

**SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN, ACTUACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CAMPAMENTOS DE POZOS PETROLEROS (PTAP)**

**CÓDIGO DE PROYECTO: PG-16-2-01**



**LISETH DAYANA LOZANO SUAREZ**

CÓDIGO: 1211174

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1.018.469.018

**PAULA JOHANA SANCHEZ GUZMAN**

CÓDIGO: 1210520

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018480722

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**BOGOTÁ, D.C.**

**JUNIO DE 2017**

**SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN, ACTUACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CAMPAMENTOS DE POZOS PETROLEROS (PTAP).**

**LISETH DAYANA LOZANO SUAREZ**

CÓDIGO: 1211174

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1.018.469.018

**PAULA JOHANA SANCHEZ GUZMAN**

CÓDIGO: 1210520

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018480722

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA  
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

**DIRECTOR:**

**M.SC. LUIS CARLOS MENESES SILVA**

Mag. En Ingeniería del Mantenimiento

Ing. en Automática Industrial

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

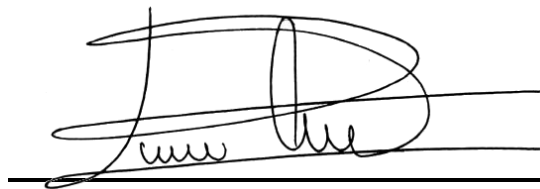
**BOGOTÁ, D.C.**

**JUNIO DE 2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Carlos Meneses Silva', is written over a horizontal line.

**M.SC. LUIS CARLOS MENESES SILVA**

Director del Proyecto

## DEDICATORIA

---

*A mis padres, jamás existirá una forma de agradecer en esta vida todo lo que han hecho por mí, todos mis esfuerzos y logros también son suyos, son la bendición más grande que Dios me ha dado. Con amor y una profunda admiración.*

*Lizeth Lozano Suarez*

## DEDICATORIA

---

*A mis padres  
Quienes hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños.  
A mi madre  
Sin quien yo nada sería, me conforta y consuela, nunca se queja ni interfiere en nada  
No pide nada y lo da todo  
Y además siempre escribe mis dedicatorias.*

*Paula Johana Sánchez*

## AGRADECIMIENTOS

---

*A Dios, por regalarme tan grandes bendiciones y acompañarme a cada paso que doy.*

*A Nayibe, mi madre, quien me ha brindado su amor y apoyo incondicional, por ser fortaleza y se motivación, gracias a ella este sueño ha sido posible*

*A Fabián, mi padre, quien ha hecho tantos esfuerzos por llenarnos con su amor incondicional y brindarnos todo lo que en sus manos ha sido posible.*

*A Marco y Emma, mis abuelos, por ser aliento de vida, amor y sabiduría a lo largo de este camino.*

*A Diego, mi compañero de vida, por llenarme con experiencias únicas, por ser motivo de esfuerzo y excelencia a cada paso que doy.*

*Al Ing. Luis Carlos Meneses, quien por medio de su valiosa dirección y conocimiento, hizo que el resultado de este proyecto fuese posible.*

*A mis familiares y amigos, quienes fueron partícipes de este camino de constante aprendizaje y crecimiento, gracias por contribuir en cada momento.*

*A la compañía SORTE LTDA. Y cada uno de sus colaboradores, por abrirme las puertas y hacerme parte de su gran equipo, dándome así la oportunidad de llevar a la práctica mis conocimientos hasta el punto de desarrollar allí tan maravilloso proyecto.*

*El desarrollo de este proyecto ha sido posible gracias a su incondicional apoyo.*

*Lizeth Lozano Suarez*

## AGRADECIMIENTOS

---

*Y después de un tiempo, al poco camino andar agradezco a quienes, con voz intensa sostuvieron mis ganas y deseos, apoyaron con sacrificio y trabajo mis sueños, y renunciaron a caminos sin contratiempos por facilitar los míos.*

*A mis padres Mariluz y Carlos a ustedes por tanto y por todo, por tomar mi mano desde el principio hasta hoy, por sostenerla fuerte. Los quiero sin medida y se los digo, gracias por permitirme ser quien soy.*

*Y muy especialmente a Luis Carlos Meneses, a este gran ingeniero que hizo realidad cada pequeño detalle de este camino.*

*Paula Johana Sanchez*

## TABLA DE CONTENIDO

---

	Pág.
NOTA DE ACEPTACIÓN .....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS .....	6
LISTA DE TABLAS .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE ANEXOS .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
RESUMEN .....	16
<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>17</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.1.1 <i>Antecedentes del problema</i> .....	17
1.1.2 <i>Descripción del problema</i> .....	17
1.1.3 <i>Formulación del problema</i> .....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.3 OBJETIVOS .....	18
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	18
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	18
1.3.3 <i>Delimitación del proyecto</i> .....	18
1.4 MARCO REFERENCIAL .....	19
1.4.1 <i>Estado del arte</i> .....	19
1.5 MARCO NORMATIVO .....	30
1.6 MARCO METODOLÓGICO .....	30
<b>2. CARACTERIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE LA PTAP .....</b>	<b>32</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA.....	32
2.1.1 <i>Parámetros de calidad de agua para consumo humano</i> .....	34
2.1.2 <i>Metodología de caracterización del agua en fuente inicial.</i> .....	35
2.1.3 <i>Caracterización de flujos de entrada</i> .....	41
2.1.4 <i>Caracterización de flujos de salida</i> .....	43
2.1.5 <i>Análisis de mediciones de caracterización de flujos de entrada y salida</i> .....	45
2.2 PTAP DE REFERENCIA PARA LA AUTOMATIZACIÓN .....	53
2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PROPUESTOS PARA EL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....	56
2.3.1 <i>Puntos de medición en la PTAP de referencia</i> .....	56
2.3.2 <i>Alternativas de solución para la medición de parámetros</i> .....	57
2.3.3 <i>Instrumentos de medición seleccionados</i> .....	73
<b>3. NECESIDADES DE POTABILIZACIÓN Y ACTUADORES DE SUMINISTRO.....</b>	<b>74</b>
3.1 NECESIDADES DE POTABILIZACIÓN .....	74
3.1.1 <i>Nivelación del pH</i> .....	75
3.1.2 <i>Nivelación del Cloro libre</i> .....	77



3.1.3	<i>Nivelación de otras variables</i> .....	78
3.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL.....	79
3.3	SELECCIÓN DE ACTUADORES DE SUMINISTRO DE QUÍMICOS .....	81
3.3.1	<i>Alternativas de actuadores</i> .....	82
3.3.2	<i>Criterios y evaluación de alternativas</i> .....	84
3.4	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN .....	85
<b>4.</b>	<b>REQUERIMIENTOS Y SECUENCIAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....</b>	<b>88</b>
4.1	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	88
4.1.1	<i>Requerimientos generales</i> .....	88
4.2	SECUENCIAS DE OPERACIÓN DE LA PTAP .....	88
4.2.1	<i>Secuencia de operación normal</i> .....	89
4.2.2	<i>Secuencia de retrolavado</i> .....	90
4.2.3	<i>Secuencia de operación manual</i> .....	90
4.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....	91
4.3.1	<i>Requerimientos de entradas y salidas</i> .....	91
4.3.2	<i>Selección del PLC y arquitectura de automatización</i> .....	94
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....</b>	<b>97</b>
5.1	REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.....	97
5.1.1	<i>Consolidado de señales</i> .....	97
5.2	SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE HARDWARE .....	97
5.2.1	<i>Evaluación de controladores S7-1200</i> .....	97
5.2.2	<i>Selección de módulos de PLC</i> .....	98
5.2.3	<i>Mapeo de señales de conexión</i> .....	100
5.3	PLANEACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE CONTROLADORES .....	101
5.3.1	<i>Diagrama de flujo. Selección modo de operación</i> .....	101
5.3.2	<i>Diagrama de flujo de proceso. Operación normal</i> .....	102
5.3.3	<i>Diagrama de flujo de proceso. Retrolavado</i> .....	105
5.3.4	<i>Operación manual</i> .....	106
5.4	PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN.....	106
5.4.1	<i>Diagrama de flujo del sistema supervisorio</i> .....	106
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>108</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>117</b>
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
	ANEXO A. INFORMACIÓN DE SOPORTE TÉCNICO .....	122

## LISTA DE TABLAS

---

	Pág.
Tabla 1. Químicos utilizados en la potabilización del agua.....	25
Tabla 2. Clasificación de las características del agua .....	32
Tabla 3. Niveles de calidad de salida del agua .....	34
Tabla 4. Instrumentos de medición .....	40
Tabla 5. Muestras Parámetros de entrada PTAP 1 .....	41
Tabla 6. Muestras Parámetros de entrada PTAP 2 .....	42
Tabla 7. Muestras Parámetros de entrada PTAP 3 .....	42
Tabla 8. Muestras de parámetros de salida PTAP 1.....	43
Tabla 9. Muestras de parámetros de salida PTAP 2.....	44
Tabla 10. Parámetros de salida PTAP 3 .....	44
Tabla 11. PTAP de referencia .....	53
Tabla 12. PTAP de referencia con margen de seguridad.....	53
Tabla 13. Puntos y variables de medición .....	56
Tabla 14. Evaluación de criterios .....	57
Tabla 15. Evaluación de Alternativas .....	57
Tabla 16. Alternativas de Sensores de pH .....	58
Tabla 17. Alternativas para la medición de oxígeno disuelto.....	59
Tabla 18. Alternativas para la medición de turbidez .....	60
Tabla 19. Alternativas para la medición de conductividad.....	61
Tabla 20. Alternativas para la medida de Cloro libre .....	62
Tabla 21. Alternativas para la medida de color en el agua.....	64
Tabla 22. Alternativas para la medición de temperatura .....	65
Tabla 23. Alternativa para la medición de nivel .....	66
Tabla 24. Sensores de caudal .....	67
Tabla 25. Sensores de Presión.....	67
Tabla 26. Escala de Ponderación.....	69
Tabla 27. Ponderación alternativas sensores de PH. ....	69
Tabla 28. Alternativa 2.....	70
Tabla 29. Alternativa 3.....	70
Tabla 30. Alternativa 4.....	70
Tabla 31. Alternativa 5.....	71
Tabla 32. Alternativa 6.....	71
Tabla 33. Alternativa 7.....	71
Tabla 34. Alternativa 8.....	72
Tabla 35. Alternativa 9.....	72
Tabla 36. Alternativa 10.....	72
Tabla 37. Alternativas seleccionadas. ....	73
Tabla 38. Intervalos de referencia con margen de seguridad.....	74
Tabla 39. Especificaciones técnicas C-600P .....	83
Tabla 40. Especificaciones técnicas C-600HV.....	84
Tabla 41. Características del Relé TRP 6822.....	87
Tabla 42. Indicadores de alarma .....	87
Tabla 43. Señales de entrada analógicas de la PTAP de referencia .....	91
Tabla 44. Señales de entrada digitales de la PTAP de referencia.....	92

Tabla 45. Señales de salidas digitales de la PTAP de referencia.....	93
Tabla 46. Evaluación de alternativas PLC .....	95
Tabla 47. Señales Digitales .....	97
Tabla 48. Consolidado de señales analógicas.....	97
Tabla 49. Grupos de referencias comerciales familia S7-1200 Siemens .....	98
Tabla 50. Características de los módulos de entrada y salida adicionales. ....	99
Tabla 51. Estructura de variables bloque de bombas.....	109

## LISTA DE FIGURAS

---

	Pág.
Figura 1. Fases tratamiento de agua residual .....	20
Figura 2. Proceso de potabilización .....	20
Figura 3. Planta convencional .....	21
Figura 4. Planta compacta .....	22
Figura 5. Planta Modular .....	22
Figura 6. Planta PTAR.....	23
Figura 7. PHmetros .....	26
Figura 8. Turbidímetros .....	27
Figura 9. Tester Color .....	27
Figura 10. Kit Oxígeno.....	28
Figura 11 . PTAP – FFRP 100.....	29
Figura 12. PTAP-FFRP 120 .....	29
Figura 13. PTAP de Aquagreen .....	30
Figura 14. Metodología .....	31
Figura 15. Indicador de pH .....	34
Figura 16. Metodología de caracterización del agua .....	35
Figura 17. Localización PTAP Tilo .....	36
Figura 18. Bloque LLANOS 34- Tilo.....	36
Figura 19. Ubicación geográfica Tilodiran .....	37
Figura 20. Bloque LLANOS 34, Chiricoca.....	38
Figura 21. Ubicación Geográfica de Tauramena .....	38
Figura 22. Ubicación Geográfica Campo Aguas Blancas .....	39
Figura 23. Puntos de medición.....	39
Figura 24. PTAP de referencia Tauramena .....	54
Figura 25. Bombas trifásicas.....	55
Figura 26. Tablero eléctrico.....	55
Figura 27. Puntos de medición en la PTAP de referencia .....	56
Figura 28. Proceso de potabilización del agua .....	75
Figura 29. Partes de la PTAP Tauramena I.....	80
Figura 30. Partes de la PTAP Tauramena II.....	80
Figura 31. Bomba dosificadora de sustancias liquidas.....	81
Figura 32. Bomba dosificadora de sustancias secas .....	82
Figura 33. Bomba C-6000P .....	82
Figura 34. Bomba dosificadora C-600HV .....	83
Figura 35. Válvula de bola direccional V102.....	85
Figura 36. Bomba Centrifuga WEG .....	86
Figura 37. Contactor LC1 D12 .....	86
Figura 38. Relé TRP 6822 .....	87
Figura 39. PLC S7-1200 .....	96
Figura 40. Configuración del PLC .....	99
Figura 41. Diagrama de selección modo de operación.....	102
Figura 42. Diagrama de flujo Operación normal.....	103
Figura 43. Diagrama de flujo Retrolavado .....	105
Figura 44: Diagrama de flujo sistema supervisorio .....	106

Figura 45 . Bloque de función bomba.....	110
Figura 46. . Bloque de función histéresis.....	110
Figura 47.Bloques de normalización.....	111
Figura 48. Raíz Menú principal de PTAP .....	113
Figura 49. Operación normal de PTAP .....	113
Figura 50. Nivel de tanques y químicos .....	114
Figura 51. Retrolavado de PTAP .....	114
Figura 52. Retrolavado de PTAP .....	115

## LISTA DE ANEXOS

---

ANEXO A. Información de Soporte Técnico

## INTRODUCCIÓN

---

El agua, es la fuente natural de la generación y sostenimiento de la vida, sin embargo, la actividad humana genera contaminación hasta el punto que deja de ser apta para el consumo. Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) permiten que este recurso sea reutilizable, para esta tarea se emplean un conjunto de estructuras que combinan diferentes tecnologías y procesos físico- químico o biológico que reducen la contaminación y hacen que el agua cumpla con los mínimos estándares para el consumo humano.

Fundamentalmente para lograr las condiciones necesarias se realizan procesos tal como como la dosificación, floculación, filtrado, desinfección y almacenamiento.

En el presente trabajo se pretende realizar el diseño de un sistema de control automatizado para una planta de agua potable, por medio de un controlador lógico programable (PLC), que permita optimizar el proceso y así mismo ofrecer al operador mayor facilidad en el manejo de este. El desarrollo de este proyecto se realizará con base a las plantas de tratamiento de aguas PTAP fabricadas por la empresa SORTE.

