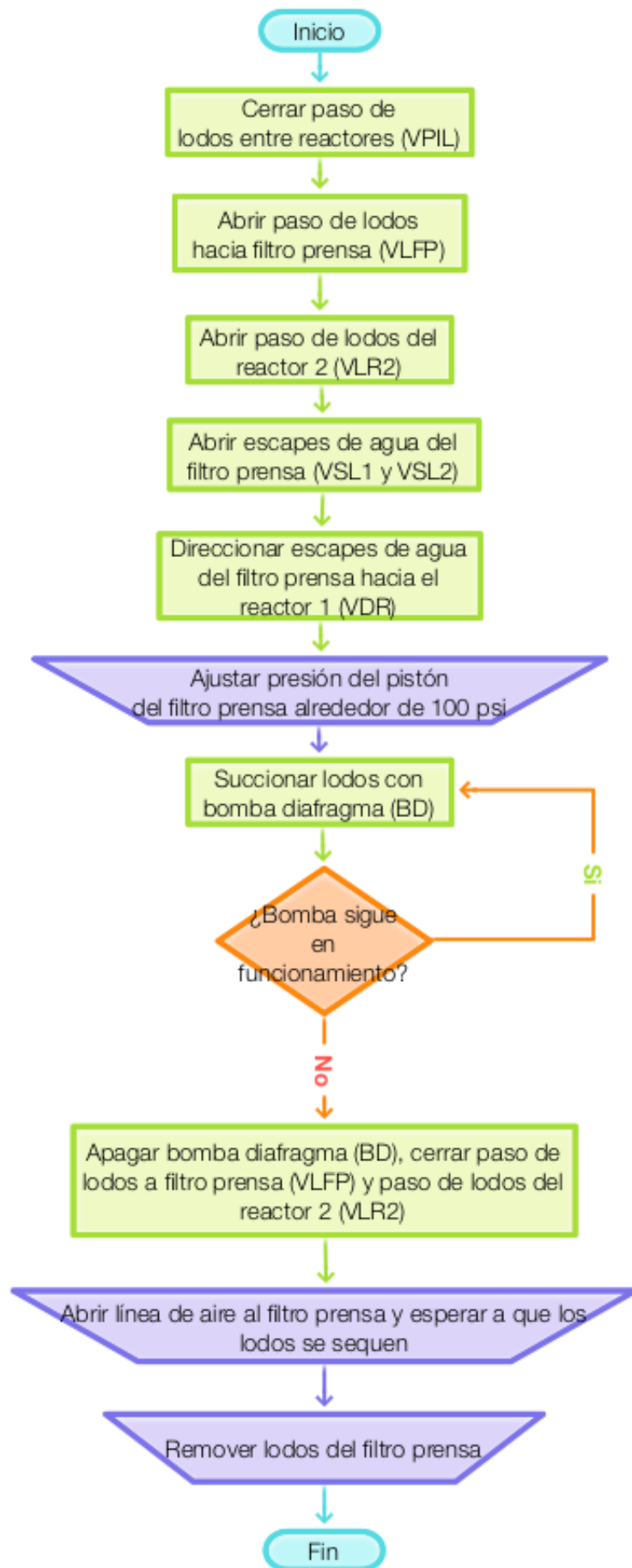


Figura 4.15. Diagrama de flujo de recolección de lodos en el reactor 2 elaborado con Grafo

Como se mencionó previamente, el operario tiene la posibilidad de cambiar ciertos parámetros del proceso en caso de que sea necesario. Seguidamente se presenta la Tabla 4.14 que organiza los parámetros que el operario puede cambiar y los valores que se programarán por defecto.

**Tabla 4.14. Valores programados por defecto para la cantidad de químicos y tiempos de mezclado**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor por defecto</b>
<b>Tiempo de aireación</b>	10 minutos
<b>Tiempo de mezclado de cal</b>	5 minutos
<b>Tiempo de mezclado de coagulante</b>	5 minutos
<b>Tiempo de asentamiento</b>	25 minutos
<b>Cantidad de cal</b>	7 kg disueltos en agua
<b>Cantidad de coagulante</b>	5 litros
<b>Cantidad de floculante</b>	20 litros

Una vez que el operario indique un nuevo valor para cualquiera de los parámetros presentados en la Tabla 4.14 este será traducido a un valor equivalente en el rango de 4-20 mA que le será enviado a la bomba dosificadora por medio de la salida analógica del PLC.

## 4.7 Plan de implementación de la propuesta de automatización

La implementación de la propuesta se puede realizar por etapas para una mayor facilidad de la empresa. Por simplicidad y para seguir un orden que no genere un fuerte impacto negativo en el tiempo de uso de la PTAR se decidió diseñar un plan de implementación en cinco etapas clave que la empresa puede efectuar según su conveniencia:

1. **Primera Etapa:** sustitución de las válvulas presentes en el sistema (Figura 4.1) por las electroválvulas cotizadas. Esta etapa se puede dividir en sub-etapas en las cuáles se van sustituyendo las válvulas de acuerdo a su nivel de criticidad y grado de deterioro.
2. **Segunda Etapa:** instalación de los caudalímetros a la entrada y salida del sistema de tratamiento de agua.
3. **Tercera Etapa:** instalación de los sensores en uno de los reactores.
4. **Cuarta Etapa:** instalación de los sensores en el reactor sobrante.
5. **Quinta Etapa:** instalación del sistema de dosificación de químicos.

Como se puede ver, la división de las etapas permite que la PTAR pueda seguir operando sin mayor interrupción en su jornada aún si las etapas posteriores no han sido implementadas o no planean serlo. Además, la división fue diseñada para que vaya de acuerdo al grado de automatización al que la empresa quiera llegar. Por ejemplo, si se llegara a implementar sólo la primera etapa se seguiría teniendo un control manual de la planta con la salvedad de que el operario no estaría en contacto con los elementos electromecánicos, sino que podría activarlos desde el PLC. Por otro lado, si se implementa hasta la quinta etapa, se tiene el sistema completamente automatizado en donde la presencia del operario es requerida sólo para dar inicio a la secuencia y llenar los depósitos con el químico correspondiente.

## Capítulo 5. Sistema parcialmente automatizado de tratamiento de agua

### 5.1 Parámetros de diseño y variables controlables

En cuanto a los procedimientos de operación de la PTAR, no se tiene cambio alguno con los planteados con anterioridad para el sistema de automatización completo. Lo mismo sucede con las variables controlables pues estas continúan siendo las mismas para el tratamiento de aguas. La diferencia radica en la manera en la que estas variables van a ser controladas; el sistema completamente automatizado se encarga, como su nombre lo indica, del manejo de estas variables y parámetros de manera autónoma valiéndose de la información suministrada por los sensores para tomar decisiones de acuerdo con su programación. La solución que se presenta a continuación requiere la inferencia de un operador para el control de algunas de estas variables.

El sistema parcialmente automatizado puede describirse a groso modo de igual forma que la primera etapa de automatización en el plan de implementación presentado en el capítulo anterior. Para esta propuesta se tiene solamente la sustitución de las válvulas presentes en el sistema (Figura 4.1) por las electroválvulas cotizadas; además, se pueden incluir las válvulas VSL1, VSL2 y VCRL de la Figura 4.2 para solucionar el problema del ciclo de trabajo del filtro-prensa. Además, se incluyen los interruptores de nivel pues son elementos de bajo costo que proveen una ayuda significativa en el manejo de la PTAR por parte del operario encargado. Resulta necesario sustituir también los módulos de control del ELC para que todas sus entradas y salidas funcionen con propiedad y no existan ambigüedades con respecto al manejo de las válvulas.

Esta propuesta de automatización parcial permite que el encargado tenga el control de la apertura y cierre de válvulas y el encendido y apagado de las bombas y aireadores a través del HMI. No obstante, la dosificación de químicos, la lectura del pH, la temperatura y el caudal serían acciones que el operario debe realizar de manera manual directamente en los reactores como lo ha venido haciendo hasta el momento.

En la Figura 5.1 se tiene un esquema de los dispositivos electromecánicos a cambiar para la implementación del sistema de control de la PTAR.