El documento inicia con las generalidades del proyecto, presentando el planteamiento del problema que da la base para el planteamiento de los objetivos del proyecto. Posteriormente se realiza una exposición de lo que significa y abarca las diferentes plantas de tratamiento de agua, realizando especial énfasis en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), exponiendo los parámetros de potabilización de agua exigidos por la normativa colombiana.

En el capítulo II se realiza un estudio de diferentes plantas de tratamiento de agua instaladas en diferentes campos petroleros con el objetivo de establecer una planta PTAP de referencia que servirá para determinar las necesidades de potabilización (Capítulo 3) y definir los requerimientos y secuencias de automatización (Capítulo IV). Finalmente, en el Capítulo V se realiza el diseño del sistema de automatización basado en tecnología Siemens.

## RESUMEN

---

En el presente proyecto se realiza el diseño de un sistema de instrumentación, actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable para campamentos de pozos petroleros (PTAP), basado en las plantas ofertadas por la empresa SORTE LTDA. El proyecto plantea la necesidad de estudiar diferentes plantas instaladas en campos petroleros y la definición de una planta PTAP de referencia, la cual permitirá establecer las necesidades de automatización y definir la sensórica y los actuadores acordes a las necesidades de la planta. Finalmente, el resultado del proyecto es la elección de 6 actuadores y 8 válvulas de control de flujo y 19 sensores analógicos que permiten monitorear las condiciones de entrada y salida de agua de la planta. El sistema de automatización es diseñado bajo tecnología Siemens y la plataforma integrada de automatización TIA portal, el diseño se realiza finalmente con un PLC de la familia S7-1200, una red Profinet y una pantalla HMI del mismo fabricante.

**Palabras claves:** *Automatización, PTAP, PLC, S7-1200, HMI.*



## 1. GENERALIDADES

---

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1 Antecedentes del problema

En los campos donde se encuentran pozos de petróleo los dormitorios de los trabajadores son generalmente container que no están dotados con agua ni luz; por esta razón en la mayoría de estos espacios es necesario implementar generadores de energía y plantas de tratamiento de agua residual y potable, que puedan prestar este servicio.

La empresa SORTE cuenta con plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), las cuales reciben agua de un tanque donde se encuentra el agua cruda, esta pasa por una bomba inicial y es llevada al tanque de floculación donde existe una torre de aireación, luego el agua pasa por otra bomba que toma el agua del tanque y la envía a los filtros de arena, carbón y diferentes tipos de gravilla en las cuales se realizan varios niveles de filtrado, en los que se retienen partículas cada vez más pequeñas. Luego de este procedimiento el agua se encuentra lista para el tratamiento final, donde se le aplica químicos como el cloro que eliminan bacterias y residuos contaminantes presentes en esta. Al finalizar estas etapas el operario revisa los parámetros del agua, para conocer si esta lista para ser suministrada. En estas operaciones de la planta de tratamiento interviene el operador ya que esta no posee ningún tipo de control.

#### 1.1.2 Descripción del problema

Actualmente, existen dos tipos de plantas de tratamiento de agua, con las que cuenta la empresa SORTE LTDA, una es de agua residual y otra de agua potable, la mayoría de las etapas del proceso requieren de algún operador para que funcione adecuadamente, especialmente la planta potable debido a que el proceso resulta un poco más complejo. Por ello se ve la necesidad de diseñar un sistema automatizado que permita optimizar los procesos que realiza la planta de tratamiento de agua potable, convirtiéndolo en uno más eficiente, ya que se agilizan las labores de los operarios, y realiza las respectivas funciones de la planta de una forma más precisa y controlada, evitando así una pérdida de tiempo.

#### 1.1.3 Formulación del problema

¿Cuál sería el diseño de un sistema óptimo de instrumentación, actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable para campamentos?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La finalidad de la realización de este proyecto es desarrollar un diseño de un sistema que permita automatizar el proceso de potabilización de agua que se realiza en una planta de tratamiento de agua potable PTAP, con el fin de optimizar las plantas con las que actualmente cuenta la empresa SORTE LTDA, para obtener un mayor rendimiento, productividad y un aporte al mejoramiento del medio ambiente.

La automatización del proceso de potabilización permite disminuir los riesgos de suministro de agua de baja calidad o con agentes peligrosos para el personal alojado en los campamentos petroleros, ya que, en la actualidad, el proceso de suministro de químicos se realiza en base a mediciones manuales y empíricas que no garantizan que las condiciones del líquido sean las adecuadas para el consumo humano. Finalmente, la automatización de la planta, permitirá conocer en tiempo real las condiciones de entrada y salida del agua y, de esta manera, tomar las acciones correspondientes para entregar el agua en condiciones ideales.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar y simular un sistema de instrumentación, actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable para pozos petroleros (PTAP).

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones y la calidad del agua que ingresa a la PTAP.
- Determinar los instrumentos de medición electrónicos para la captación de las variables de contaminación de la PTAP.
- Determinar los actuadores necesarios para el suministro de químicos de potabilización del agua.
- Diseñar el sistema de automatización que permita integrar los dispositivos de medición y actuación que garantice la potabilización del agua.
- Realizar una simulación del comportamiento del sistema de automatización y del sistema informático emulando las diferentes condiciones de contaminación del agua.

### 1.3.3 Delimitación del proyecto

- Implementar en el diseño un medidor en los dos tanques principales de pH, color, turbiedad para conocer la concentración que hay de cada uno de ellos.
- Diseñar un sistema para la adquisición de datos del sistema.
- Determinar la cantidad de sustancias de la salida del sistema

- Visualizar: corriente de los motores, niveles de los químicos, presión, Retro lavado: tiempo, filtros, devolver el agua.
- Una limitación de este proyecto son los recursos disponibles

## 1.4 MARCO REFERENCIAL

### 1.4.1 Estado del arte

#### 1.4.1.1. *Tratamientos de agua*

Dado a que el enfoque principal de este proyecto son las plantas de tratamiento, es necesario revisar algunos conceptos que sirvan para un mejor entendimiento para el desarrollo de este. Empezando por conocer y entender en que consiste el concepto de tratamiento de agua, según las áreas de ingeniería sanitaria, química y ambiental, “el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. [1] Existen 2 tipos de tratamiento de agua, que son los más usados frecuentemente debido a su aplicación, estos son: tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, a continuación se muestra en que consiste cada una de ellas:

#### *a. Tratamiento de agua residual.*

Las aguas residuales como su nombre lo indica, son las que constituyen una combinación de residuos, que provienen del uso doméstico, industrial o agrícola, por ende, no sirven para el consumo humano. “El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente. [2] Este consta de tres fases de tratamiento, primario, secundario y terciario. Cada uno de ellos cumple distintas funciones como se puede observar en el siguiente esquema:

...Esquema en siguiente página

Figura 1. Fases tratamiento de agua residual

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
<b>Objetivo</b> Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas	<b>Objetivo</b> Eliminación de materia sedimentable y flotante	<b>Objetivo</b> Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal	<b>Objetivo</b> Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos
<b>Operaciones básicas</b> - Desbaste - Tamizado - Desarenado - Desengrasado	<b>Operaciones básicas</b> - Decantación primaria - Tratamientos fisico-químicos (coagulación-floculación)	<b>Procesos básicos</b> - Degradación bacteriana - Decantación secundaria	<b>Procesos básicos</b> - Floculación - Filtración - Eliminación de N y P - Desinfección
<b>Procesos físicos</b>	<b>Procesos físicos y químicos</b>	<b>Procesos biológicos</b>	<b>Procesos físicos, químicos y biológicos</b>

Recuperado de: ESPINEL, Angie. (2014) Tratamiento biológico planta de aguas residuales, Disponible en: <https://prezi.com/9knwwstky3n/tratamiento-biologico-planta-de-aguas-residuales/>

### b. Tratamientos de agua potable

Al proceso de tratamiento de agua potable se le otorga el nombre de potabilización, definido como: “un proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para transformarla en agua potable y de esta manera hacerla absolutamente apta para el consumo humano [3]. Esta es realizada para aguas de manantiales y aguas subterráneas en su mayoría de veces.

En el proceso del tratamiento es común encontrarse con una serie de fases, entre estas se encuentran la fase de dosificación, Floculación, sedimentación, filtración, desinfección y almacenamiento. (Ver figura 2).

Figura 2. Proceso de potabilización



Recuperado de: ROJAS, Hernán. (2015). Tratamiento de agua lluvia. Disponible en: <http://hernanrojasenriquez.blogspot.com.co/2015/05/tratamiento-de-agua-lluvia.html>

Para realizar los procesos de tratamiento agua, se utilizan estaciones o también plantas de tratamiento, existen varios tipos dependiendo del tipo de agua a tratar. A continuación, se definirá el concepto de las plantas de tratamiento y los tipos que existen actualmente:

### ***c. Plantas de tratamiento de agua***

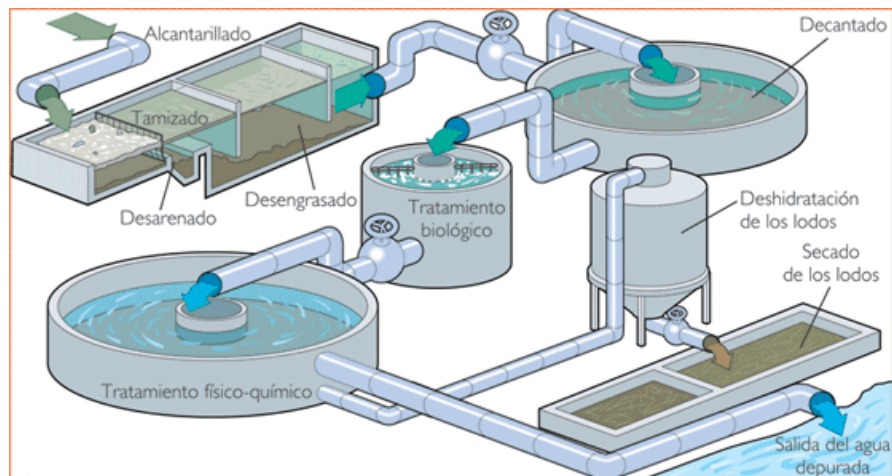
Estas son un conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales [4].

Existen diferentes clases de plantas de tratamiento, a continuación, se describirá en qué consiste algunas de ellas:

### ***d. Plantas de Tratamiento Convencional (Potabilizadoras).***

Es aquella donde cada uno de los procesos ocurre en estructuras diferentes, es decir, está conformada por canales, floculadores, sedimentadores y filtros [5]. Después de filtrar objetos grandes, se añaden coagulantes químicos al agua para lograr que las diminutas partículas en suspensión que enturbian el agua se atraigan entre sí para formar “flóculos” [6] que es un compuesto insoluble capaz de absorber materia coloidal y sedimentarse fácilmente [7]. (Ver figura 3)

Figura 3. Planta convencional



Recuperado de: <http://plantasdetratamientodeaguapotablesena.blogspot.com.co/p/tipos-de-ptap.html>

***e. Plantas de Tratamiento Compactas (Industrial).***

Son aquellas donde los procesos de coagulación, floculación y sedimentación ocurre en una misma unidad para luego pasar a los filtros. Sus tiempos de residencia son bajos. (4) (Ver figura 4).

Figura 4. Planta compacta

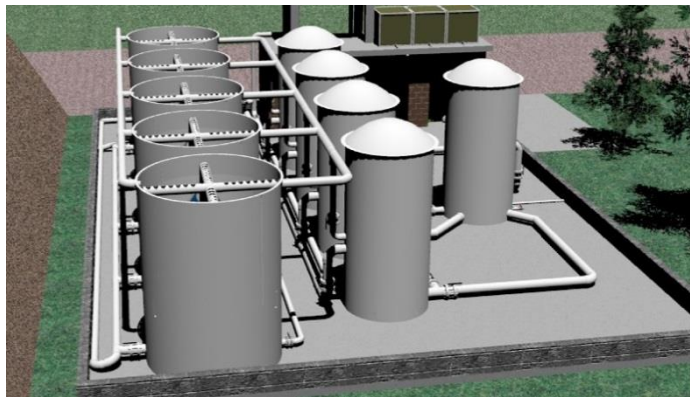


Recuperado de: <http://futuraing.com/proyectos.html>

***f. Plantas de Tratamiento Modular (Potabilizadoras)***

Esta clase de plantas son básicamente un sistema integrado de tratamientos en varias etapas que incluye todos los procesos requeridos para obtener agua potable. Las ventajas de las plantas modulares es que ocupan poco espacio ya que se eliminan los tanques de sedimentación, además de poder aumentar el número de tanques cuando se requiera, añadiendo más módulos [8].

Figura 5. Planta Modular



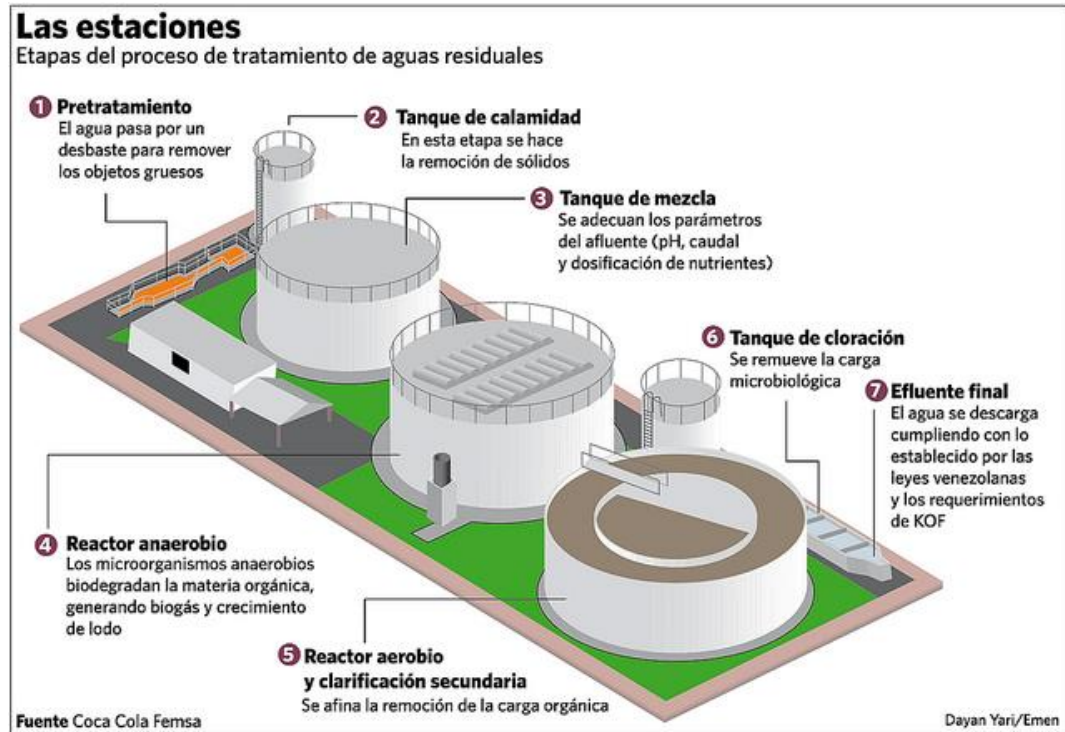
Recuperado de: <http://www.novaquimica.com.co/views/servicios.php?id=2>



**g. Plantas de Tratamiento de Agua Residual. (PTAR)**

Es una instalación donde a las aguas residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reusó en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano [9]. En la figura 6 se puede observar un ejemplo de esta planta.

Figura 6. Planta PTAR



Recuperado de: <https://retailstellar.com/2013/07/12/coca-cola-femsa-de-venezuela-inaugura-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Debido a que la planta que se trabajara en este proyecto es una (PTAP) se mostrara con más detalle todo acerca de este tipo de planta de tratamiento de agua.

**h. Plantas de Tratamiento de Agua Potable. (PTAP) [10]**

Se denomina estación o planta de tratamiento de agua potable (PTAP) al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano (9). Entre los objetivos de una PTAP se encuentran:

- Aprovechar al máximo los recursos disponibles como en este caso el agua.

- Lograr que el agua cumpla con ciertas características para que sea potable, entre ellas:
- Clara, transparente, cristalina.
- Libre de microorganismos patógenos
- Con un alto contenido de oxígeno

*i. Tipos de PTAP [11]*

Actualmente existen tres tipos de PTAP, que se diferencian según los procesos de tratamiento que se efectúan.

- PTAP de tecnología convencional: incluye los procesos de coagulación, floculación, decantación (o sedimentación) y filtración.
- PTAP de filtración directa: incluye los procesos de coagulación-decantación y filtración rápida, y se puede incluir el proceso de floculación.
- PTAP de filtración en múltiples etapas (FIME): incluye los procesos de filtración gruesa dinámica, filtración gruesa ascendente y filtración lenta en arena.

*j. Procesos de una PTAP convencional*

- **Coagulación:** En esta etapa el agua cruda entra a la planta de tratamiento y pasa por un mezclador estático en el cual se adiciona el coagulante. La adición de coagulante puede hacerse automáticamente por el uso de un controlador de coagulación o de manera proporcional al flujo de agua a tratar [12].
- **Floculación:** Luego de pasar por la etapa del coagulante se agrega un polímero para fortalecer los enlaces de los flóculos, esto para que formen unos de mayor tamaño. A este proceso se le da el nombre de etapa de floculación [5].
- **Sedimentación:** En esta etapa se agrupan las partículas juntas en los flóculos de un tamaño más grande. Esto incrementa la velocidad en que se asientan los sólidos suspendidos y permite el colocar los coloides [13].
- **Filtración:** En esta parte del proceso el agua clarificada pasa a un tanque de almacenamiento que sirve de alimentación para las bombas que inyectan el agua al filtro para eliminar partículas las partículas sólidas [10].
- **Desinfección:** Después de que el agua tratada pase por el filtro se adiciona el desinfectante de manera proporcional al caudal tratado.

*k. Fundamentos de medición.*

En un sistema cualquiera la exactitud del funcionamiento depende principalmente de la medición hecha sobre sus variables [14].



### ***l. Variables de proceso***

En los procesos que realizan las plantas de tratamiento de agua, al igual que en todos los procesos industriales, se controlan diferentes variables, y se realizan medidas correspondientes de los objetos de análisis. En las PTAP las variables más comunes que se encuentran en los procesos son:

- Presión: Es la variable más importante en los procesos, que debe ser medida y controlada [15]. Definida como fuerza por unidad de área que un fluido ejerce en sus inmediaciones. Puede medir esta fuerza al detectar la cantidad de deflexión en un diafragma situado en línea con el fluido [16].
- Caudal: En fluidos, el caudal se define como la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.
- Nivel: Es fundamental en el proceso, ya que con esta variable sirve para conocer medidas como el volumen, alturas, etc. O también puede servir para ser utilizada como una condición de operación

### ***m. Instrumentos de medición***

Para que un sistema sea eficiente, se deben tener en cuenta los instrumentos de medición, estos resultan de gran importancia en el control.

Un instrumento de medición es un dispositivo que tiene como entrada el valor de una variable y como salida algún medio para indicar al operador el valor medido. Para esto los componentes deben estar interconectados de manera que mantengan una relación funcional con los cambios de la variable [14].

Para el proceso de potabilización del agua, se realizan una “serie de correcciones y tratamientos que eliminen aquellas partículas o sustancias perjudiciales para el hombre” [17], para ello el agua debe estar libre de impurezas y contaminantes. Los tratamientos más utilizados son: el físico, químico y bacteriológico.

- El tratamiento físico consiste en la eliminación de la turbiedad y el color además de eliminar o reducir la intensidad de los olores.
- El tratamiento químico se lleva a cabo por tal de mejorar los caracteres químicos del agua y consiste en efectuar la decantación con una cantidad conveniente de calcio, por tal de reducir la dureza temporal o carbónica, seguida de un control final del PH. Para este tratamiento se muestra en la tabla 1 los químicos utilizados más comunes:

*Tabla 1. Químicos utilizados en la potabilización del agua*

NOMBRE DEL QUÍMICO	FUNCIÓN
Amonio	Sirve de indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales.

NOMBRE DEL QUÍMICO	FUNCIÓN
Carbón Activado	Una de las principales razones de la aplicación de carbón activo es la decoloración o eliminación de cloro libre de agua.
Cloro	Su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc.) que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las líneas de transmisión de agua.
Polímero	Eliminar sólidos
Sulfato de aluminio	Se utiliza para la clarificación del agua.

*Adaptado de: Barria, Antonio (2014), Químicos utilizados en la potabilización del agua y sus funciones. Disponible en: <https://es.slideshare.net/melvinantonioBarria/quimicos-utilizados-en-la-potabilizacion-del-agua-y-sus-funciones>*

Según la sociedad de aguas del Tucumán, el tratamiento bacteriológico se refiere casi exclusivamente a la desinfección con cloro, pudiéndose utilizar cloro puro, sales clorogenas o hipocloritos [18].

En las plantas de tratamiento de agua potable la instrumentación que suele tener son medidores de pH, HANNA Instruments, es un fabricante de Instrumentos de medida y Análisis, los cuales disponen de una gran gama de medidores de pH. Todos los pHmetros se suministran con un electrodo, disponiendo de una amplia variedad de electrodos según las diferentes aplicaciones de uso. Algunos de ellos se pueden observar en la figura 7:

Figura 7. PHmetros



Recuperado de: <http://www.hannacolombia.com/productos>.

Otro instrumento común en las PTAP son los Conductímetros que se usa para medir las sales del agua. HANNA Instruments ofrece este medidor para una amplia variedad de aplicaciones donde se necesita medir la conductividad (EC) de líquidos.

El turbidímetro es un instrumento que se usa con frecuencia en la purificación del agua y se utiliza para detectar la turbidez en líquidos y soluciones acuosas. La empresa PCE-INSTRUMENTS cuenta con

turbidímetros para agua (ver ilustración 8) que trabajan con el método infrarrojo o el método USEPA. Un líquido turbio tiene la propiedad de dispersar y reflejar la luz. La intensidad de la luz reflejada da información sobre la turbidez [19]. El turbidímetro muestra el valor en FTU (Formazine Turbidity Unit).

Figura 8. Turbidímetros



Recuperado de: [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/turbidimetro-kat\\_70147\\_1.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/turbidimetro-kat_70147_1.htm).

Al finalizar el proceso del tratamiento del agua, se realizan muestreos para verificar las condiciones con las que sale el agua, para esto se suelen utilizar tester, los más usados para este tipo de aplicaciones son: el kit color, kit color y kit oxígeno.

HANNA Instruments presenta un nuevo tester digital para realizar la medida de color del agua. El término color se usa normalmente para determinar el color "verdadero", es decir, el color del agua una vez extraída la turbidez. Y el término "aparente", que se obtiene sin filtrar la muestra original. Este nuevo Checker de Color del agua de HANNA HI 727 (ver figura 9), mide tanto el color verdadero como el aparente. Los resultados se miden directamente en la pantalla, sin que sea necesaria ninguna comparación visual para la determinación del color [20].

Figura 9. Tester Color



Recuperado de: <http://www.hannacolombia.com/productos>.

Hay muchos kits disponibles en el comercio para analizar el cloro en el agua, la prueba más común es el indicador de DPD (dietil-para-fenil-diamina) mediante un kit de comparación. Esta prueba es el método más rápido y sencillo para evaluar el cloro residual [21].

HANNA Instruments también cuenta con un kit portátil para prueba de oxígeno disuelto que puede determinar la concentración de oxígeno en el agua en forma rápida y fácil utilizando un método llamado Winkler modificado [17].

Figura 10. Kit Oxígeno



Recuperado de: <http://www.hannacolombia.com/productos>.

Debido a que las exigencias de la industria hoy en día crecen, las empresas buscan mejorar y optimizar los procesos de los servicios que ofrecen, en el caso de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), se ha buscado que los operadores no intervengan en su totalidad en los procesos del tratamiento, y se dediquen más a la parte del mantenimiento que del control del proceso. Un ejemplo de estas empresas que han optado por volver sus plantas completamente automáticas es La empresa uruguaya Seincó, donde desarrollan diseños, construcción, operación y optimización de sistemas de agua potable. Quienes han desarrollado proyectos con varias PTAPS automatizadas, como por ejemplo la PTAP – FFRP 100: Planta Potabilizadora para ANCAP Paysandú, Paysandú Uruguay. Se trata de una planta por flocó-floto-filtración, realizada con placas PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) y con accesorios en acero inoxidable. El suministro incluyó el kit de saturación y lavado, el kit de dosificación de productos químicos, el kit de dosificación de alcalinizante, elementos de interconexión y válvulas, medidor de turbiedad y el sistema de tratamiento de lodos. [22]

Figura 11 . PTAP – FFRP 100



Recuperado de: <http://www.seinco.com.uy/innovaportal/file/1268/1/1--presentacion-ptap-ffrp-v1.pdf>

Otra planta instalada por ellos fue la PTAP-FFRP 120 en São Paulo, Brasil. Con la diferencia de la anterior que esta es modular. Esta estación de Tratamiento de Agua fue instalada a partir de módulos con capacidad de 120 m<sup>3</sup>/h instalándose en una primera etapa 3 módulos, logrando una capacidad de producción de 360 m<sup>3</sup>/h. Dos años después, la incorporación de un 4º módulo permitió la ampliación a la capacidad de producción actual (480 m<sup>3</sup>/h) logrando abastecer a toda la localidad [22].

Figura 12. PTAP-FFRP 120



Recuperado de: <http://www.seinco.com.uy/innovaportal/file/1268/1/1--presentacion-ptap-ffrp-v1.pdf>

Aquagreen una empresa Colombia también cuenta con plantas de tratamiento de agua potable, totalmente automatizadas, que se están basados en procesos biológicos y/o fisicoquímicos comprobados, operados según el nivel de automatización electrónica requerido por el cliente y cumpliendo con la normatividad específica según el sector. Estas incluyen procesos y operaciones unitarias de: Desarenado, Oxidación de metales pesados y sustancias de interés sanitario, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración fina (lechos mixtos), Desinfección (Ozonización – Ultravioleta – Hipoclorito sódico) [23].

Figura 13. PTAP de Aquagreen



Recuperado de: <http://aquagreen.com.co/index.php/projects/26-category-two/19-ptap>.

Un equipo de investigadores alemanes ha desarrollado sofisticados sensores capaces de tomar medidas para ayudar a los operadores de plantas a suministrar oxígeno en forma más eficiente a los microbios utilizados en el tratamiento biológico. Esta información les ayudará a acelerar el tratamiento con el consiguiente ahorro de energía en el proceso. [23]

## 1.5 MARCO NORMATIVO

El proyecto se rige por las siguientes normas:

- El DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- La RESOLUCION 2115 DE 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

## 1.6 MARCO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos propuestos se plantea una metodología preliminar la cual consta de 6 fases de trabajo que son:

Figura 14. Metodología



Fuente: Autores

## 2. CARACTERIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE LA PTAP

El agua, como naturalmente no puede ser usada para el empleo de los seres humanos, ya que se encuentra con varias sustancias que se acumulan ya sea en el contacto con el aire, suelo y demás factores que obligan a que se realice un previo tratamiento debido a que no cumplen con los parámetros y características necesarios para que pueda ser suministrada y utilizada por las personas. Para el caso específico de una PTAP, la caracterización del agua debe realizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita llevar a cabo durante todo su paso por la planta de tratamiento y los parámetros principales.

Los parámetros del agua se clasifican en cuatro grupos: Físicos, Químicos, Biológicos, y Radiológicos, debido a que la aplicación de este trabajo va enfocada al consumo doméstico en los campamentos de pozos petroleros, en el presente capítulo se hace un énfasis principalmente con las características fisicoquímicas del agua, su clasificación y definición de cada una de ellas, entre estas se nombran las siguientes: temperatura, PH, conductividad, turbiedad, cloro libre, entre otras.

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

Las principales características fisicoquímicas del agua se clasifican como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 2. Clasificación de las características del agua*

FÍSICAS	QUÍMICAS
Turbidez	pH
Color	Cloro
Conductividad	Oxígeno disuelto
Temperatura	

*Fuente: Autores*

Las características físico-químicas tienen gran importancia en el consumo doméstico ya que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano (Decreto 1575 / 05, Res 2215/07).

Dentro del desarrollo de este trabajo las características físico-químicas juegan un papel relevante debido a que son el punto de referencia para definir una óptima calidad del agua. Por ello, es necesario realizar una medición precisa de estas.

A continuación, se presentan las respectivas definiciones para un mejor entendimiento:



**a. Turbidez**

La presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas (de dimensiones variables desde 10 nm hasta 0,1 mm) se pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas [24].

*La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación* (ESPIGARES GARCÍA y FERNÁNDEZCREHUET, 1999) [25].

**b. Color**

El color es una propiedad física que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua. La coloración del agua indica la posible presencia de óxidos metálicos, como puede ser el óxido de hierro, el cual da al agua un color rojizo [26].

**c. Conductividad**

Es producida por los electrolitos disueltos en un agua y en ella influyen: terreno drenado, composición mineralógica, tiempo de contacto, gases disueltos, pH y todo lo que afecte a la solubilidad de sales (24).

La importancia de medir la conductividad en el agua es debido a que se puede determinar los Sólidos Disueltos Totales (TDS) que permiten evaluar y dictaminar riesgos para diferentes tipos y usos de agua. Una pobre conductividad indica que el agua es pura y que por lo tanto tiene alta resistencia al flujo eléctrico [27].

**d. Temperatura**

Es un parámetro físico de gran importancia en la calidad del agua, debido a que influye en los procesos de floculación, sedimentación y filtración. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión [28].

**e. pH**

Es una de las medidas más importantes en aguas naturales y residuales el valor del pH define si las condiciones de esta son ácidas o básicas. Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua, cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones hidrogeno y mayor es la acidez. Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones hidrogeno es baja y se dice que el agua es alcalina. Cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene

características ácidas ni alcalinas. En las aguas naturales y residuales el valor del pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los ecosistemas [26].

Figura 15. Indicador de pH



Recuperado de: FONSECA, Sebastián. (2015). Indicador de Ph. Disponible en: [indicadorphquimicadecimo.blogspot.com.co](http://indicadorphquimicadecimo.blogspot.com.co)

#### f. Cloro libre

Según la definición presentada en la resolución 2115 del 2007, la medida del cloro residual libre, es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito.

#### g. Oxígeno disuelto

El oxígeno presente en el agua procede de la disolución del oxígeno atmosférico y de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos. Este oxígeno es consumido por organismos heterótrofos y autótrofos produciéndose un balance dinámico en la concentración de oxígeno en el agua [29].

### 2.1.1 Parámetros de calidad de agua para consumo humano

En la tabla 3, se presenta la clasificación de los niveles de calidad final del agua, que se debe cumplir según las normas de la calidad del agua establecidas en el Decreto 1575 de 2007.