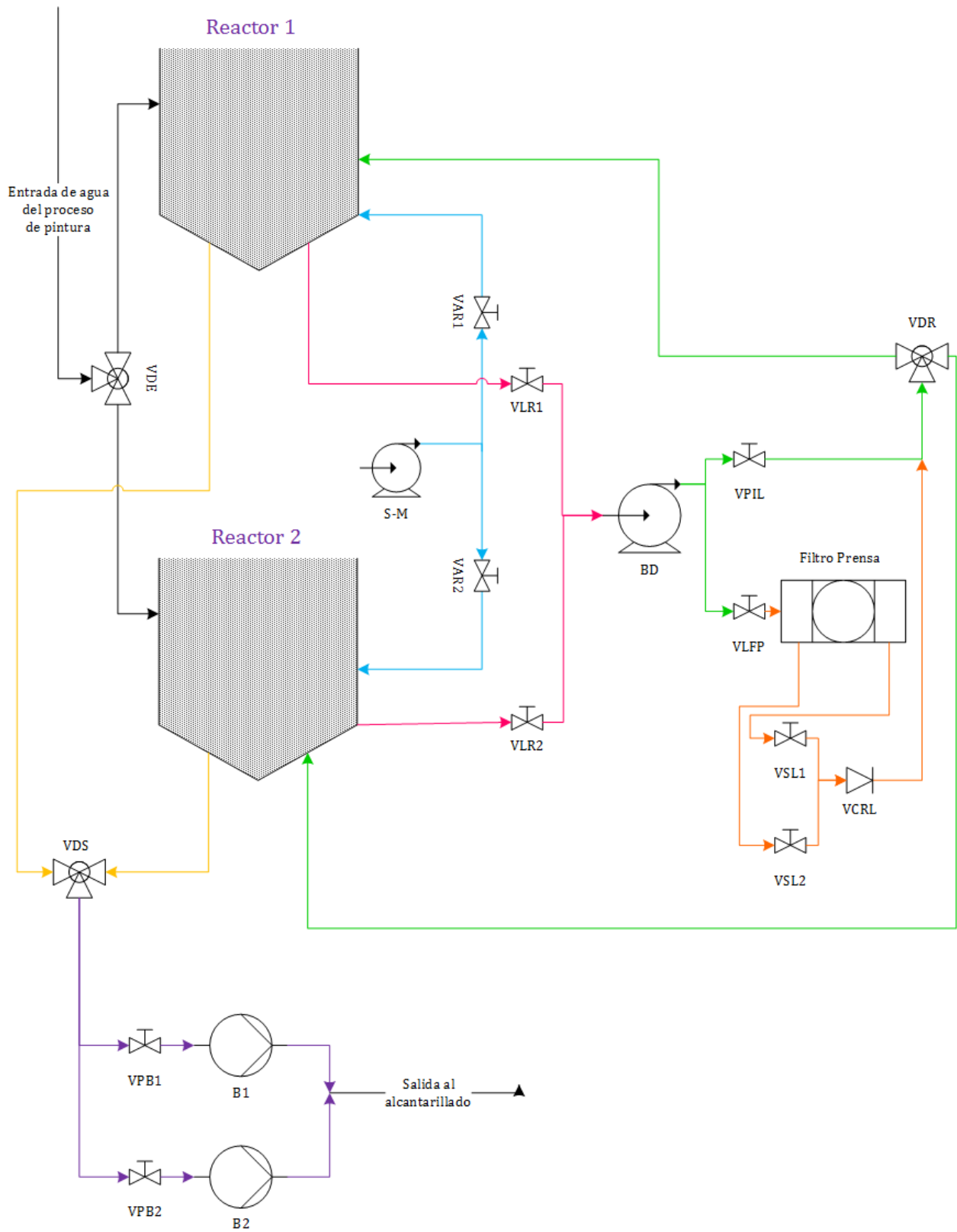


Figura 5.1. Propuesta de automatización parcial de la PTAR elaborado con Microsoft Visio

## 5.2 Equipo requerido para el control de la PTAR

### 5.2.1 Interruptores de nivel

Para este sistema de control será necesaria la adquisición de los cuatro interruptores de nivel, dos para cada reactor, como en la propuesta de automatización completa en donde la opción predilecta de acuerdo con la Tabla 4.7 es el equipo provisto por la empresa NVtecnologías.

### 5.2.2 Módulos de control

Para determinar la cantidad de módulos de control requeridos se parte de la asunción de que ninguno de los módulos presentes en el PLC actual funciona correctamente y todos deben ser sustituidos. Siguiendo la propuesta parcial de automatización se tienen delimitadas las siguientes entradas y salidas presentadas en las Tabla 5.1 y Tabla 5.2.

**Tabla 5.1. Descripción de las entradas del sistema automático**

Cantidad	Tipo	Equipo al cual responde
4	Digital	Interruptores de nivel en cada reactor

Es importante mencionar que el accionamiento tanto de las válvulas como de las diferentes bombas, será por medio de la pantalla táctil que se encuentra dentro de la PTAR por lo que no es necesario incluir entradas digitales adicionales para una botonera ya que esta acción se realiza por medio de las memorias internas del PLC.

**Tabla 5.2. Descripción de las salidas del sistema automático**

Cantidad	Tipo	Equipo al cual responde
12	Digital	Electroválvulas de dirección de flujo
4	Digital	Bombas restantes y soplador

### 5.3 Inversión estimada para la implementación del sistema de control

A partir de los equipos que se decide utilizar en el apartado 5.2, se realizaron las cotizaciones correspondientes para obtener un presupuesto aproximado con el que se debe contar para la implementación de la propuesta parcial de automatización; al igual que los costos anteriores, este valor sólo corresponde al valor del equipo. El detalle del equipo y su respectivo costo y cantidades se muestra en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3. Desglose de la inversión estimada por parte de la empresa para la automatización parcial de la PTAR**

	Item	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Válvulas	Válvula de tres pasos con bola de dos agujeros	2	₡ 626 000,00	₡ 1 414 760,00
	Válvula ON/OFF	10	₡ 398 000,00	₡ 4 497 400,00
	Válvula de tres pasos con bola de tres agujeros	1	₡ 2 046 263,00	₡ 2 312 277,19
Control	Módulo de salidas digitales a relay (ELC-EX08NNNR)	3	₡ 20 107,10	₡ 60 321,29
	Módulo de entradas digitales (ELC-EX08NNDN)	3	₡ 17 278,93	₡ 51 836,80
S	Interruptores de nivel	4	₡ 131 787,37	₡ 527 149,48
	<b>Total</b>			<b>₡ 8 863 744,76</b>



## Capítulo 6. Resultados obtenidos con el proceso de automatización

### 6.1 Creación de la OPS 323-360-374

Con el fin de facilitar la utilización de las hojas de trabajo para el operario y definir un procedimiento estándar para el manejo de la PTAR, se decide actualizar y modificar las OPS 323, 360 y 374. El resultado de la actualización y unión de las tres OPS se adjunta en este documento en el apéndice A.1. Además en la Figura 6.1 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de la PTAR de acuerdo a la nueva OPS para una fácil visualización y comprensión general del procedimiento de tratado de aguas que se lleva a cabo en la empresa.

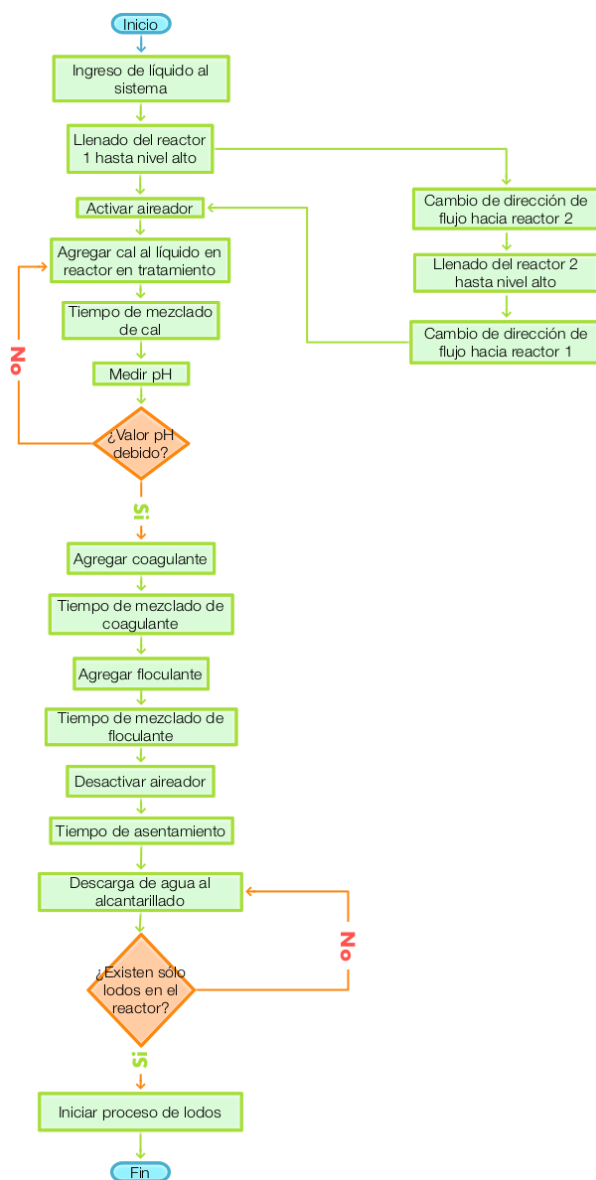
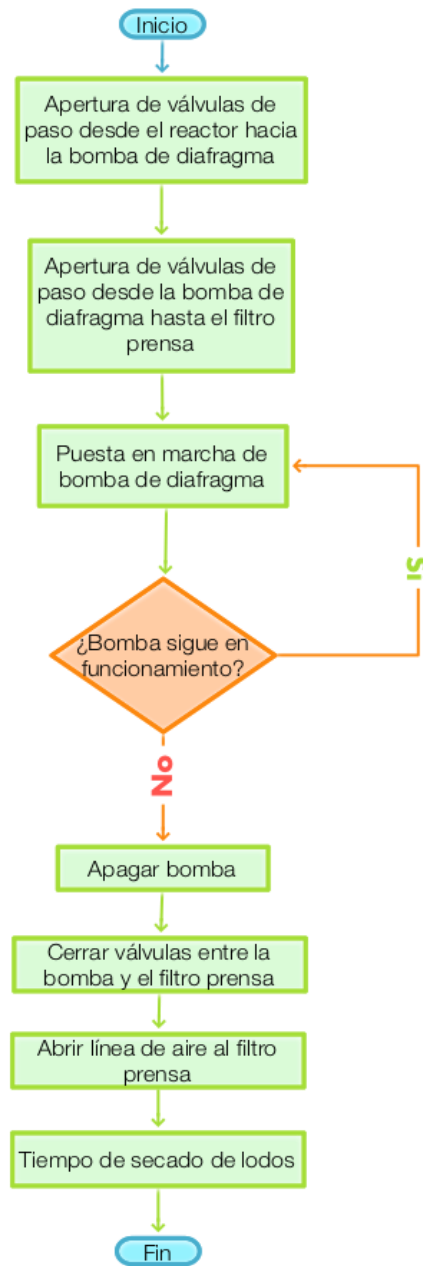