Tabla 3. Niveles de calidad de salida del agua

PARÁMETROS	INTERVALOS DE REFERENCIA
PH (Unidades)	6,5 – 9
Turbiedad (NTU)	<2 unid

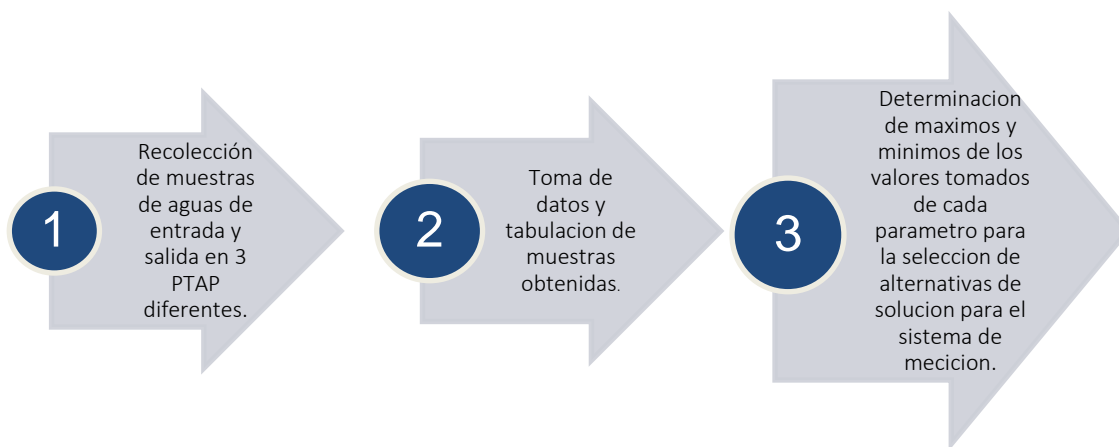
PARÁMETROS	INTERVALOS DE REFERENCIA
Color (UPC)	<15
Oxígeno Disuelto	>2
Cloro libre (mg/L)	0,3 – 2
Temperatura (°C)	+/- 3 °C la temp C. R
Conductividad (µs / cm)	<=1000

*Fuente: Decreto 1575 / 05, Res 2215/07*

La calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento (Decreto 1575 de 2007).

### 2.1.2 Metodología de caracterización del agua en fuente inicial.

Figura 16. Metodología de caracterización del agua



Fuente: Autores

De acuerdo a la necesidad de caracterizar los parámetros del agua debido a la importancia que tienen, se realiza la medición de la fuente de entrada y de salida de las PTAP's, esto para determinar el rango de los sensores del sistema automatizado de acuerdo a los mínimos y máximos más un 30% de margen de medición.

Para obtener los parámetros del agua de entrada se realizó un proceso de recolección de muestras, donde fue necesario escoger un tipo de muestreo que fuera acorde con lo requerido, en este caso se realizó un tipo de muestreo simple, que consiste en las muestras que son tomadas en un tiempo y lugar determinado para su análisis rápido, recomendable para los parámetros mencionados anteriormente.

Las mediciones de los parámetros fueron realizadas en varias PTAP'S, esto para obtener un panorama general de caracterización de aguas de entrada y salida además de las necesidades de medición. A continuación, se describen las Plantas de tratamiento de agua potable que se utilizaron como referencia para las mediciones.

#### *a. PTAP Tilo.*

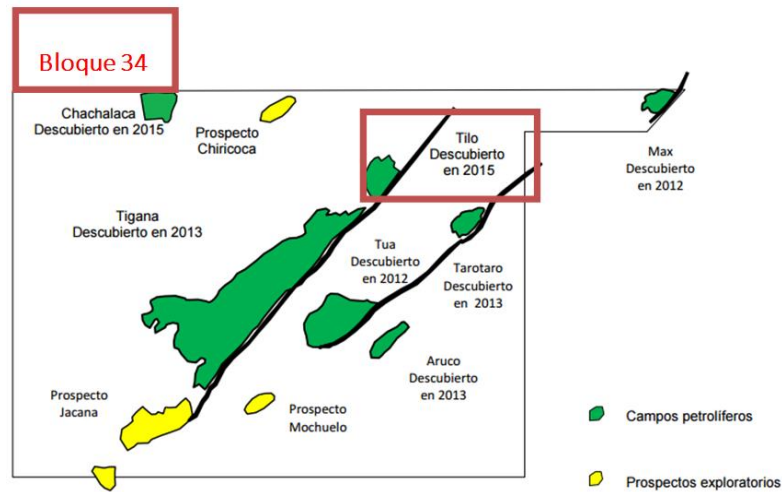
La planta de tratamiento de Agua Potable Tilo (PTAP Tilo), está localizada en el bloque de perforación LLANOS 34 (Figura 17), en el campamento de petróleo llamado Tilodiran 5 (Figura 18), que se encuentra ubicado en el poblado colombiano de Tilodiran ubicado en el departamento de Casanare y que constituye un corregimiento del municipio de Yopal (Figura 19).

Figura 17. Localización PTAP Tilo



Recuperado de: [https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1464591/000095010315001194/dp53432\\_6k-gprk.htm](https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1464591/000095010315001194/dp53432_6k-gprk.htm)

Figura 18. Bloque LLANOS 34- Tilo



Recuperado de: [http://www.geo-park.com/assets/files/news/Chachalaca\\_Press\\_Release\\_SPA.pdf](http://www.geo-park.com/assets/files/news/Chachalaca_Press_Release_SPA.pdf)

Figura 19. Ubicación geográfica Tilodiran



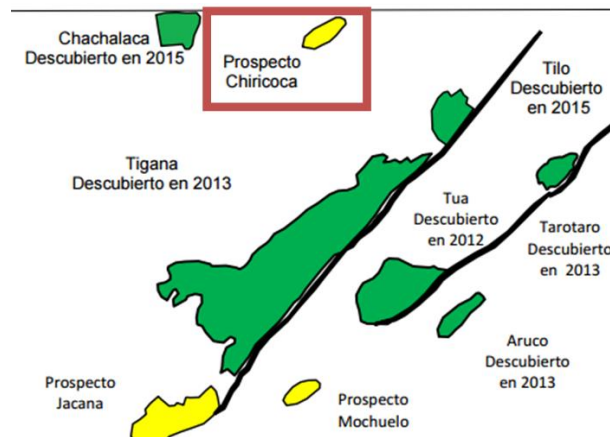
Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tilodir%C3%A1n>

El afluente que ingresa a la planta por medio de un tanque donde se almacena, proviene de pozo profundo.

#### **b. PTAP Tauramena.**

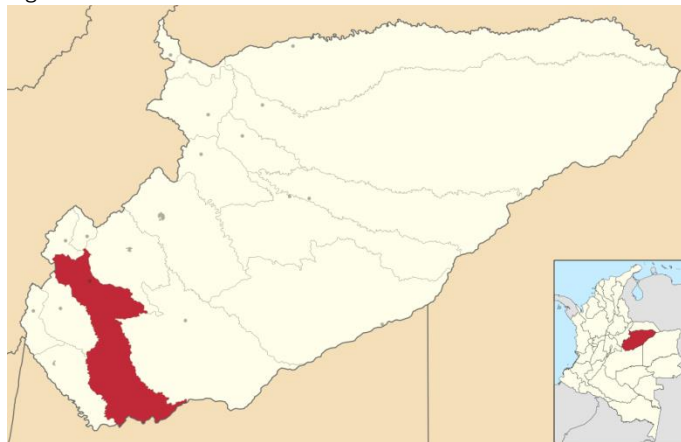
La planta de tratamiento de Agua Potable Tauramena (PTAP Tauramena), está localizada en el bloque de perforación LLANOS 34 (Figura 16) en el campamento de petróleo llamado Chiricoca (Figura 20), ubicado en el municipio de Tauramena en la zona sur-occidental del departamento de Casanare (Figura 21).

Figura 20. Bloque LLANOS 34, Chiricoca



Recuperado de: [http://www.geo-park.com/assets/files/news/Chachalaca\\_Press\\_Release\\_SPA.pdf](http://www.geo-park.com/assets/files/news/Chachalaca_Press_Release_SPA.pdf)

Figura 21. Ubicación Geográfica de Tauramena



Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tauramena#/media/File:Colombia\\_-\\_Casanare\\_-\\_Tauramena.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Tauramena#/media/File:Colombia_-_Casanare_-_Tauramena.svg)

El afluente que ingresa a la planta por medio de un tanque donde se almacena, proviene del acueducto del municipio.

### c. PTAP Barrancabermeja.

La planta de tratamiento de Agua Potable Barrancabermeja (PTAP Barrancabermeja), está localizada en el campamento de petróleo llamado Aguas Blancas (Figura 22), ubicado en el departamento de Santander en el en el corregimiento campo 23 de Barrancabermeja.

Figura 22. Ubicación Geográfica Campo Aguas Blancas.



Recuperado de: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines%202015/Boletines%202015/Ecopetrol-Parex-suscriben-acuerdo-desarrollo-campo-Aguas-Blancas>.

El afluente que ingresa a la planta por medio de un tanque donde se almacena, proviene del acueducto del municipio.

#### 2.1.2.1. Puntos de medición en las PTAP's

En la Figura 23 mostrada a continuación se muestran los puntos donde se realizó la toma de muestras.

Figura 23. Puntos de medición



##### Toma de muestras en agua cruda, Fuente inicial

El punto de la toma de muestra del agua de entrada se obtiene en el tanque de almacenamiento de aguas blancas no tratadas, que a su vez suministra el agua a la planta de tratamiento de agua potable.



##### Toma de muestras del agua tratada, Fuente final

Las muestras de los parámetros de salida se obtienen en las válvulas de salida de planta.





### 2.1.2.2. Instrumentos usados para la caracterización de variables de flujos

Los equipos y elementos utilizados para la toma de muestras y visualización de los datos fueron suministrados por la empresa SORTE LTDA, estos equipos son manuales y portátiles por ende no sirven para implementarse en el sistema de automatización. En la tabla 4 se observa la instrumentación utilizada.

Tabla 4. Instrumentos de medición

TURBIDIMETRO- HANNA	KIT DE OXIGENO DISUELTO-CHEMETS	CONDUCTIMETRO- HANNA
 <p>Rango de precisión:  <math>&lt;0,10 \text{ NTU} \pm 0.3 \text{ NTU}</math></p>		 <p>Rango de precisión: <math>1431 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 2\% \text{ET a } 25^\circ\text{C}</math></p>
PHMETRO- HANNA	TEST KIT DE CLORO-HACH	
 <p>Rango de precisión:  <math>\text{pH } 4.01 \pm 0.01 \text{ a } 25^\circ\text{C}</math>  <math>\text{pH } 7.01 \pm 0.01 \text{ a } 25^\circ\text{C}</math></p>		

Los procedimientos que se realizaron con estos equipos fueron guiados por medio de sus respectivos manuales y del operador de plantas a cargo.



### 2.1.3 Caracterización de flujos de entrada

Se realizó la toma de muestras tanto en la entrada como en la salida de planta, los valores obtenidos que se muestran en las tablas de la 5 a la 7, corresponden a los parámetros del agua de entrada, y de la 8 a la 10 las mediciones de los parámetros de salida.

#### a. PTAP 1 Tilo

Durante el tiempo de muestreo de la PTAP Tilo, se obtuvieron 6 muestras de cada parámetro, con una frecuencia de muestro diaria y de diferente hora. En la tabla 5 se muestra la tabulación de los datos obtenidos en las muestras del tanque de entrada de la PTAP.

*Tabla 5. Muestras Parámetros de entrada PTAP 1*

PARAMETROS	MUESTRA1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
Hora:	17:00	16:30	16:30	16:30	17:00	16:30
Fecha:	30/09/16	01/10/16	02/10/16	03/09/16	04/10/16	05/10/16
PH (Unidades)	6.4	6.4	6.2	6.5	6.05	6,3
OD (mg/L)	5	5	4.73	5	5	5
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	108	105	102	87	107	118
COLOR (UPC)	30	30	32	37	47	35
TURBIEDAD (NTU)	104	104	98	43	105	94
COLOR LIBRE (mg/L)	0	0	0.4	0	0	0
TEMPERATURA (°C)	34	30,4	27	29,7	26,4	31,4
CONSUMO (M³)	10	12	12,3	12	19	16

#### b. PTAP 2 Tauramena

Al igual que en la PTAP Tilo, se obtuvieron 6 muestras de cada parámetro, con una frecuencia de muestro diaria y de diferente hora. En la tabla 6 se muestra la tabulación de los datos obtenidos en las muestras del tanque de entrada de la PTAP.

Tabla 6. Muestras Parámetros de entrada PTAP 2

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
Hora:	17:00	17:30	17:00	17:00	17:00	16:30
Fecha:	08/11/16	26/09/16	27/09/16	28/09/16	29/09/16	30/09/16
PH (Unidades)	2,9	7,4	6	7,3	7,5	7,2
OD (mg/L)	6	6	6	6	6	6
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	463	202	113	215	162	27
COLOR (UPC)	5	5	5	5	5	5
TURBIEDAD (NTU)	1,05	1,94	1,91	1,63	1,13	1,5
COLOR LIBRE (mg/L)	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
TEMPERATURA (°C)	26	32	29,7	26,3	30,7	32,6
CONSUMO (M³)	12	8	11	4	7	10

c. PTAP 3 Barrancabermeja

Se obtuvieron 7 muestras de cada parámetro, con una frecuencia de muestreo diaria y de diferente hora. En la tabla 7 se muestra la tabulación de los datos obtenidos en las muestras del tanque de entrada de la PTAP.

Tabla 7. Muestras Parámetros de entrada PTAP 3

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
Hora:	10:00	11:00	11:30	12:00	11:00	11:00
Fecha:	09/11/16	08/11/16	07/11/16	06/11/16	05/11/16	04/11/16
PH (Unidades)	6.3	6.5	6.7	6.4	6.3	6.3
OD (mg/L)	7.5	6.9	4	4.1	7.0	6.9
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	93	83	121	67	62	62
COLOR (UPC)	5	6	1.7	3	13	5
TURBIEDAD (NTU)	2.3	2.96	2.4	2.7	2.3	2.12

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
COLOR LIBRE (mg/L)	0.8	0.7	0.8	0.98	0.13	0.9
TEMPERATURA (°C)	31.2	29.9	27.1	27.1	29.2	31.0
CONSUMO (M³)	7	9	9	9	9	12

#### 2.1.4 Caracterización de flujos de salida

##### a. PTAP Tilo

En la tabla 8 se muestran los datos obtenidos de las 6 muestras de cada parámetro, tomadas en las válvulas de salida de la PTAP Tilo realizadas en diferentes días y horas.

Tabla 8. Muestras de parámetros de salida PTAP 1

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
Hora:	17:00	16:30	16:30	16:30	17:00	16:30
Fecha:	9/09/16	12/09/16	16/09/16	24/09/16	27/09/16	28/09/16
PH (Unidades)	8.4	6,4	6,8	6.5	6.85	6,3
OD (mg/L)		5	4.7	5	5	5
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	241	105	2.32	57	107	118
COLOR (UPC)	4	30	7.1	37	57	35
TURBIEDAD (NTU)	1.29	104	1.3	43	145	104
COLOR LIBRE (mg/L)	0.9	0	0.9	0	0	0
TEMPERATURA (°C)	34	30,4	27	29,7	26,4	31,4
CONSUMO (M³)	10	12	54,3	12	19	16

##### b. PTAP Tauramena

En la tabla 9 se muestran los datos obtenidos de las 6 muestras de cada parámetro, tomadas en las válvulas de salida de la PTAP Tauramena realizadas en diferentes días y horas.

Tabla 9. Muestras de parámetros de salida PTAP 2

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
Hora:	17:00	17:30	17:00	17:00	17:00	16:30
Fecha:	08/11/16	26/09/16	27/09/16	28/09/16	29/09/16	30/09/16
PH (Unidades)	6.9	7,4	8.0	7.3	7.5	7.2
OD (mg/L)	6	6	6	6	6	6
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	463	202	113	215	162	27
COLOR (UPC)	5	5	5	5	5	5
TURBIEDAD (NTU)	1.35	1.84	1.91	1.63	1.13	1.5
COLOR LIBRE (mg/L)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
TEMPERATURA (°C)	28	34,2	29.7	26,3	30.7	32,6
CONSUMO (M³)	12	8	11	4	7	10

c. PTAP Barrancabermeja

En la tabla 10 se muestran los datos obtenidos de las 6 muestras de cada parámetro, tomadas en las válvulas de salida de la PTAP Barrancabermeja realizadas en diferentes días.

Tabla 10. Parámetros de salida PTAP 3

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
Hora:	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Fecha:	09/11/16	08/11/16	07/11/16	06/11/16	05/11/16	04/11/16
PH (Unidades)	7.0	7.0	7.4	7.2	6.9	7.0
OD (mg/L)	7.5	6.9	4	4.1	7.0	6.9
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	93	83	121	67	62	62
COLOR (UPC)	5	6	1.7	3	13	5
TURBIEDAD (NTU)	1.16	1.96	0.7	0.7	1.7	1.12
COLOR LIBRE (mg/L)	0.8	0.7	0.8	29.2	29.2	0.9

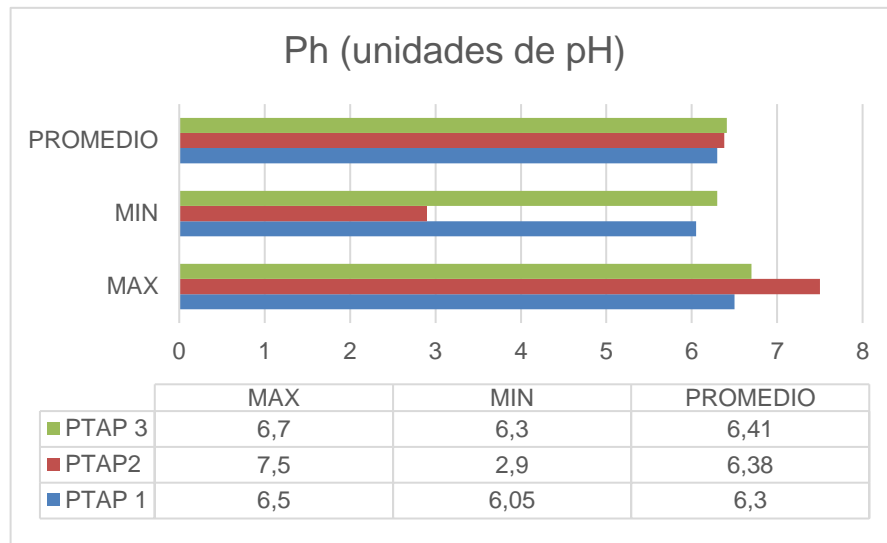
PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
TEMPERATURA (°C)	31.2	29.9	27.1	27.1	29.2	31.0
CONSUMO (M³)	7	9	9	9	9	12

## 2.1.5 Análisis de mediciones de caracterización de flujos de entrada y salida

### a. Flujos de entrada

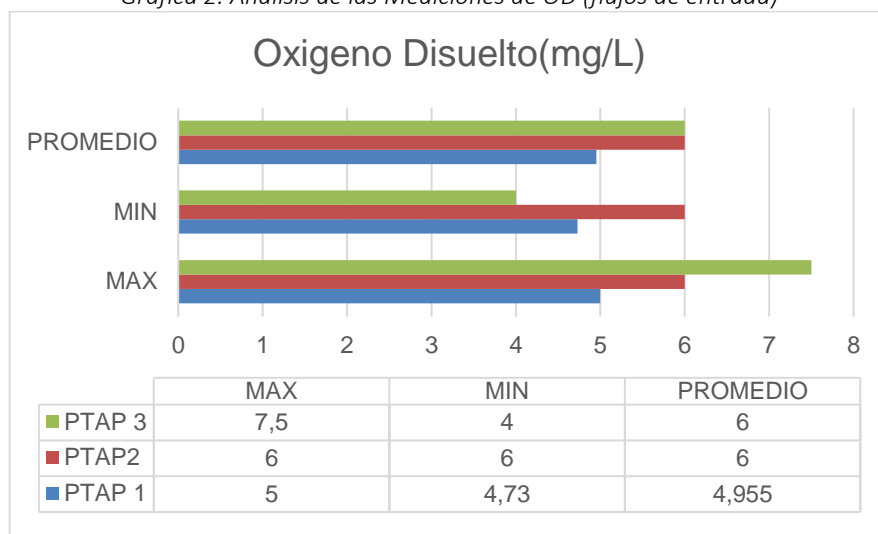
En las gráficas de la 1 a la 7 se presentan los datos obtenidos de las muestras del agua de entrada en cada PTAP, donde se obtuvieron las siguientes variables estadísticas: Promedio, Máximos y Mínimos.

Grafica 1. Análisis de las Mediciones de pH (flujos de entrada)



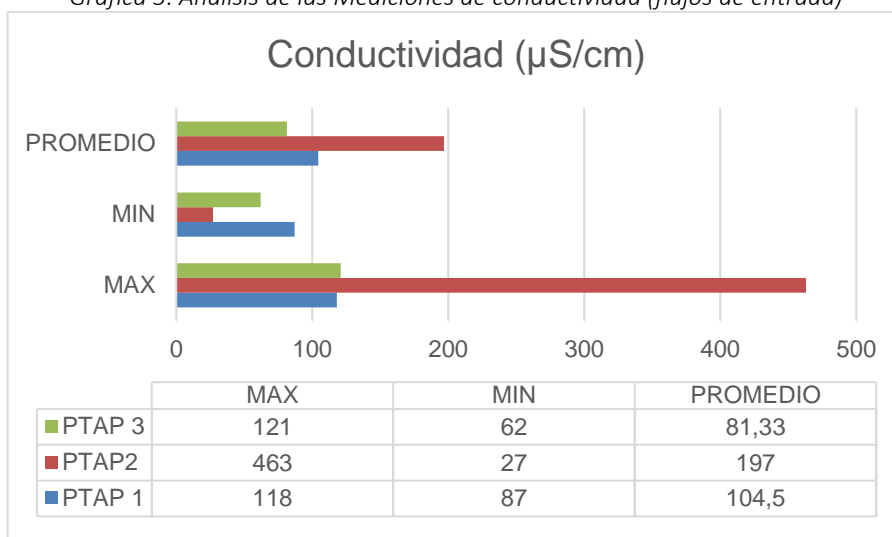
En la gráfica 1 se observa el promedio de las 3 PTAP donde se evidencia que los datos no tienen una desviación significativa entre ellos, sin embargo, los datos obtenidos están por debajo del límite normativo establecidos en el Decreto 1575 de 2007, por lo cual requiere de un tratamiento para cumplir con los requisitos de la norma. Se establece como máximo estadístico de 7.5 entre las 3 PTAP's; en los puntos mínimos se muestra que en la PTAP Tauramena hay una diferencia significativa con respecto a las otras 2 con un mínimo de 2.9 en unidades de pH, muy por debajo de los límites normativos.

Grafica 2. Análisis de las Mediciones de OD (flujos de entrada)



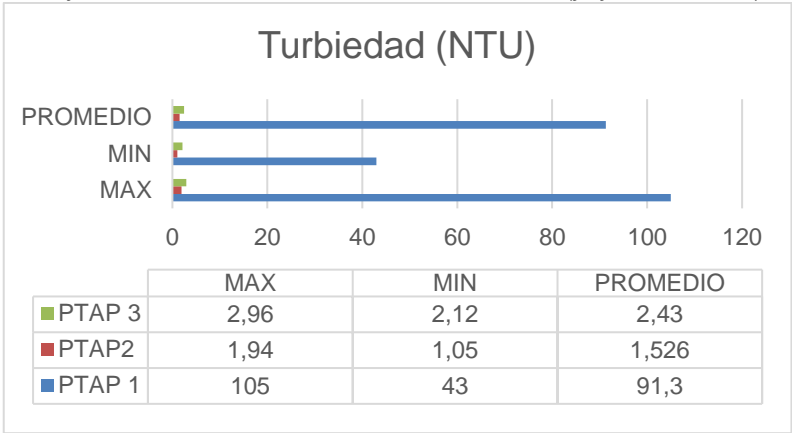
En la gráfica 2, se presentan los resultados obtenidos de las muestras del parámetro de oxígeno disuelto donde se observa que la PTAP 1 presenta un promedio de datos menor a diferencia de la 2 y 3, que mantienen un promedio igual. Con respecto a los límites normativos del Decreto 1575 de 2007, se observa que se encuentran por encima de 2 lo que significa que cumple con los requisitos. Se establece como máximo estadístico 7.5 (mg/L) y un mínimo de 4 (mg/L) obtenidos de la PTAP 3.

Grafica 3. Análisis de las Mediciones de conductividad (flujos de entrada)



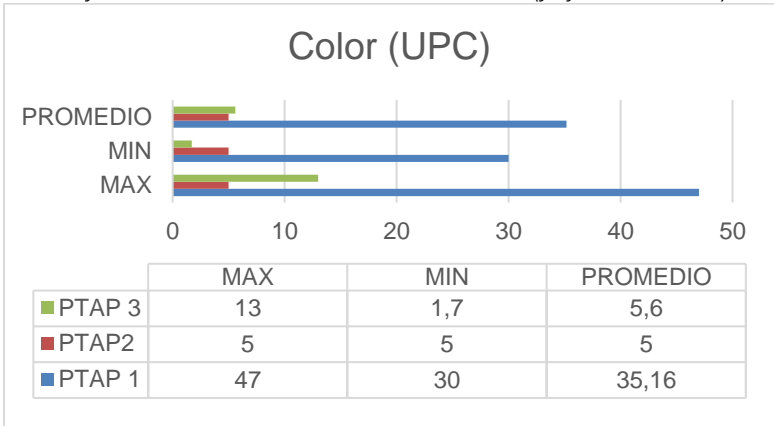
En la gráfica 3, se presentan los datos obtenidos de las muestras del parámetro de conductividad en el agua, donde se observa que el promedio varía significativamente en las 3 PTAP's, sin embargo, el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm, lo que significa que son aceptables. Se establece como máximo estadístico de 463  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un mínimo de 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ambos obtenidos de la PTAP 2.

Grafica 4. Análisis de las Mediciones de Turbiedad (flujos de entrada)



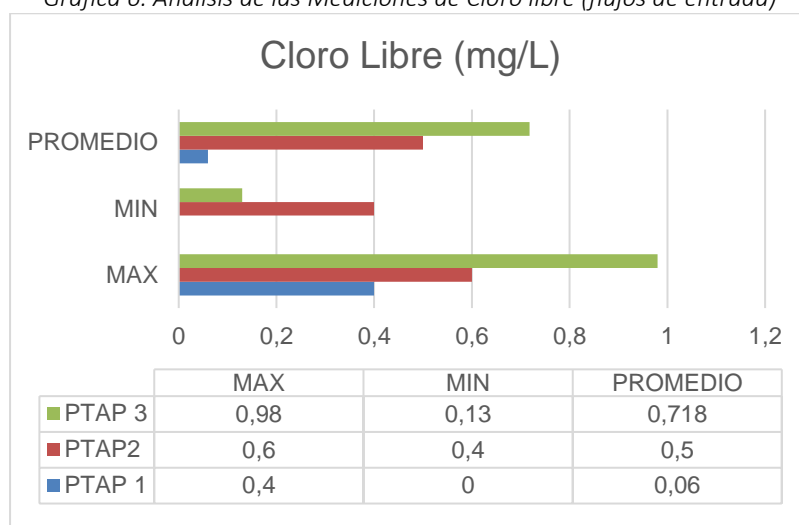
En la gráfica 4, se presentan los datos obtenidos de las muestras del parámetro de turbiedad en el agua, donde se observa que el promedio varía significativamente en la PTAP 1, donde se evidencia valores muy altos, además se puede observar que la turbiedad en agua de pozo profundo fuente de la PTAP 1 se presenta en mayor cantidad que el de agua de fuente de la PTAP 2 Y 3. Los datos obtenidos sobre pasan los 2(NTU) límite normativo establecido por lo cual requiere de un tratamiento para cumplir con los requisitos de la norma. Se establece como máximo estadístico de 105 (NTU) obtenido de la PTAP 1 y un mínimo de 1.05 (NTU) obtenido de la PTAP 2.

Grafica 5. Análisis de las Mediciones de Color (flujos de entrada)



En la gráfica 5, se presentan los datos obtenidos de las muestras del parámetro de Color, donde se observa que el promedio varía significativamente en la PTAP 1, donde se evidencia valores muy altos en comparación con la PTAP 2 y 3 debido a que el agua de fuente es de pozo profundo, se observa que estos valores sobre pasan el límite normativo establecido  $<15$  por lo cual requiere de un tratamiento para cumplir con los requisitos de la norma. En cuanto a los valores obtenidos en la PTAP 2 Y 3 se encuentran en el límite permitido ya que estas aguas vienen del acueducto de sus respectivos municipios. Se establece como máximo estadístico de 47 (UPC) obtenido de la PTAP 1 y un mínimo de 1.7 (UPC) obtenido de la PTAP 3.

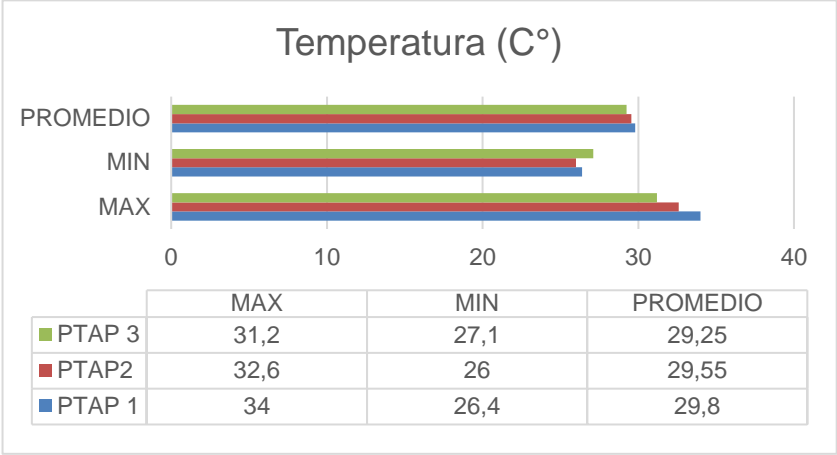
Grafica 6. Análisis de las Mediciones de Cloro libre (flujos de entrada)



En la gráfica 6, se presentan los datos obtenidos de las muestras del parámetro de Cloro libre, donde se evidencia que el promedio no varía significativamente en la PTAP 2 y 3, mientras que en la PTAP 1 el valor es demasiado bajo según los límites normativos establecido, aquí también se evidencia la diferencia en algunos parámetros por el tipo de agua de la fuente de las PTAP's. Se establece como máximo estadístico de 0.98 (mg/L) dato obtenido de la PTAP 3 y un mínimo de 0 (mg/L) obtenido de la PTAP 1.