Figura 6.1. Diagrama de flujo general de tratamiento de agua en Eaton S.A. elaborado con Grafo

Por simplicidad se decide tener un diagrama aparte para explicar el proceso de recolección de lodos el cual se muestra en la Figura 6.2 a continuación.



**Figura 6.2. Diagrama de flujo de proceso de recolección de lodos elaborado con Grafo**

Los lodos que quedan dentro del filtro prensa deben ser captados de la siguiente manera:

1. Depositar los lodos dentro de una bolsa de basura.
2. Disponer la bolsa de basura dentro de una caja de cartón.
3. Rotular en la caja la fecha de captación del residuo.
4. Informar a los miembros de AseEaton para su debido almacenaje.

Cabe recalcar que para la captación de lodos el operario debe utilizar todo el EPP que el departamento de EHS determinó como obligatorio:

- Guantes de vinil.
- Lentes de seguridad.
- Delantal de neopreno

## 6.2 Reducción en el tiempo de secado del filtro prensa

Para garantizar que la causa del atraso en el tiempo de secado de los lodos por parte del filtro prensa es la recirculación del agua a través del filtro, se compraron válvulas de accionamiento manual. Estas válvulas se acoplaron en el sistema de tuberías del filtro –prensa y en uno de los ciclos de tratamiento se mantuvieron abiertas colocando un recipiente en la salida de las válvulas para evitar cualquier derrame de líquido dentro del cuarto de control. En esta ocasión, el tiempo de recolección y secado de lodos no fue de dos semanas como se había tenido con anterioridad, sino que fue de tres días y la textura de los lodos retenidos dentro del filtro fue más arcillosa de la que se había estado obteniendo.

Si se toman las dos semanas que duraba el ciclo de trabajo del filtro-prensa como un 100%, y se aplica la ecuación (2):

$$\frac{15}{3} = \frac{100}{x} \quad (2)$$

En donde el numerador de la primera fracción corresponde a los quince días que duraba el tratamiento sin el cambio de válvulas, el denominador de la primera fracción corresponde al número de días que tardó el filtro en secar los lodos con la utilización de las válvulas y el numerador de la segunda fracción equivale al porcentaje de tiempo utilizado. Al determinar el valor de  $x$  mediante la ecuación (3):

$$x = \frac{3 * 100}{15} \quad (3)$$

$$x = 20$$

Se tiene que el tiempo requerido por el filtro-prensa para filtrar los lodos se redujo en un 80% sólo con el hecho de hacer el cambio en las válvulas deterioradas.

### 6.3 Reducción en la cantidad de elementos electromecánicos accionados de manera manual

Con el sistema de tratamiento actual para las aguas residuales, el operario encargado de la PTAR debe tener contacto físico con diez elementos electromecánicos más la dosificación de los químicos a los reactores. El detalle de los elementos electromecánicos se encuentra en la lista a continuación y la ubicación de la mayoría de los elementos electromecánicos se pueden observar en la Figura 4.1.

1. Válvula de entrada de afluente VSR
2. Válvula de dirección de flujo S3V6
3. Válvula de dirección de flujo S3V4
4. Válvulas de bombas B1 y B2 (2)
5. Válvulas de dirección hacia el filtro prensa o recirculación de lodos (2)
6. Pistón del filtro prensa
7. Válvulas de purga de los reactores (2)

Realizando el mismo tipo de análisis que en la sección 606.2 pero ahora con la cantidad de elementos accionados por el operador en la actualidad en el numerador de la primera fracción y la cantidad de elementos que él mismo debe accionar con la implementación de la propuesta de automatización en el denominador de la primera fracción se tiene la ecuación (4)

$$\frac{13}{1} = \frac{100}{y} \quad (4)$$

$$y = \frac{1 * 100}{13}$$

$$y = 7,69$$

En el denominador de la primera fracción se coloca un valor unitario ya que el empleado a cargo del tratamiento de aguas sólo debe accionar de manera manual el pistón del filtro prensa y el resto de elementos se controlan por medio de las secuencias automáticas o por botones en el HMI. Al analizar el valor obtenido para  $y$  se observa que con la implementación del sistema automatizado se logra reducir en casi un 93% el contacto del operario con los dispositivos electromecánicos de la PTAR.

## Capítulo 7. Conclusiones

Las variables a controlar en la planta de tratamiento para lograr el sistema automatizado vienen constituidas por: el nivel de llenado alto o bajo de los reactores, el valor del pH del agua en tratamiento, el reactor que se encuentre en tratamiento y el caudal de agua tratado. Al controlar cada una de estas variables se garantizan las características fisicoquímicas con las que el agua debe ser vertida al alcantarillado según el reglamento del Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.

La propuesta para la automatización completa de la planta de tratamiento de la empresa Eaton Electrical S.A. se realizó por medio del uso de diferentes equipos de medición para cada una de las variables de control tales como sensores de pH y temperatura, caudalímetros e interruptores e nivel. El uso de transductores tales como electroválvulas, bombas y sopladores también son parte de la solución automatizada pues son los elementos que ejercen las acciones requeridas sobre el agua en tratamiento. Finalmente se utilizó en el diseño un sistema de control capaz de interactuar con todos los sensores y actuadores de manera que la toma de decisión acerca del procedimiento a seguir ocurra de manera fluida.

Con la implementación de la propuesta de automatización de la planta se garantiza la reducción del contacto que tiene el operario con los componentes electromecánicos en aproximadamente un 93%.

Para las variables que no se encontraban automatizadas en el sistema de tratamiento de aguas se propuso un procedimiento de automatización. Tal fue el caso de la dosificación de los diferentes químicos en donde se propuso la instalación de una bomba dosificadora que se controle por medio del ELC y el caso de la purga de los reactores. Para este último, se propuso la incorporación de un caudalímetro y una válvula solenoide que permita o detenga la purga de acuerdo con la información suministrada por el caudalímetro.

## Capítulo 8. Recomendaciones

Como recomendaciones para futuros proyectos concernientes al área de tratamiento de aguas residuales de la empresa se tiene el encontrar algún proceso o dispositivo de filtrado y recolección de lodos que sea más eficiente en el tiempo de secado y filtrado de los lodos para que no sea necesario esperar como mínimo tres días para poder disponer de los mismos.







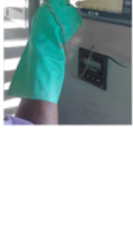


























Además, se puede hacer un rediseño del sistema de tuberías pues se considera que el tamaño y la complejidad que posee actualmente pueden ser reducidos sin presentar consecuencias desfavorables en el proceso de tratamiento del agua.

Finalmente se recomienda realizar simulaciones del sistema diseñado para revisar el comportamiento de toda la planta con el tipo de automatización que la empresa decida implementar.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eaton, «Acerca de nosotros: Eaton Powering Business Worldwide,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.eaton.cr/EatonCAC/NuestraCompania/AcercadeNosotros/index.htm>. [Último acceso: 3 Marzo 2017].
- [2] Poder Ejecutivo, «Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos,» *La Gaceta*, n° 234, 2 Diciembre 2015.
- [3] R. Rojas, «Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales,» de *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, Brasil, 2002.
- [4] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua, Lima, 2002.
- [5] O. Ruiz, Tratamiento físicoquímico de aguas residuales, México D.F.: IMTA, 2010.
- [6] A. Ruiz Canales y J. M. Molina Martínez, Automatización y telecontrol de sistemas de riego, Marcombo, 2010.
- [7] R. L. Mott, Mecánica de fluidos aplicada, Pearson Educación, 1996.
- [8] I. Manrique, A. Párraga y M. Hermann, Jarabe de Yacón: principios y procesamiento, Z. Portillo, Ed., 2005.
- [9] Poder Ejecutivo, «Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales,» *La Gaceta*, 19 Marzo 2007.
- [10] Poder Ejecutivo, «Decreto N°25018-MEIC,» *La Gaceta*, n° 59, 25 Marzo 1996.
- [11] Poder Ejecutivo, «Decreto N° 31545-S-MINAE Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales,» *La Gaceta*, n° 246, 22 Diciembre 2003.

## A.1 OPS-323 / OPS-360 / OPS-374

		<b>HOJA DE INSTRUCCIÓN SV N°</b> OPS-323/OPS-360/OPS-374		VERSIÓN #: 2	HOJA #: OPS-323/OPS-360/OPS-374
Costa Rica				REVISIÓN:	Lunes 06/03/2017
				RIGE A PARTIR DE:	Viernes 10/03/2017
				MÁQUINA:	PTAR
DESCRIPCIÓN: Tratamiento de Aguas Residuales Diario (Pasos: todos EXCEPTO el 4) y Mensual (Pasos: todos EXCEPTO el 3)				PÁGINA: 1	DE 1
ORIGINADOR: Dep. Producción		APROBADO POR: Ileana Carballo Calvo		Raúl Gerardo Gilloet López	
ELABORÓ: Leonardo Dorado Alvarado		CALIDAD		SUPERVISOR DE ÁREA	
		ÁREA DE APLICACIÓN: PTAR			
OPERACIÓN		CALIDAD	RIESGOS DEL PROCESO	PRÁCTICAS RECOMENDADAS	
     	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (min)</b>			
	1 Posicionar válvula VSR hacia el reactor 1 ó 2 (el que se encuentre vacío). Una vez que el reactor que fue posicionado está lleno (aproximadamente 10 cm debajo del codo de alimentación), se debe cambiar la dirección de la válvula hacia el otro reactor.	 1,0	 Operador: Verificar correctamente contra el patrón debido, las mediciones de pH.	Inhalación de sustancias químicas.	Utilizar el EPP: guantes de nitrilo y látex, respirador, lentes, casco y botas de hule con suela antideslizante.
	2 Activar sopladores en el PLC: para el reactor 1 abrir válvula VS1 y activar soplador; para el reactor 2 abrir válvula VS2 y activar soplador. Esparar 10 minutos para que se oxigene el agua en el reactor.	 10,0		Reacciones alérgicas.	
	3 Disolver 7 kg de cal con agua en un recipiente cuando el tratamiento es diario, agitar constantemente hasta alcanzar mezcla homogénea.	 12,0			
	4* Disolver 10 kg de cal con agua en un recipiente cuando el tratamiento es diario, agitar constantemente hasta alcanzar mezcla homogénea.	 12,0			Colocar los baldes y/o estaciones sobre una superficie plana.
	5 Distribuir la mezcla de cal con agua en cada una de las esquinas del reactor.	 0,58			
	6 Dejar el reactor con los sopladores activados por 5 minutos para que la cal se mezcle bien con el agua a tratar y medir el pH (debe tener un valor de 11 ó 12).	 6,5	 Operador: Utilizar los dispositivos de contención y/o trasiego (baldes, embudos, entre otros) etiquetados.	Irritación de la piel al contacto con el producto químico.	
	7 Distribuir equitativamente 5 L de coagulante en cada una de las esquinas del reactor.	 0,58			
	8 Dejar el reactor con los sopladores activados por 5 minutos para que el coagulante se mezcle bien con el agua a tratar en el reactor y medir el pH (debe tener un valor entre 7 y 9).	 6,5		Caída de objetos (estaciones, baldes)	Realizar una buena técnica de levantamiento de cargas.
	9 Realizar una mezcla de 150 mL de floculante con 39,85 L de agua, al menos con 2 días de antelación de su uso. Agregar al reactor la mitad de esa mezcla (en un recipiente de 20L) en cada esquina del mismo de manera proporcional cada día.	 0,58		Derrame de Sustancias Químicas	
	10 Dejar el reactor por 5 minutos con los sopladores encendidos para que se mezcle bien la solución.	 5			
	11** Recoger la muestra de sedimentación de lodos con el embudo de 1 L de capacidad: directamente del reactor, de la llave de purga, de la purga final del sistema. La muestra se deja reposar durante mínimo 3 horas y se anota el valor de los lodos sedimentarios en la bitácora.	 0,5	 Operador: Utilizar las cantidades adecuadas de las sustancias químicas.	Levantamiento de cargas y manejo manual de materiales.	
	12 Apagar los sopladores y dejar reposar el reactor 25 minutos para que decanten los lodos.	 0,25			
	13 Verificar que el pH se encuentre entre 6 y 9. En caso de que se encuentre encima de 9, agregar coagulante para bajar el nivel de pH; en caso de que se encuentre por debajo de 6, agregar cal para aumentar el nivel de pH.	 6			
	14 Verificar la temperatura ambiente con el termómetro de dilatación y anotar el valor en la bitácora.	 1			
	15 Verificar y anotar en la bitácora el valor que indica el flujómetro a la salida del sistema de tratamiento, este valor será tomado como valor inicial del efluente.	 2		Derrames y Fugas	
	16 Para la des carga del agua al alcantarillado se debe direccionar la válvula S3V6 hacia el reactor tratado. Posteriormente se debe abrir la llave de purga para remover el aire de la tubería.	 3		Generación de Residuos	
	17 Encender bomba B1 para iniciar la des carga (la bomba B2 es para casos de emergencia).	 2			
18 Cuando el reactor esté en nivel bajo (aproximadamente cuando se vea el filtro ubicado en la tubería central del reactor), apagar la bomba 1, verificar el dato del flujómetro y anotarlo en la bitácora.	 2				
*Nota: Tratamiento mensual. Se adicionan 10 kg debido al lavado de tanques en pintura que provoca que el agua contenga fosfatos.					
**Nota: el paso 11 sólo se realiza los miércoles de cada semana.					
		65	Nota: Obtenido del Plan de Monitoreo PMGO.		
TIEMPO CICLO: 71,5 minutos		CARACTERÍSTICAS ESPECIALES:			
 Contenido del trabajo	 Punto de riesgo (corte/atrapamiento/gopee)	 CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE FUNCIONALIDAD Y FORMA DEL PRODUCTO			
 Verificar	Nota: No modificar el formato de la hoja sin autorización previa	 CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE SEGURIDAD AL CLIENTE U OPERADOR			



## Anexos

### B.1. Hoja de datos sensor de pH

# AtlasScientific™

Environmental Robotics

## Industrial pH Probe

#### Specifications

- Range: 0 - 14 pH
- Body Material: Ryton thermoplastic
- Max Temp: 100°C (212°F)
- Max Pressure: 689.47 kPa (100 Psi) at  $\leq 75^{\circ}\text{C}$
- 81 Psi at 85°C 50 Psi at 100°C
- Cable length: 10Ft
- Weight: 250 grams
- Threading: 20mm (3/4") NPT
- Integrated PT-1000 RTD Temperature sensor
- Sterilization
  - Chemical ✓
  - Autoclave ✗



# AtlasScientific™

Environmental Robotics

## pH Transmitter

IXIAN™

## IXIAN™ class pH Transmitter

### V 2.6

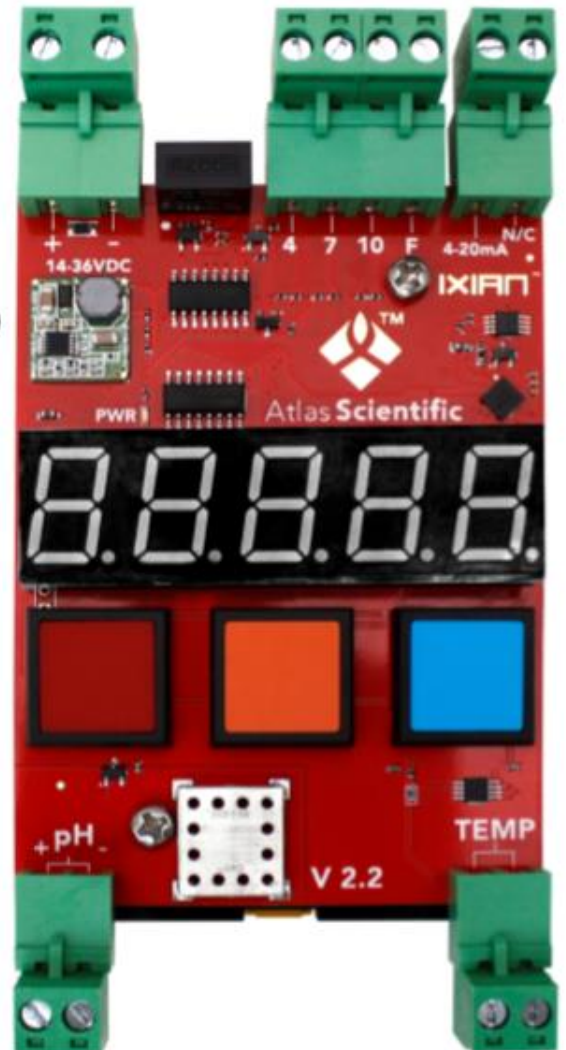
This is an evolving document  
check back for updates.