Grafica 7. Análisis de las Mediciones de Temperatura (flujos de entrada)

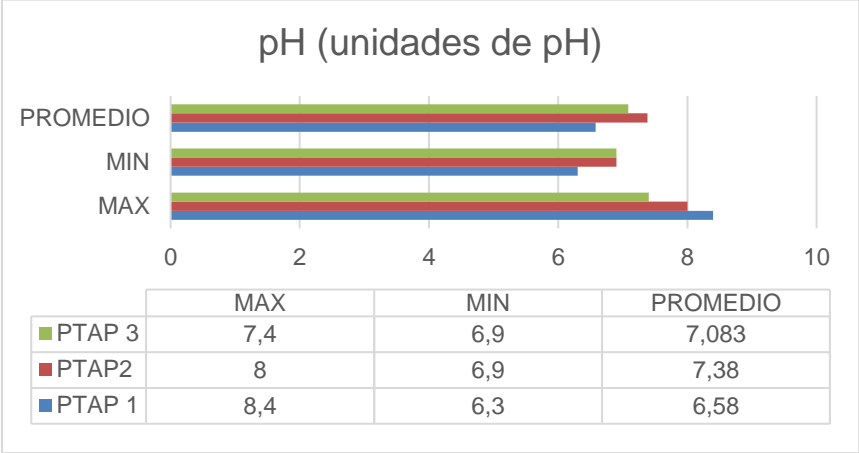


En la gráfica 7, se presentan los datos obtenidos de las muestras del parámetro de Temperatura del agua inicial, donde se evidencia que el promedio no varía significativamente en las 3 PTAP's. Se establece como máximo estadístico de 32° C dato obtenido de la PTAP 3 y un mínimo de 26°C obtenido de la PTAP 2.

**b. Flujos de salida**

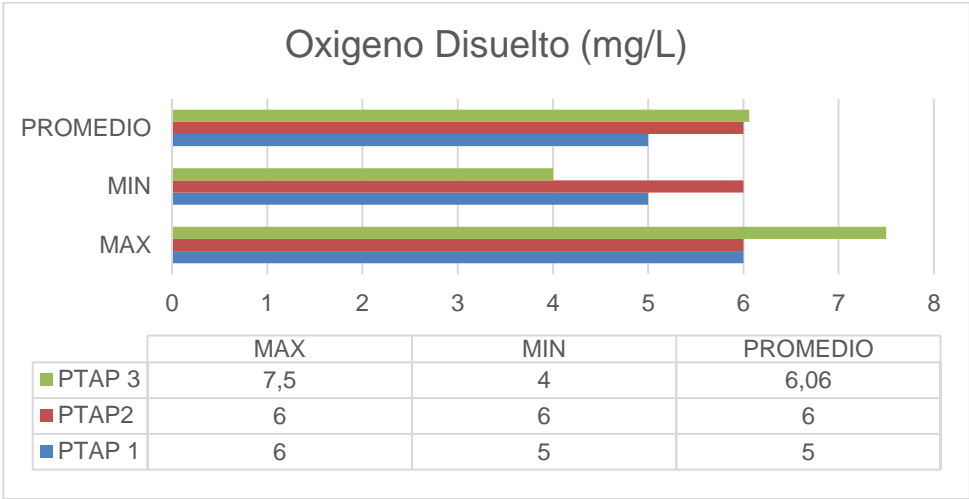
Al igual que para que en los flujos de entrada, se presentan los datos obtenidos de las muestras de cada parámetro en la salida de cada PTAP, donde se obtuvieron las siguientes variables estadísticas: Promedio, Máximos y Mínimos

Grafica 8. Análisis de las Mediciones de pH (flujos de salida)



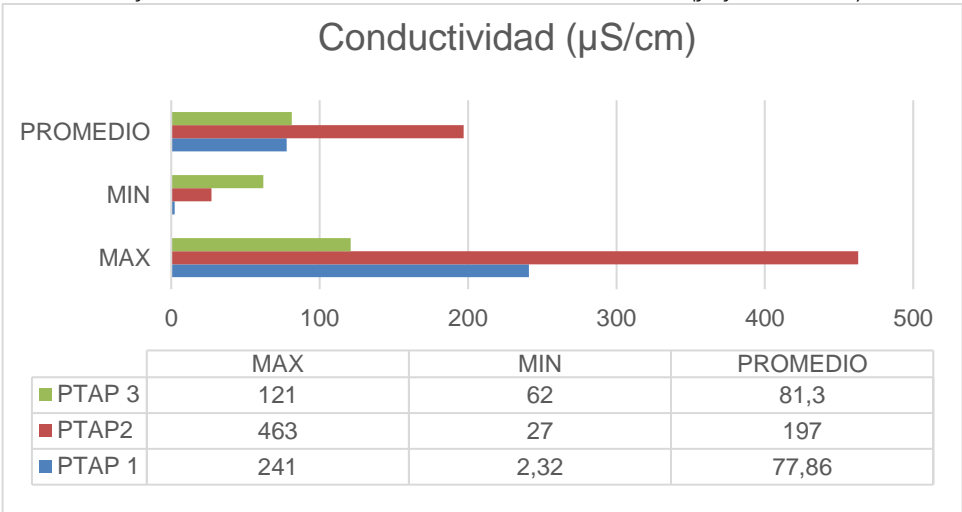
En la gráfica 8 se observa el promedio de las 3 PTAP donde se evidencia que los datos se encuentran entre 6,5 y 9 (Unidades de pH) límites permitidos en el Decreto 1575 de 2007. Lo que quiere decir que es apta para uso doméstico y consumo humano. Se establece como máximo estadístico de 8.4 (Unidades de pH) dato obtenido en la PTAP 1 y con un mínimo de 6.3(Unidades de pH) obtenido de la PTAP 1, lo que significa que el agua requiere ser tratada nuevamente por no cumplir con los limites normativos.

Grafica 9. Análisis de las Mediciones de OD (flujos de salida)



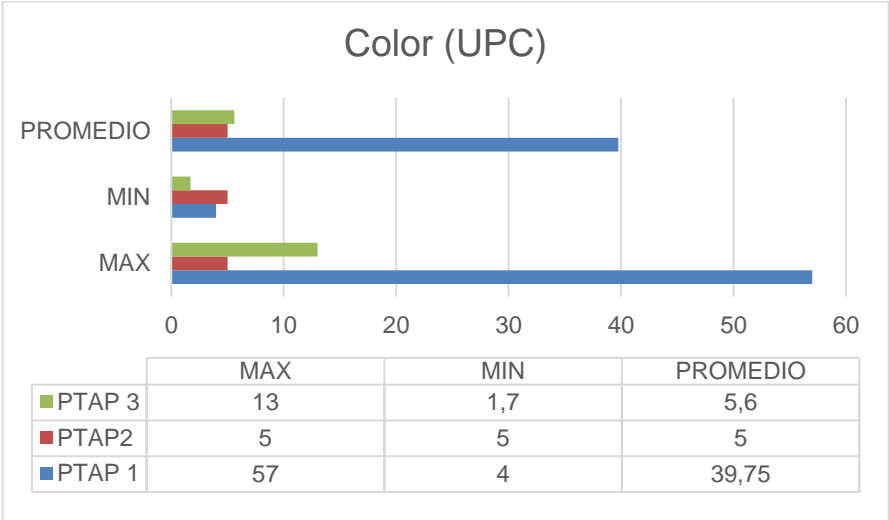
En la gráfica 9 se observa los datos obtenidos del parámetro de Oxígeno disuelto en la salida de las 3 PTAP's. Donde se evidencia que los valores obtenidos se encuentran en los límites permitidos para el consumo. Se establece como máximo estadístico de 7.5 (mg/L) un mínimo de 4 (mg/L).

Grafica 10. Análisis de las Mediciones de conductividad (flujos de salida)



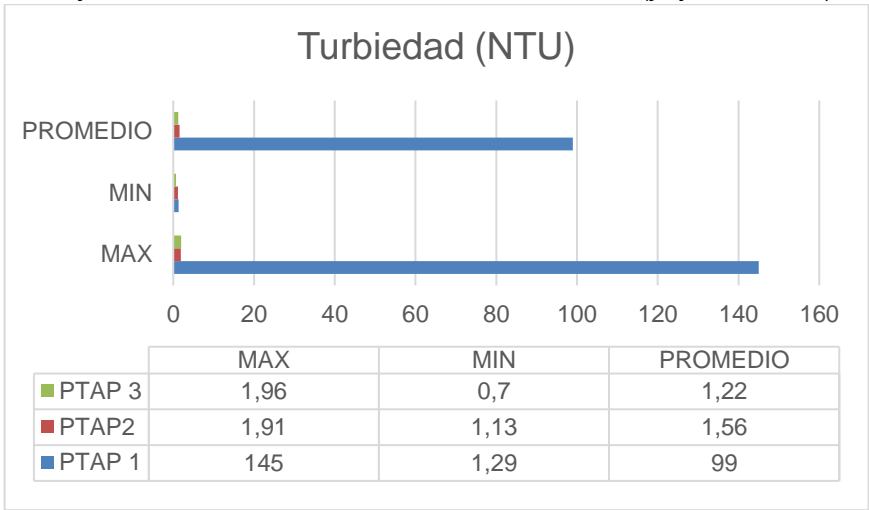
En la gráfica 10 se muestran los datos obtenidos del parámetro de Conductividad del agua en la salida de las 3 PTAP's. Donde se evidencia que los promedios de los datos se encuentran en los límites permitidos para el consumo. Se establece como máximo estadístico de 463 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y un mínimo de 27 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Grafica 11. Análisis de las Mediciones de Color (flujos de salida)



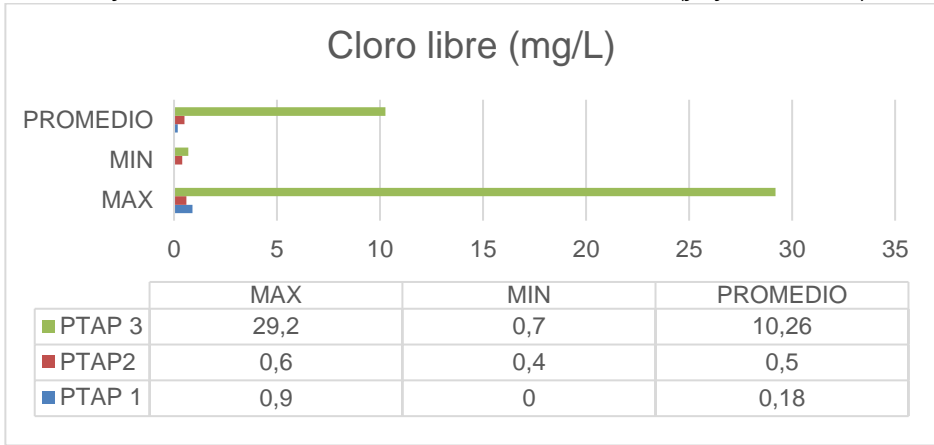
En la gráfica 11 se muestran los datos obtenidos del parámetro de Color en la salida de las 3 PTAP's. Donde se evidencia que en la PTAP 1 los datos no se encuentran en los límites permitidos para el consumo, por lo que se debe volver a realizar el tratamiento. Se establece como máximo estadístico de 57 (UPC) y un mínimo de 4 (UPC).

Grafica 12. Análisis de las Mediciones de Turbiedad (flujos de salida)



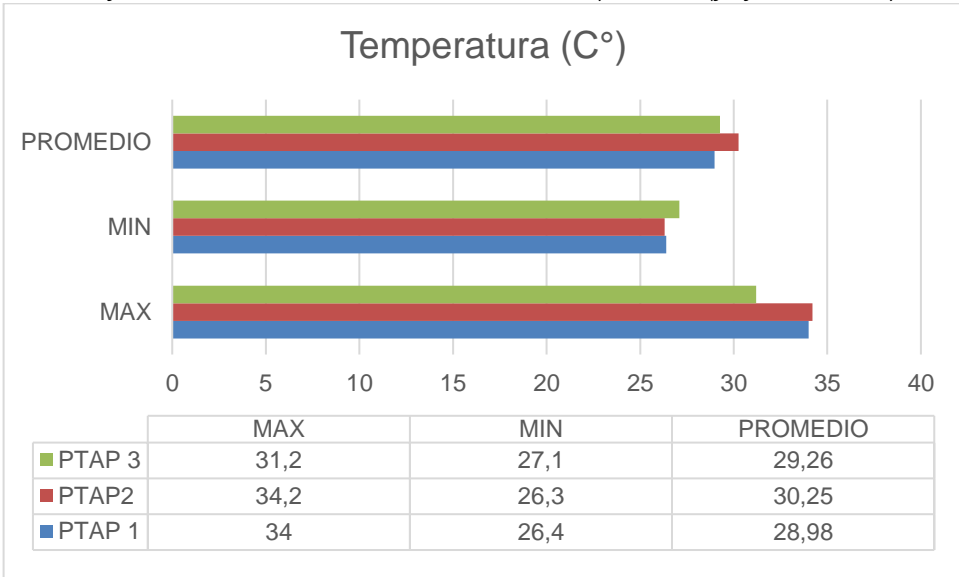
En la gráfica 12 se muestran los datos obtenidos del parámetro de Turbiedad en la salida de las 3 PTAP's. Donde se evidencia que en la PTAP 1 los datos no se encuentran en los límites permitidos para el consumo, por lo que se debe volver a realizar el tratamiento. Se establece como máximo estadístico de 145 (UPC) y un mínimo de 0.7 (UPC).

Grafica 13. Análisis de las Mediciones de Cloro libre (flujos de salida)



En la gráfica 13 se muestran los datos obtenidos del parámetro de Cloro libre en la salida de las 3 PTAP's. Donde se evidencia que hay datos que no se encuentran en los límites permitidos para el consumo, a excepción de la PTAP 2. Se establece como máximo estadístico de 145 (UPC) y un mínimo de 0.7 (UPC).

Grafica 14. Análisis de las Mediciones de Temperatura (flujos de salida)



En la gráfica 14 se muestran los datos obtenidos del parámetro de temperatura del agua en la salida de las 3 PTAP's. Donde se evidencia una temperatura estable en las 3 PTAP's, y con valores permitidos en los límites normativos.

## 2.2 PTAP DE REFERENCIA PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Es importante establecer los valores más críticos obtenidos en la entrada de cada PTAP, tomando los valores máximos y mínimos más alejados de los rangos normativos establecidos, con el fin de establecer la PTAP de referencia para la automatización.

Tabla 11. PTAP de referencia

PARAMETROS	Mínimo	PTAP	Máximo	PTAP
PH (Unidades)	2,9	2	7,5	2
OD (mg/L)	4	3	7,5	3
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	27	2	463	2
COLOR (UPC)	1,7	3	47	1
TURBIEDAD (NTU)	1,05	2	105	1
COLOR LIBRE (mg/L)	0	1	0,98	1
TEMPERATURA (°C)	26	2	34	1
CONSUMO (M³)	4	2	19	1

Se asume un margen de seguridad de un 30% por encima y por debajo para cada valor, esto para tener un rango de error mínimo con respecto a la medida que tome el sensor.