### Features

- 4–20mA output
- Full range pH reading from .001 to 14.000
- Accurate pH readings down to the thousands place (+/- 0.002)
- Calibrate remotely through a PLC or directly on the board
- On board pH display
- Din rail mount
- Self test on startup
- Automatic fault detection
- Wide operating voltage (14 VDC to 36VDC)
- PT100 / PT1000 temperature probe compatible
- Works with any two lead pH probe
- Fully electrically isolated for noise immunity

## IXIAN

(ick-see-an) "supreme in machine culture," –Dune



Patent pending



### Description

The IXIAN™ class pH Transmitter is our premier technology designed exclusively for industrial processes. Operation, calibration and communication is both fast and easy. The IXIAN™ class pH Transmitter is ready for 24 hour/ 365 day operation with no down time. From cash crop growing to chemical manufacturing, the IXIAN™ class pH Transmitter will ensure that your process yields profitable results.

# AtlasScientific™

Environmental Robotics

## PT-1000 temperature probe

### PT-1000 temperature probe V 1.0

#### Specifications

- Accuracy +/- (0.15 + (0.002\*t))
- Probe type: Class A platinum, RTD (resistance temperature detector)
- Cable length: 81cm (32")
- Cable material: Silicone rubber
- 30mm sensing area (304 SS)
- 6mm Diameter
- BNC Connector
- Reaction Time: 90% value in 13 seconds
- Probe output: analog
- Full temperature sensing range -200°C to 850°C
- Cable max temp 125°C
- Cable min temp -55°C



\*To read temperatures above, or below the max cable temperature an additional probe housing is needed to protect the cable.



100mm Temperature Thermowell



50mm Temperature Thermowell



30mm Temperature Thermowell

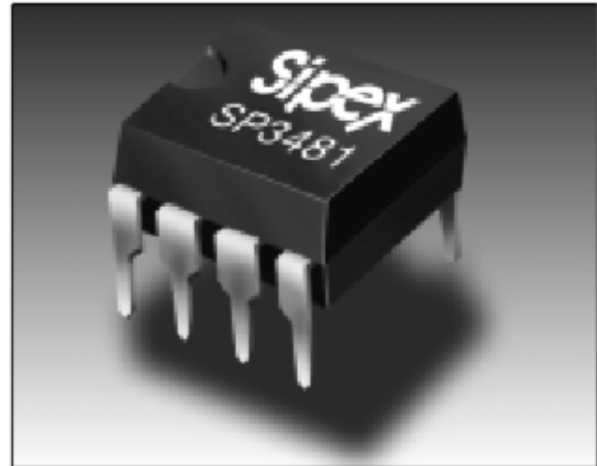




## SP3481/SP3485

### +3.3V Low Power Half-Duplex RS-485 Transceivers with 10Mbps Data Rate

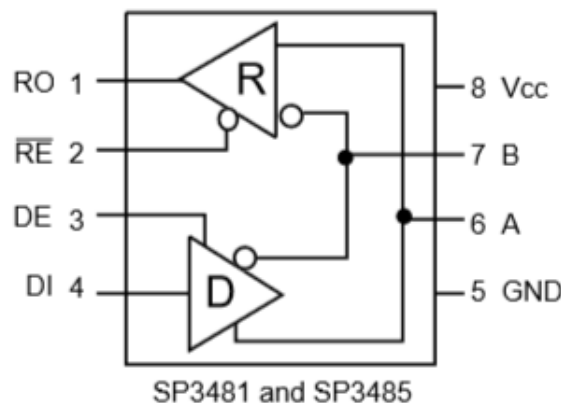
- RS-485 and RS-422 Transceivers
- Operates from a single +3.3V supply
- Interoperable with +5.0V logic
- Driver/Receiver Enable
- Low Power Shutdown Mode (SP3481)
- -7V to +12V Common-Mode Input Voltage Range
- Allows up to 32 transceivers on the serial bus
- Compatibility with the industry standard 75176 pinout
- Driver Output Short-Circuit Protection



#### DESCRIPTION

*Now Available in Lead Free Packaging*

The **SP3481** and the **SP3485** are a family of +3.3V low power half-duplex transceivers that meet the specifications of the RS-485 and RS-422 serial protocols. These devices are pin-to-pin compatible with the Sipex SP481, SP483, and SP485 devices as well as popular industry standards. The **SP3481** and the **SP3485** feature Sipex's BiCMOS process, allowing low power operation without sacrificing performance. The **SP3481** and **SP3485** meet the electrical specifications of RS-485 and RS-422 serial protocols up to 10Mbps under load. The **SP3481** is equipped with a low power Shutdown mode.



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

These are stress ratings only and functional operation of the device at these ratings or any other above those indicated in the operation sections of the specifications below is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

V <sub>CC</sub> .....	+6.0V
Input Voltages	
Logic .....	-0.3V to +6.0V
Drivers .....	-0.3V to +6.0V
Receivers .....	±15V
Output Voltages	
Drivers .....	±15V
Receivers .....	-0.3V to +6.0V
Storage Temperature .....	-85°C to +150°C
Power Dissipation per Package	
8-pin NSOIC (derate 6.90mW/°C above +70°C) .....	600mW
8-pin PDIP (derate 11.8mW/°C above +70°C) .....	1000mW



**CAUTION:**  
ESD (ElectroStatic Discharge) sensitive device. Permanent damage may occur on unconnected devices subject to high energy electrostatic fields. Unused devices must be stored in conductive foam or shunts. Personnel should be properly grounded prior to handling this device. The protective foam should be discharged to the destination socket before devices are removed.

## SPECIFICATIONS

T<sub>AMB</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub> and V<sub>CC</sub> = +3.3V ± 5% unless otherwise noted.

PARAMETERS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	CONDITIONS
<b>SP3481/SP3485 DRIVER</b>					
<b>DC Characteristics</b>					
Differential Output Voltage	GND		V <sub>CC</sub>	Volts	Unloaded; R = ∞; <i>Figure 1</i>
Differential Output Voltage	2		V <sub>CC</sub>	Volts	with load; R = 50Ω; (RS-422); <i>Figure 1</i>
Differential Output Voltage	1.5		V <sub>CC</sub>	Volts	with load; R = 27Ω; (RS-485); <i>Figure 1</i>
Change in Magnitude of Driver			0.2	Volts	R = 27Ω or R = 50Ω; <i>Figure 1</i>
Differential Output Voltage for Complimentary States			3	Volts	R = 27Ω or R = 50Ω; <i>Figure 1</i>
Driver Common-Mode					
Output Voltage					
Input High Voltage	2.0			Volts	Applies to DE, DI, $\overline{RE}$
Input Low Voltage			0.8	Volts	Applies to DE, DI, $\overline{RE}$
Input Current			±10	μA	Applies to DE, DI, $\overline{RE}$
Driver Short-Circuit Current					
V <sub>OUT</sub> = HIGH			±250	mA	-7V ≤ V <sub>O</sub> ≤ +12V
V <sub>OUT</sub> = LOW			±250	mA	-7V ≤ V <sub>O</sub> ≤ +12V
<b>SP3481/SP3485 DRIVER</b>					
<b>AC Characteristics</b>					
Maximum Data Rate	10			Mbps	$\overline{RE} = V_{CC}$ , DE = V <sub>CC</sub>
Driver Input to Output, t <sub>PLH</sub>	20	40	60	ns	<i>Figures 2 and 8</i>
Driver Input to Output, t <sub>PHL</sub>	20	40	60	ns	<i>Figures 2 and 8</i>
Differential Driver Skew		2	10	ns	t <sub>DO1</sub> - t <sub>DO2</sub>   <i>Figures 2 and 9</i>
Driver Rise or Fall Time		5	20	ns	From 10% to 90%; <i>Figures 3 and 9</i>
Driver Enable to Output High		52	120	ns	<i>Figures 4 and 10</i>
Driver Enable to Output Low		60	120	ns	<i>Figures 5 and 10</i>
Driver Disable Time from Low		40	120	ns	<i>Figures 5 and 10</i>
Driver Disable Time from High		60	120	ns	<i>Figures 4 and 10</i>
<b>SP3481/SP3485 RECEIVER</b>					
<b>DC Characteristics</b>					
Differential Input Threshold	-0.2		+0.2	Volts	-7V ≤ V <sub>CM</sub> ≤ +12V
Input Hysteresis		20		mV	V <sub>CM</sub> = 0V
Output Voltage High	V <sub>CC</sub> -0.4			Volts	V <sub>ID</sub> = +200mV, -1.5mA
Output Voltage Low			0.4	Volts	V <sub>ID</sub> = -200mV, 2.5mA
Three-State (High Impedance)					
Output Current			±1	μA	0V ≤ V <sub>O</sub> ≤ V <sub>CC</sub> ; $\overline{RE} = V_{CC}$
Input Resistance	12	15		kΩ	-7V ≤ V <sub>CM</sub> ≤ +12V
Input Current (A, B); V <sub>IN</sub> = 12V			1.0	mA	DE = 0V, V <sub>CC</sub> = 0V or 3.6V, V <sub>IN</sub> = 12V
Input Current (A, B); V <sub>IN</sub> = -7V			-0.8	mA	DE = 0V, V <sub>CC</sub> = 0V or 3.6V, V <sub>IN</sub> = -7V
Short-Circuit Current	7		60	mA	0V ≤ V <sub>CM</sub> ≤ V <sub>CC</sub>

## SPECIFICATIONS (continued)

$T_{AMB} = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$  and  $V_{CC} = +3.3V \pm 5\%$  unless otherwise noted.

PARAMETERS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	CONDITIONS
<b>SP3481/SP3485 RECEIVER</b>					
<b>AC Characteristics</b>					
Maximum Data Rate	10			Mbps	$\overline{RE} = 0V, DE = 0V$ <i>Figures 6 and 11</i>
Receiver Input to Output, $t_{PLH}$	40	70	100 70	ns ns	$T_{AMB} = +25^{\circ}C, V_{CC} = +3.3V,$ <i>Figures 6 and 11</i>
Receiver Input to Output, $t_{PHL}$	40	70	100 70	ns ns	<i>Figures 6 and 11</i> $T_{AMB} = +25^{\circ}C, V_{CC} = +3.3V,$ <i>Figures 6 and 11</i>
Differential Receiver Skew Receiver Enable to Output Low		4		ns	$t_{RSKEW} =  t_{RPHL} - t_{RPLH} $ <i>Figures 6 and 11</i>
Receiver Enable to Output High		35	60	ns	<i>Figures 7 and 12; S<sub>1</sub> closed, S<sub>2</sub> open</i>
Receiver Disable from Low		35	60	ns	<i>Figures 7 and 12; S<sub>2</sub> closed, S<sub>1</sub> open</i>
Receiver Disable from High		35	60	ns	<i>Figures 7 and 12; S<sub>1</sub> closed, S<sub>2</sub> open</i>
<b>SP3481 Shutdown Timing</b>					
Time to Shutdown	50	75	200	ns	$\overline{RE} = 3.3V, DE = 0V$
Driver Enable from Shutdown to Output High		65	150	ns	<i>Figures 4 and 10</i>
Driver Enable from Shutdown to Output Low		65	150	ns	<i>Figures 5 and 10</i>
Receiver Enable from Shutdown to Output High		50	200	ns	<i>Figures 7 and 12; S<sub>2</sub> closed, S<sub>1</sub> open</i>
Receiver Enable from Shutdown to Output Low		50	200	ns	<i>Figures 7 and 12; S<sub>1</sub> closed, S<sub>2</sub> open</i>
<b>POWER REQUIREMENTS</b>					
Supply Current <b>SP3481/3485</b> No Load		1000 800	2000 1500	$\mu A$ $\mu A$	$\overline{RE}, DI = 0V$ or $V_{CC}; DE = V_{CC}$ $\overline{RE} = 0V, DI = 0V$ or $V_{CC}; DE = 0V$
<b>SP3481</b> Shutdown Mode			10	$\mu A$	$DE = 0V, \overline{RE} = V_{CC}$

# Programmable Magnetic Flowmeter APG® Series FM100



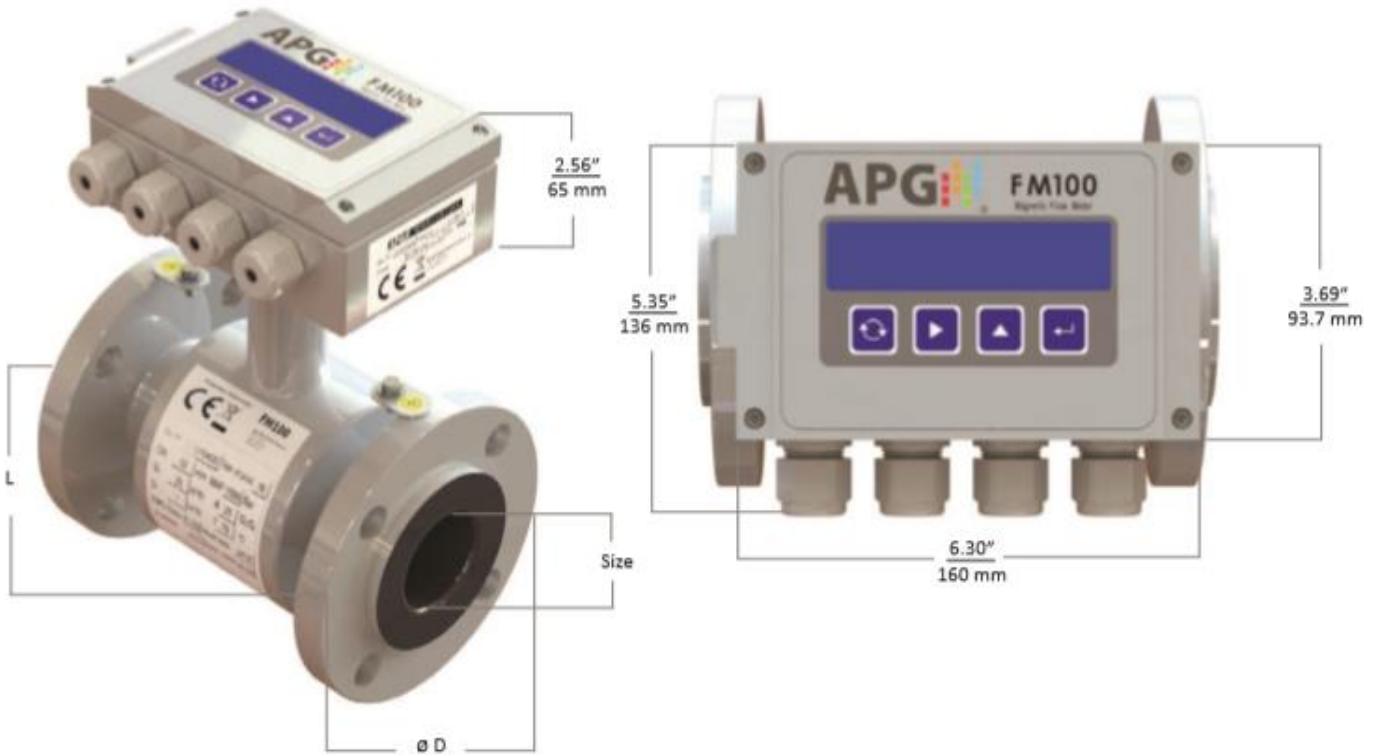
The FM100 Programmable Magnetic Flowmeter is a highly accurate, bi-directional flowmeter, with configurable 4-20 mA output. It comes with a two-line LCD display and four-button keypad for intuitive display set up and menu navigation. The hard technical rubber liner of the FM100 is compatible with most water and waste water applications.

## Features

- Ranges to 3360 gpm
- 4-20 mA output
- 1", 2", 3", 4" and 6" pipe diameters
- $\pm 0.5\%$  accuracy or better
- User selectable units, and up to 7 display fields
- Hourly, Daily, and Monthly onboard archives
- IP67 Case rating
- CE Approved



# FM100 Flowmeter Specifications



## FM100 Dimensions

Size	Flange*	ø D*	L**	Weight
1" (25mm)	150lbs	4.53" (115mm)	7.87" (200mm)	9.7 lbs (4.4 kg)
2" (50mm)	150lbs	6.30" (160mm)	7.87" (200mm)	19.6 lbs (8.9 kb)
3" (80mm)	150lbs	7.68" (195mm)	7.87" (200mm)	28.4 lbs (12.9 kg)
4" (100mm)	150lbs	8.46" (215mm)	9.84" (250mm)	37.2 lbs (16.9 kg)
6" (150mm)	150lbs	11.0" (280mm)	11.81 (300mm)	63.6 lbs (28.9 kg)

\*Flange dimensions meet ANSI B 16.5

\*\*Standard construction length meets ISO 13359

### Performance

- Accuracy:
  - < 0.5% of full scale (BFSL)
  - 4-20 mA output:
    - 16 bit resolution
    - ± 0.1% accuracy, ±0.1mA

### Environmental

- Process Temp: 32 - 158 °F (0.1 - 70 °C)
- Enclosure Protection: IP67

### Electrical

- Supply Voltage: 85 - 265 VAC (1 phase, 2-wire + ground)
- 4-20 mA Loop Resistance: 1000 ohms
- Minimum fluid conductivity: 20µS/cm

### Programming

- Onboard, 2-line LCD with 4-button keyboard
- Five current output configurations
- Seven display options

### Physical

- Wetted Materials:
  - Lining: Hard Structure Technical Rubber
  - Electrodes: AISI 316Ti Stainless Steel
- Measuring Tube: Stainless Steel
- Flanges, Housing: Carbon Steel, Polyurethane paint
- Converter Box: Aluminum, powder paint

### Certification

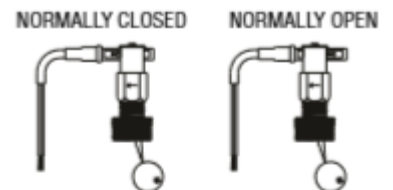
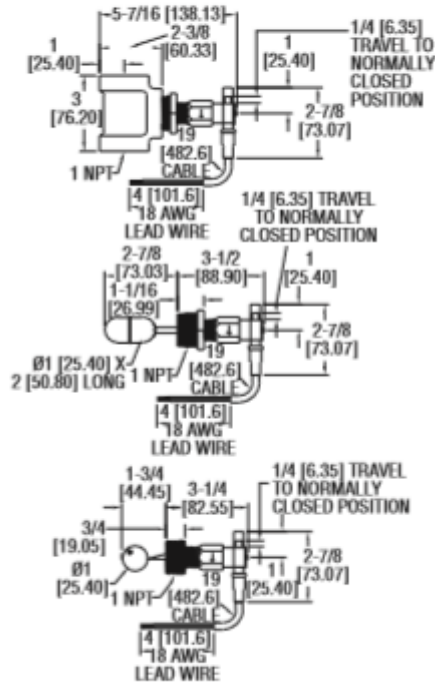
- CE





**Series L10 Flotect™ Mini-Size Level Switch**

**Specifications – Installation and Operating Instructions**



**SPECIFICATIONS**

Service: Compatible liquids.