Tabla 12. PTAP de referencia con margen de seguridad

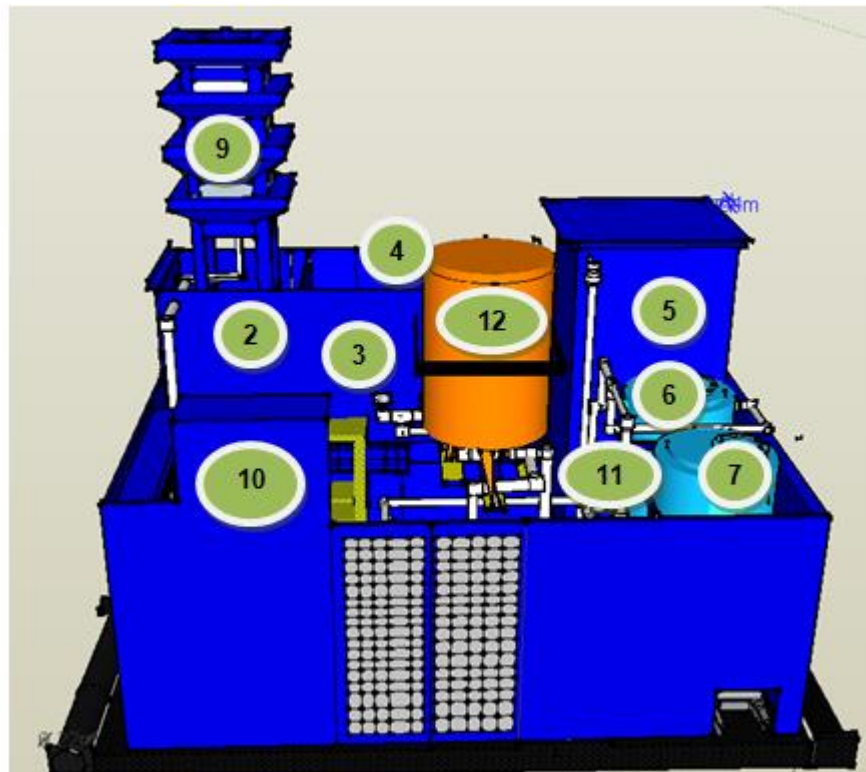
PARAMETROS	Mínimo	PTAP	Máximo	PTAP
PH (Unidades)	2,03	2	9,75	2
OD (mg/L)	2,8	3	9,75	3
CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	18,9	2	601,9	2
COLOR (UPC)	1,19	3	61,1	1
TURBIEDAD (NTU)	1,735	2	136,5	1
COLOR LIBRE (mg/L)	0	1	1,274	1

PARAMETROS	Mínimo	PTAP	Máximo	PTAP
TEMPERATURA (°C)	18,2	2	44,2	1
CONSUMO (M³)	2,8	2	24,7	1

En la tabla 11 y 12 se observa que la PTAP que más se repite debido a que presenta los valores más alejados en algunos de sus parámetros es la PTAP 2 Tauramena mostrada en la figura 24.

A continuación, en las Fig. 24 a 26 se presenta la ubicación de los equipos y actuadores de la PTAP de referencia.

Figura 24. PTAP de referencia Tauramena



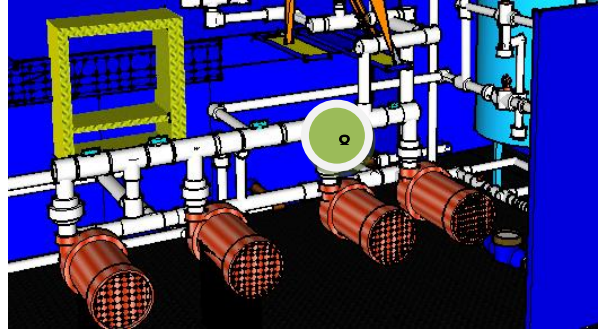
Fuente: Autores

Donde,

1. 1 tanque de almacenamiento de agua cruda de 40 LTS
2. 1 tanque de coagulación.

3. 1 tanque de floculación
4. 1 tanque de sedimentación
5. 1 tanque de almacenamiento de agua tratada
6. 1 filtro de arena
7. 1 filtro de carbón activado
8. 4 bombas trifásicas de 3HP

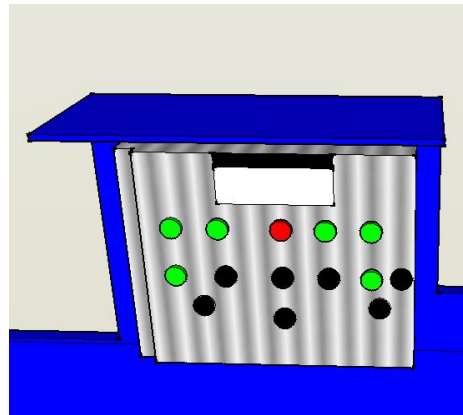
Figura 25. Bombas trifásicas



Fuente: Autores

9. 1 torre de aireación
10. 1 tablero eléctrico

Figura 26. Tablero eléctrico



Fuente: Autores

11. 7 válvulas de PVC
12. 1 Hidrofló

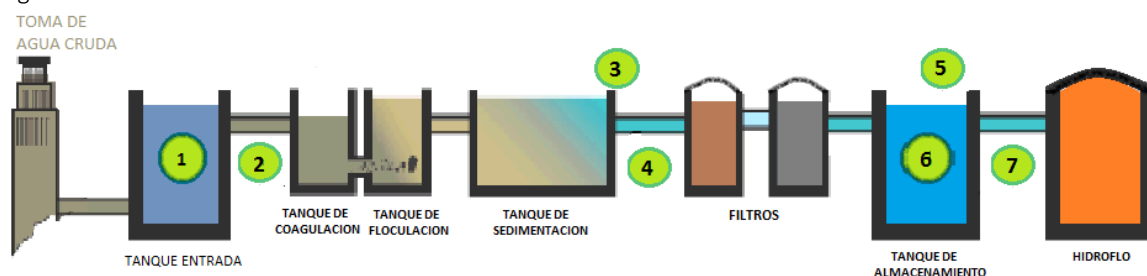
## 2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PROPUESTOS PARA EL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

En el siguiente apartado se realiza la identificación de los sensores típicos en el mercado necesarios para cada variable de medición, para esto se tienen en cuenta las características técnicas mínimas que debe cumplir la instrumentación de campo en una PTAP para un correcto funcionamiento de los equipos, actuadores y el control de la misma, donde se miden las variables anteriormente mostrados en la Tabla 2.

### 2.3.1 Puntos de medición en la PTAP de referencia

Los puntos de medición de la PTAP de referencia se observan en la Fig. 27, las variables allí medidas se muestran en la Tabla 13.

Figura 27. Puntos de medición en la PTAP de referencia.



Fuente: Autores

Tabla 13. Puntos y variables de medición

Numeración	Punto de medición	Variables medidas	Cantidad de sensores en cada punto de medición
1	Tanque de entrada agua cruda	pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, color, temperatura, cloro libre	7
2	Salida del Tanque de entrada	Caudal	1
3	Tanque de sedimentación	Nivel	1
4	Salida del tanque de Sedimentación	Presión	1
5	Tanque de almacenamiento	Nivel	1
6	Tanque de almacenamiento	pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, color, temperatura, cloro libre	7



Numeración	Punto de medición	Variables medidas	Cantidad de sensores en cada punto de medición
7	Salida del tanque de almacenamiento	Presión	1

### 2.3.2 Alternativas de solución para la medición de parámetros

Teniendo en cuenta los puntos máximos y mínimos que se obtuvieron luego de realizar el análisis de las muestras de cada parámetro mostrado en la Tabla 14 y 15, es posible plantear diferentes alternativas que cumplan con los requerimientos de diseño para el sistema automatizado. Para ello se utilizará el método de ponderación lineal SCORING, el cual consiste en hacer un análisis cuantitativo en el que se compararán diferentes criterios a los cuales se le asigna el grado de importancia de cada una de las alternativas en una escala de 0 a 10 puntos, para así determinar una solución válida.

Tabla 14. Evaluación de criterios

Peso "Criterio"	Relevancia
0,1 y 0,2	Muy poco importante
0,3 y 0,4	Poco importante
0,5 y 0,6	Importancia media
0,7 y 0,8	Algo importante
0,9	Muy importante

*Adaptado de: GALVIS Jhon, BUSTAMANTE Jhon. Laboratorio remoto de motores eléctricos basado en una plataforma web y el software de procesos LabVIEW para el acompañamiento de asignaturas virtuales en Tecnoparque – Sena, 2017.*

También es necesario establecer en cuanto satisface las alternativas en cada uno de los criterios, teniendo en cuenta la relevancia que representa para la solución del diseño.

Tabla 15. Evaluación de Alternativas

Peso	Relevancia
1	Irrelevante
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Medio – Bajo
5	Medio
6	Medio – Alto
7	Alto
8	Muy alto

Peso	Relevancia
9	Critico

El modelo o ecuación del método SCORE es la siguiente:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i * r_{ij} \quad (1)$$

Dónde [30]:

$S_j$  = Score (Puntuación) para alternativa.

$w_i$  = Ponderación para cada criterio i.

$r_{ij}$  = Valoración o calificación de la alternativa j en función del criterio i.

#### 2.2.1.1. Alternativas para la medición de pH

Para determinar las alternativas de solución para la medición del pH se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de la PTAP de referencia obtenida, La alternativa de medición de pH aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).

Tabla 16. Alternativas de Sensores de pH

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. TS320 <sup>1</sup>	Alternativa 2. HYDRO 201 <sup>2</sup>	Alternativa 3. Sensor de pH hach <sup>3</sup>
Imagen:			
Rango de medición:	Rango de pH: 0-14 pH.	0 -14 pH	-Rango de pH:0 - 14 PH
Salida:	4-20 mA.	4-20 mA.	4-20 mA.
Precisión:	± 1 % F.E.	2% de toda la escala	±0,02 pH
Resistencia a la intemperie:	Si	No especifica	Resistente a la Corrosión
Alimentación:	9 - 16 Vcc	10-36 VDC	12Vcc
Ventajas:	Sensor sumergible, hasta 10m de profundidad. El cable esta envainado en polietileno lo cual lo hace impermeable.	Respuesta rápida de datos programable a 3 segundos mínimos.	Método de calibración: Automático y manual de dos puntos, automático y manual de un punto

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. TS320 <sup>1</sup>	Alternativa 2. HYDRO 201 <sup>2</sup>	Alternativa 3. Sensor de pH hach <sup>3</sup>
<b>Material:</b>	Acero inoxidable.	Vidrio pH, platino QRP	Cuerpo de PEEK® o Ryton® (PVDF), de vidrio y platino electrodo a tierra de titanio.
<b>Precio:</b>	USD\$ 300 – 400	USD \$300	USD \$355 USD

Adaptado de: <sup>1</sup><http://www.tecmes.com/wp-content/uploads/2014/12/TS320-Manual-Rev.02.pdf>.

<sup>2</sup>[http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad\\_de\\_agua&product=55&product\\_name=HYDRO\\_201&language=3](http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad_de_agua&product=55&product_name=HYDRO_201&language=3). <sup>3</sup><https://mena.hach.com/asset-get.download.jsa?id=33277968764>

### 2.2.1.2. Alternativas para la medición de oxígeno disuelto

Para determinar las alternativas de solución para la medición de Oxígeno disuelto se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de oxígeno disuelto aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).

Tabla 17. Alternativas para la medición de oxígeno disuelto

CARACTERISTICAS	Alternativa1. Sensor HYDRO 401 <sup>1</sup>	Alternativa2. Sensor ts330 <sup>2</sup>
<b>Imagen:</b>		
<b>Rango de medición:</b>	0-100% Saturación, 0-8 ppm, temperatura compensada a 25°C	0 - 200 %
<b>Resistencia a la intemperie</b>	Si, Membrana: 0.001 FEP Teflón	Si, El sensor es sumergible, La cápsula que contiene la electrónica es de acero inoxidable y se encuentra sellada mediante cierres con O-ring. El cable es impermeable y esta envainado en polietileno.
<b>Salida:</b>	4-20 mA.	4-20 mA.
<b>Alimentación</b>	10-36 VDC	9 - 16 Vcc (12 Vcc típico)
<b>Diámetro:</b>	1 1/4" diámetro x 11" largo	
<b>Precisión:</b>	±0.5% de toda la escala	2 % Fondo de Escala

CARACTERISTICAS	Alternativa1. Sensor HYDRO 401 <sup>1</sup>	Alternativa2. Sensor ts330 <sup>2</sup>
Ventajas:	Respuesta rápida de datos programable a 10 segundos mínimo	Fácil calibración
Tipo de sensor	Transductor: Celda Electroquímica Galvánica	Transductor: Celda Electroquímica Galvánica
Material:	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Precio:	USD \$300	USD\$ 355

Adaptado

de: [http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad\\_de\\_agua&product=56&product\\_name=HYDRO\\_401&language=3](http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad_de_agua&product=56&product_name=HYDRO_401&language=3), <sup>2</sup> <http://www.tecmes.com/wp-content/uploads/2014/12/TS330-Manual-Rev.03.pdf>

### 2.2.1.3. Alternativas para la medición de Turbidez

Para determinar las alternativas de solución para la medición de turbidez en el agua se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de Turbidez aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).

Tabla 18. Alternativas para la medición de turbidez

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Turbidity meter Tri-clamp <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor HYDRO 710 <sup>2</sup>	Alternativa 3. Sensor TURBIMAX CUS52D <sup>3</sup>
Imagen:			
Rango:	0-25000NTU	0-50 NTU y 0-1000 NTU	0-4000 NTU
Precisión:	0.1%	+ 5% de toda la escala	2% ±0.01 FNU
Resistencia a la intemperie:	No especifica	SI	SI
Salida:	4-20 mA.	4-20 mA.	4-20 mA.
Alimentación	24VDC 150mA	10-36 VDC	




CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Turbidity meter Tri-clamp <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor HYDRO 710 <sup>2</sup>	Alternativa 3. Sensor TURBIMAX CUS52D <sup>3</sup>
Ventajas:	Robusto, fiable, sin plástico, sin re calibración, sin limpieza	Respuesta rápida de datos programable a 10 segundos mínimo	- Comunicación estandarizada (tecnología Memosens) permite "plug and play"
Material:		Aluminio armonizado negro, acero inoxidable y otros.	Acero inoxidable
Sumergible:	Si	SI	Si
Precio:	USD \$250	USD \$300	USD \$365

Adaptado de: <sup>1</sup> [http://www.milktronics.com/products.cfm?subcat\\_id=1](http://www.milktronics.com/products.cfm?subcat_id=1), <sup>2</sup> [http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad\\_de\\_agua&product=59&product\\_name=HYDRO\\_710&language=3](http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad_de_agua&product=59&product_name=HYDRO_710&language=3), <sup>3</sup> [http://www.rocaroibas.com/pdf/Turbimax\\_CUS52D.pdf](http://www.rocaroibas.com/pdf/Turbimax_CUS52D.pdf)

#### 2.2.1.4. Alternativas de solución para la medición de conductividad

Para determinar las alternativas de solución para la medición de conductividad en el agua se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa para la medición de conductividad aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).