**Wetted Materials:**

Float: Solid polypropylene or 304 SS;  
 Body: Brass or 303 SS;  
 Magnet: Ceramic;  
 External float chamber (tee): None, brass, or 304 SS; Other: Lever arm, pin, spring, etc.: 301 SS, 302 SS, 316 SS.

Temperature Limit: 200°F (93°C).

Pressure Limit: See model chart.

Enclosure Rating: Weatherproof, meets NEMA 4X (IP66).

Switch Type: SPST hermetically sealed reed switch. Field adjustable for normally open or normally closed.

Electrical Rating: 1.5 A @ 24 VDC res., 0.001 A @ 200 VDC res., 0.5A @ 125 VAC.

Electrical Connections: 18 AWG, 19" (483 mm) long, PVC jacket. Rated 221°F (105°C).

Process Connection: 1" male NPT standard on models without external float chamber. Change 3 in model number to 4 for 1-1/4", to 5 for 1-1/2", or 6 for 2". 1" female NPT on models with external float chamber.

Mounting Orientation: Horizontal with index arrow pointing down.

Weight: Approximately 10 oz (0.283 kg) without external float chamber, 2.32 lb (1.05 kg) with external float chamber.

Specific Gravity: See model chart.

Agency Approvals: UL and CSA.

Switch Enclosure: Nylon.

Model Number	Body Material	Installation/ Mounting	Float Material	Max. Press. psig (bar)	Min. S.G.
L10-B-3-O	Brass	Side Wall	Solid Polypropylene	1000 (68.9)	0.9
L10-B-3-A	Brass	Side Wall	Cylindrical St. Steel	200 (13.8)	0.5
L10-B-3-C	Brass	Side Wall	Round St. Steel	350 (24.1)	0.7
L10-B-3-B	Brass	Ext. Tee	Solid Polypropylene	250 (17.2)	0.9
L10-B-3-H	Brass	Ext. Tee	Round St. Steel	250 (17.2)	0.7
L10-S-3-O	St. Steel	Side Wall	Solid Polypropylene	2000 (137.8)	0.9
L10-S-3-A	St. Steel	Side Wall	Cylindrical St. Steel	200 (13.8)	0.5
L10-S-3-C	St. Steel	Side Wall	Round St. Steel	350 (24.1)	0.7
L10-S-3-S	St. Steel	Ext. Tee	Solid Polypropylene	2000 (137.8)	0.9
L10-S-3-L	St. Steel	Ext. Tee	Round St. Steel	350 (24.1)	0.7

**INSTALLATION**

1. Unpack switch and remove any packing material found inside lower housing or float chamber (tee).

2. **WARNING** Mechanical shock and vibration can cause damage to the reed switch. Care should be taken to avoid dropping the switch on hard surfaces or impacting the switch assembly.

3. Switch must be installed with body in a horizontal plane with arrow on side of body pointing down.

4. If switch has an external float chamber (tee), connect it to vertical sections of 1" NPT pipe installed outside vessel walls at appropriate levels. If unit has no external float chamber, it must be mounted in a 1" NPT half coupling welded to the vessel wall. The coupling must extend through the wall. Use Teflon® thread tape or pipe joint compound to assure a good seal.

5. Connect the wiring in accordance with local electrical codes.

6. Inductive, capacitive and lamp loads can all create conditions harmful to the reed switch.

A) **Inductive loads** can be caused by electromagnetic relays, electromagnetic solenoids and electromagnetic counters, all with inductive components as the circuit load.

B) **Capacitive loads** can be caused by capacitors connected in series with or parallel to the reed switch. In a closed circuit, the cable length (150 ft or more) to the switch can introduce a capacitance.

C) **Lamp loads** can be caused by switching lamp filaments which have low cold resistance.

In addition to these causes, exceeding any of the maximum electrical ratings can lead to premature or immediate failure. This includes inrush and surge currents greater than the maximum switching current. To accommodate these conditions, see diagrams on the reverse for possible solutions.

7. After installation, set the switch action to **NO** (normally open) or **NC** (normally closed). Normally open contacts close and normally closed contacts open when liquid level in the vessel lifts the float past the actuation point. To change, loosen, but do not remove, the two screws on the switch cap. Slide the reed switch assembly to expose the switch action needed. Tighten screws when adjustment is complete.

# Verderflex

## Vantage 5000



VERDERFLEX®

### Description

The new Verderflex Vantage 5000 cased drive peristaltic pump accurately doses liquids at pressures exceeding 100 PSI for industries ranging from the aseptic, pharmaceutical environment to the harsh requirements of water treatment and mining.

### Your benefits

- Advanced touch screen controls
- Intuitive, easy to follow menus
- Large diameter rotor
- Maximum flow rate 104.6 GPH
- Precision stepper motor dosing 4096:1 speed control ratio
- USB interface for pump back-up and job transfer
- Many remote controls options: analogue, digital & BUS control versions

### Technical specifications

Max. flow rate	6600 ml/min, 104.6 GPH
Maximum Pump Speed	400 rpm
Max. discharge pressure	>7 Bar, > 100 PSI
Speed Control Ratio	4096:1
Temperature	41°F - 104°F
Ingress Rating	IP66 / NEMA 4X (washdown)
Power Supply	85-265V 50/60Hz AC single phase with fuseless reset switch
Humidity	(condensing) 10-100% RH
Torque Rating	2.2Nm, continuous duty
Noise	<70dB (A) at 1m
Weight	26 lbs

### Materials

Casing	Gravity die-cast LM6 Aluminium, Achromed and powder coated
Continuous Tubing Clamps	Glass Filled Nylon
Display	High definition 4.33" TFT touch screen
Drive shaft	304 Stainless steel with thermoplastic polyurethane (TPU) sleeve
Pump Head	PPS (polyphenylene sulphide) Rotor Body & Arms 304 Stainless Steel Main rollers with 440C Stainless Steel Bearings Nylon guide rollers. Bearing Strut : Bulk Moulding Compound (BMC) - glass fibre re-enforced thermoset polyester
Pump Head Door	Polycarbonate
Pump Head Enclosure	Bulk Moulding Compound (BMC) - glass fibre re-enforced thermoset polyester
Screen Guard	Impact Resistant Polycarbonate
Screen Enclosure	Bulk Moulding Compound (BMC) - glass fibre re-enforced thermoset polyester
Tube Element Connectors	PVDF



## AUTOMATIC PUMP CONTROL FOR FILTER PRESSES

OPERATION AND SERVICE GUIDE  
O-1455  
AUG. 1997

Refer to Bulletin F-705

### OPERATING PRINCIPLE

The multi-stage sludge feed concept is utilized to maximize the dewatering capabilities of the filter press. Through experimentation it has been determined that the best results for a metal hydroxide sludge have been obtained by filling the filter press in stages. The most effective method of filling the filter press is by using three separate inlet pressures. This can be accomplished by using an air diaphragm pump as the sludge pump.

Because the air diaphragm pump's volume and pumping pressure are related to the air pressure which operates it, this type of pump is best suited for the multi-stage feed application. By using three different regulators in combination with three solenoids and a control panel, the sludge pump can be controlled at three different operating pressures for varying lengths of time.

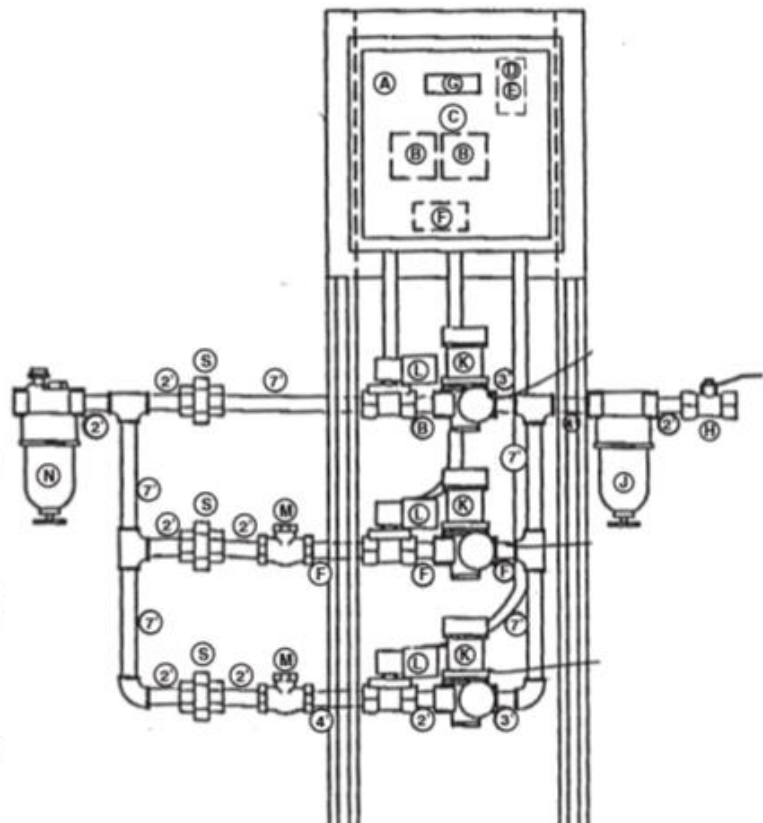
Stage one- is a low pressure stage which primarily fills the filter press cavities without forcing sludge into the weave of the cloth. By filling the press at low pressure the solids have a chance to coat the filter chambers evenly without blinding the cloths.

Stage two - is a moderate pressure stage. This stage allows the transition to a higher pumping pressure to occur without disturbing the still fragile coating of sludge which was deposited in stage one. During this stage the solids content within the filter cavities is brought to a thick, mud- like consistency. This type of sludge will withstand the high pressure pumping in stage three.

Stage three - is the final stage. During this stage the pumping pressure will be great enough to force the solids together. The pressure will drive the water from the filter cavities to the filtrate line (point of least resistance). Essentially, the pressure at which the pump is set will be the amount of force being exerted on the sludge. This force will drive 30 to 40 percent of the water from the sludge, making a material which began at a consistency similar to that of a wet sponge into a material resembling clay.

### APPROXIMATE OPERATING PARAMETERS

STAGE	TIME SETTING	PUMPING PRESSURE	SLUDGE CONSISTENCY
1	15 to 20 (min.)	20 PSIG	wet & spongy
2	45 to 60 (min.)	40 to 50 PSIG	thick mud
3	to end of cycle	80 to 100 PSIG	clay

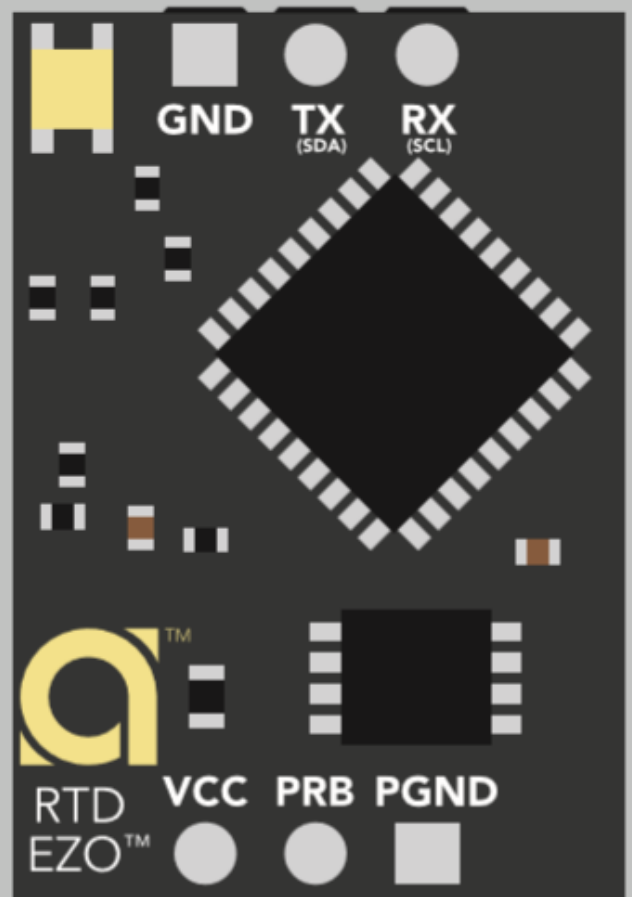




# RTD Temperature EZO™

## Circuit

Reads	<b>Temperature</b>
Range	<b>-126.000 °C – 1254 °C</b>
Resolution	<b>0.001</b>
Accuracy	<b>+/- (0.10°C + 0.0017 x °C)</b>
Speed	<b>1 reading per sec</b>
Supported probes	<b>Any type &amp; brand PT-100 or PT-1000 RTD</b>
Calibration	<b>Single point</b>
Temperature output	<b>°C, °K, or °F</b>
Data protocol	<b>UART &amp; I<sup>2</sup>C</b>
Default I <sup>2</sup> C address	<b>102 (0x66)</b>
Operating voltage	<b>3.3V – 5.5V</b>
Data format	<b>ASCII</b>
Onboard Data Logger	<b>50 Readings</b>



**Electrical Isolation not needed**



# AtlasScientific™

Environmental Robotics

## Universal flow meter totalizer

EZO™

Revised 7/13/16

### EZO™ class universal flow meter totalizer

V 1.3

This is an evolving document  
check back for updates.

## Features

### Reads

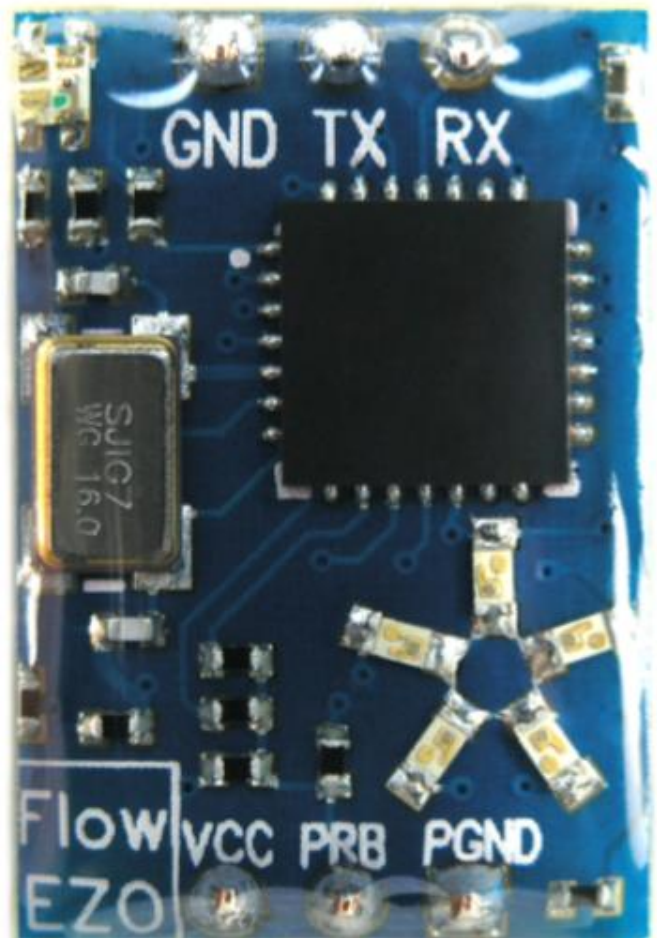
- Reads flow rate per second, minute, hour and total flow.
- Works with any off the shelf pulsed DC flow meter regardless of manufacture
- Works with any DC pulse per volume flow meter
- Works with any DC pulse frequency to volume flow meter
- Programmable with up to 16 integer or floating point K factors
- On the fly linear interpretation between K-factors for maximum accuracy
- Visual display indicating real time turbine rotation
- 1K, 10k or 100k on board pull-up or pull-down resistors (for flow meters that require external pull-up or pull-down)
- Comes preprogrammed with 4 different Atlas Scientific flow meters
- **Data format is ASCII**

### Data protocol

- UART asynchronous serial connectivity
- (RX/TX voltage swing 0-VCC)
- Operating voltage: 3.3V to 5

### Sleep mode power consumption

- 2.1mA at 3.3V



Patent pending



## Description

Accurate liquid flow monitoring requires two major components, a precision flow meter and a well-designed totalizer. The most accurate flow meter in the world is nothing if the totalizer misses pulses or does not compute flow rates properly. The Atlas Scientific™ EZO™ class universal flow meter totalizer is a user programmable device that will interface with any off the shelf pulsed DC output flow meter.

## 1/2" High Precision Flow Meter

V 2.0

### Features

- High accuracy Flow Meter (+/- 5%)
- See through front panel for visual inspection
- Minimum flow rate 5.7 L / min (1.5 GPM)
- Maximum flow rate 75.70 L / min (20 GPM)
- Max operating pressure 689 KPA (100 PSI)
- Weighs 104.3g
- Operating temperature
- -29° C to 82° C (-20° F to 180° F)
- Max viscosity 200 ssu
- 3 lead cable 71.1cm (28") long
- Food safe
- Diesel safe
- Kerosene safe
- Gasoline safe



### Materials

Body: Polypropylene  
Rotor Pin: Ceramic  
Paddle Wheel: Polypropylene Sulfide  
Front Panel: Polysulfone  
O-ring: Buna-N



1/2" Female NPT Input/Output