Tabla 19. Alternativas para la medición de conductividad

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Sensor INPRO7005 <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor ST 3254.3 <sup>2</sup>	Alternativa 3. CMA de Conductividad BT27i <sup>3</sup>
Imagen:			
Rango de medición:	0,02-10000 µS/cm	0...1000 ms	0 a 200 µS/cm 0 a 2000 µS/cm 0 a 20000 µS/cm)
Salida:	4-20Ma	4-20mA (600 ohm a 24Vcc)	0- 5 V




CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Sensor INPRO7005 <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor ST 3254.3 <sup>2</sup>	Alternativa 3. CMA de Conductividad BT27i <sup>3</sup>
Resistencia a la intemperie:	Si	SI	No especifica
Precisión:	+/- 1.0 %	No especifica	±1% de escala completa para cada rango
Ventajas:	Excelente precisión de medición.	El circuito interno está protegido contra la inversión de la fuente de alimentación.	Sensor de temperatura Pt100
Tipo de sensor	Sensor de 2 electrodos	Sonda sumergible, sensor Inductivo	Analógico
Material:	Revestido de PTFE SS 316/1.4401, Titanio	C-PVC	Polipropileno
Precio:	UDS\$340	USD \$268	USD \$198

Adaptado de: <sup>1</sup> [http://www.mt.com/dam/MTPRO/PDF/TD/TD\\_Conductivity\\_Sensor\\_InPro7000-VP\\_en\\_52002183\\_Jul15.pdf](http://www.mt.com/dam/MTPRO/PDF/TD/TD_Conductivity_Sensor_InPro7000-VP_en_52002183_Jul15.pdf), <sup>2</sup> <http://www.vl-pc.com/?LinkServID=DFEA7BB4-F593-74FB-9E80933F664A265D&showMeta=0>, <sup>3</sup> [http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt\\_sensors/BT27i\\_es.pdf](http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt_sensors/BT27i_es.pdf)

#### 2.2.1.5. Alternativas para la medición de cloro libre

Para determinar las alternativas de solución para la medición del cloro libre se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de cloro libre, aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).

Tabla 20. Alternativas para la medida de Cloro libre

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Sensor CLE 3-MA <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor CLF10 <sup>2</sup>	Alternativa 3. SENSOREX FCL <sup>3</sup>
Imagen:			
Rango de medición:	-CLE 3-mA-0,5 ppm 0,01...0,5 mg/l -CLE 3-mA-2 ppm 0,02...2,0 mg/l -CLE 3-mA-100 ppm 1,00...100,0 mg/l	0 - 20 ppm	Cloro libre: 0-2 ppm, 0-5 ppm, o 0-10 ppm de cloro libre.  Rango de temperatura: 0-45 ° C

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Sensor CLE 3-MA <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor CLF10 <sup>2</sup>	Alternativa 3. SENSOREX FCL <sup>3</sup>
			PH Rango: 5,5 - 8,5 pH Rango de Presión: 0 - 14.7 PSIG.
Salida:	4-20mA	4-20mA	4-20mA
Resistencia a la intemperie:	SI, Resistencia a Sales, ácidos, lejías. No agentes tensioactivos.	SI	SI
Precisión	No especifica	Cloro libre: $\pm 3\%$ de la prueba de referencia	No especifica
Voltaje:	16...24 V DC	12 Vdc $\pm 10\%$	12-24V DC (250mA mínimo)
Ventajas:	Mide pH y temperatura	Rango de pH: 4 – 9, Compatible con los controladores digitales "Plug and Play"	Mide pH, Temperatura y Presión Rango Temperatura: 0-45° C Rango pH: 5.5 – 8.5 pH
Material:	Acero inoxidable	Materiales resistentes a la corrosión, completamente sumergibles (acero inoxidable, PVC, goma de silicio y policarbonato)	Carcasa de PVC, tecnología patentada de membrana
Precio:	\$250 USD	USD\$ 420	\$ 1.010.00

Adaptado de: <sup>1</sup> <https://www.prominent.com/resources/OperatingInstructions/English/13354/984482-BA-DT-045-07-14-EN-Dulcotest-Sensor-CGE-3-EN.pdf>, <sup>2</sup> [Downloads/L2679%20Rev%204.pdf](#),  
<sup>3</sup> <https://www.sensorex.com/product/fcl-free-chlorine-sensor/>

#### 2.2.1.6. Alternativas para la medición de color

Para determinar las alternativas de solución para la medición de color se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición del Color aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).

Tabla 21. Alternativas para la medida de color en el agua

CARACTERISTICAS	Alternativa 1. Sensor ALLEN BRADLEY45CLR COLORSIGHT <sup>1</sup>	Alternativa 2. Sensor LEUZELECTRONICCRT 442 <sup>3</sup>
Imagen:		
Rango:	Rango de detección [mm (pulg.)] -D8: 12 ... 32 <b>45CLR - 5JPC2</b> - D8: 15 ... 30	
Salida:	4-20 MA	4-20mA
Voltaje	18... 28V DC	12 VDC
Ventajas:	3 puntos luminosos disponibles (redondo de 4 mm, 2 x 2 mm, 5 x 1 mm)	Canal de color tolerancias de color ajustables 1,5 kHz
Material:		Carcasa de plástico muy compacta
Precio:	\$460 USD	\$505 USD

#### 2.2.1.7. Alternativas para la medición de temperatura

Para determinar las alternativas de solución para la medición de la temperatura en el agua se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de temperatura aplica para los puntos de medición 1 y 6 (Ver Tabla 13).



Tabla 22. Alternativas para la medición de temperatura

CARACTERISTICAS	SENSOR PT100 WTR <sup>1</sup>	SENSOR OTT CTD <sup>2</sup>
Imagen:		
Rango de medida:	-50 ... +400 °C	-25 °C +70 °C
Precisión	Clase A	± 0,1 °C
Resistencia a la intemperie:	SI	SI
Salida:	4-20 mA	4-20 mA
Ventajas:	Se puede conectar directamente en el proceso a través de la armadura Protectora.	Mide Conductividad, rango: 0,001 ... 2.000 mS/cm. Mide nivel: Rango de medición 0...4 m, 0...10 m, 0...20 m, 0...40 m, 0 ... 100 m
Material:	Platino, acero inoxidable	acero inoxidable
Precio:	USD\$205	USD \$355

Adaptado de: <sup>1</sup><http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sensor-temperatura-wtr-120.htm>, <sup>2</sup><http://www.ott.com/es-la/productos/>

#### 2.2.1.8. Alternativas para la medición del nivel del agua

Los sensores de nivel son necesarios para la automatización del sistema de tratamiento de agua potable para un mejor control y funcionamiento de los actuadores y demás dispositivos. Existen varios tipos de sensores de nivel, se clasifican dependiendo su funcionamiento y aplicación.

Para determinar las alternativas de solución para la medición de color se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de Nivel aplica para los puntos de medición 3 y 5 (Ver Tabla 13).

Tabla 23. Alternativa para la medición de nivel

CARACTERISTICAS	SENSOR Serie EB1700 Explosion <sup>1</sup>	SENSOR VEGAPULS WL 61 <sup>2</sup>	SEBAPuls 20 <sup>3</sup>
Imagen:			
Rango:	-40°C a 200°C	hasta 15 m	0-15, 35, 70 m
Salida:	salida analógica 4-20	4-20 mA	4-20 mA
Precisión:	Exactitud $\pm 1\%$ FS.	$\pm 2$ mm	mejor de 1 cm
Resistencia a la intemperie:	Si, No tiene mayores restricciones por condiciones de proceso de temperatura, presión, vacío o por agresividad química del medio.	SI	SI
Ventajas:	Con revestimiento para medios corrosivos. Cabezal con protección IP 65	-Sensor sumergible gracias a protección IP 66/68 (2 bar) - Medición sin contacto y, por tanto, sin desgaste -Control de bombas mediante acondicionador de señal o PLC	- Carcasa a prueba de explosión.
Tipo de sensor	capacitivos	Nivel tipo radar	Nivel tipo radar
Material:	pared metálica	Carcasa de plástico	
Precio:	\$275 USD	\$470 USD	\$430 USD

Adaptado de: <sup>1</sup> <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Medidores-detectores-de-nivel-capacitivos-142449.html>, <sup>2</sup> <https://www.vega.com/es-ES/Productos/Catálogo-de...de.../VEGAPULS-WL-61>, <sup>3</sup> [http://www.directindustry.es/prod/seba-hydrometrie-gmbh-co-kg/product-63216-504405.html#product-item\\_567355](http://www.directindustry.es/prod/seba-hydrometrie-gmbh-co-kg/product-63216-504405.html#product-item_567355)

#### 2.2.1.9. Alternativas de medición para determinar el caudal.

Para determinar las alternativas de solución para determinar caudal del agua, se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de pH aplica para el punto de medición 2 (Ver Tabla 13).

Tabla 24. Sensores de caudal




CARACTERISTICAS	SENSOR de caudal SFAW <sup>1</sup>	SENSOR EE671 <sup>2</sup>
Imagen:		
Rango:	1,8 ... 32 [l/min]	0 ... 5 m/s 0 ... 10 m/s 0 ... 20 m/s
Salida:	4 ... 20 mA	0 ... 10 V
Resistencia a la intemperie:	Si	No especifica
Precisión:	±2	0,5 ... 5 m/s: ± (0,2 m/s + 3 % del valor) 1 ... 10 m/s: ± (0,3 m/s + 4 % del valor) 1 ... 20 m/s: ± (0,4 m/s + 6 % del valor)
Ventajas:		- Construcción compacta - Señal analógica lineal - Montaje y mantenimiento sencillo
Material:	Acero, inoxidable	Polycarbonato
Precio:	\$304 USD	142,00 €

Adaptado de: <sup>1</sup>[https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/SFAW\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/SFAW_ES.PDF), <sup>2</sup><http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/transductor-aire-ee-575.htm>

#### 2.2.1.10. Alternativas de medición para determinar la presión

Para determinar las alternativas de solución para determinar la presión del agua, se tienen en cuenta las características de la variable de acuerdo al mínimo y máximo de las PTAP analizadas, esta se elige con un criterio de al menos 30% por encima y abajo de los requerimientos de la variable. La alternativa de medición de pH aplica para los puntos de medición 4 y 7 (Ver Tabla 13).

Tabla 25. Sensores de Presión

CARACTERISTICAS	SENSOR presión tipo tabaco	SENSOR TP3	SENSOR DE PRESION
Imagen:			

CARACTERISTICAS	SENSOR presión tipo tabaco	SENSOR TP3	SENSOR DE PRESION
Rango:		0-50 100 – 250 – 500 mbar 1 - 2.5 - 5 - 10 - 20 bar	Hasta 300mca.
Salida:	4-20 mA	4-20 mA	4...20 mA
Resistencia a la intemperie:	No especifica	SI	SI, cuentan con protección IP68 y un sellado perfecto para que la electrónica interna que acondiciona la señal y proporciona una salida amplificada, no se vea dañada por la entrada de líquido o humedad.
Precisión:	+/- 0,5 % Escala total	$\leq \pm 0.50 \%$	
Ventajas:	Temperatura fluido -40 a 80 °C	Sensor típico industrial con prestaciones medias y coste económico	
Material:			Acero inoxidable con protección anticorrosión.
Precio:	\$1.145.760	\$216 USD	\$305 USD

Adaptado de: <http://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=157602>, <sup>2</sup> [http://www.sensores-de-medida.es/uploads/aep\\_tp3.pdf](http://www.sensores-de-medida.es/uploads/aep_tp3.pdf), [http://www.sensores-de-medida.es/uploads/sensores\\_de\\_presion\\_sumergibles-limnmetros.pdf](http://www.sensores-de-medida.es/uploads/sensores_de_presion_sumergibles-limnmetros.pdf)

#### a. Evaluación de alternativas

Al realizar el análisis de las alternativas de solución planteadas para la medición de las variables de cada parámetro, se procede a determinar cuáles de estas cumplen con los requerimientos del sistema, para ello, se determinan los criterios para la respectiva evaluación de las alternativas propuestas.

#### b. Criterios de evaluación de alternativas

Para seleccionar las alternativas de solución se consideran los siguientes aspectos:

- **Rango de medición:** Este es uno de los factores de mayor importancia en la selección de las alternativas ya que se determinan los límites de medición en los procesos de la planta.
- **Precisión:** Este criterio es importante para la selección de alternativas porque de esto depende el buen desempeño del sistema y la calidad de los resultados.
- **Resistencia a la intemperie:** esta propiedad de los sensores determina si estos pueden resistir a los agentes externos del entorno y garantizar que el sensor tendrá larga durabilidad.

- **Señal de salida:** es importante que la señal de salida de los sensores sea de 4-20 mA ya que trabajar con señales de corriente en vez de las de tensión da una ventaja ya que se evitarían los problemas del ruido eléctrico y de caída de tensión.
- **Precio:** es un factor que se debe considerar por la capacidad económica que la empresa puede invertir en el proyecto.

Para obtener la mejor alternativa se le asigna a cada criterio un valor de peso entre 0 y 1, según la importancia que representa, cuando el criterio posee un valor aproximado a 1 tiene mayor relevancia con respecto a los demás criterios con menores valores:

Tabla 26. Escala de Ponderación

Criterio	Peso
Rango de medición	0,9
Precisión	0,8
Resistencia a la intemperie	0,5
Señal de salida	0,6
Precio	0,4

Para el diseño del sistema automatizado es necesario realizar un buen análisis de las alternativas propuestas para el sistema de instrumentación, para ello se utilizó el método de ponderación lineal (SCORE) de la siguiente manera:

- **Sensor de pH. Ponderación de alternativas**

Tabla 27. Ponderación alternativas sensores de PH.

Criterio	Peso	Alternativa 1 TS320	Alternativa 2 HYDRO 201	Alternativa 3. Sensor de pH hach
Rango de medición	0,9	9	9	9
Precisión	0,8	3	4	4
Resistencia a la intemperie	0,5	8	1	7
Señal de salida	0,6	9	9	9
Precio	0,4	4	7	4
<b>Sumatoria</b>		<b>21,5</b>	<b>20</b>	<b>21,8</b>

- **Sensor de Oxígeno disuelto. Ponderación de alternativas**

Tabla 28. Alternativa 2

Criterio	Peso	Alternativa 1 HYDRO 401	Alternativa 2 Sensor ts330
Rango de medición	0,9	8	7
Precisión	0,8	8	5
Resistencia a la intemperie	0,5	5	7
Señal de salida	0,6	9	9
Precio	0,4	5	6
<b>Sumatoria</b>		<b>23,5</b>	21,6

- **Sensor de turbidez. Ponderación de alternativas**

Tabla 29. Alternativa 3

Criterio	Peso	Alternativa 1 TS320	Alternativa 2 HYDRO 201	Alternativa 3. Sensor de pH hach
Rango de medición	0,9	4	8	6
Precisión	0,8	3	8	5
Resistencia a la intemperie	0,5	1	6	8
Señal de salida	0,6	9	9	9
Precio	0,4	6	5	4
<b>Sumatoria</b>		14,3	<b>24</b>	20,4

- **Sensor de conductividad. Ponderación de alternativas**

Tabla 30. Alternativa 4

Criterio	Peso	Alternativa 1 SensorINPRO7005 <sup>1</sup>	Alternativa 2 ST 3254.3	Alternativa 3. CMA de Conductividad BT27i
Rango de medición	0,9	7	5	8
Precisión	0,8	3	1	3
Resistencia a la intemperie	0,5	6	1	1
Señal de salida	0,6	9	9	1
Precio	0,4	6	5	4
<b>Sumatoria</b>		<b>19,5</b>	13,2	12,3

- **Sensor de cloro libre. Ponderación de alternativas**

Tabla 31. Alternativa 5

Criterio	Peso	Alternativa 1 Sensor CLE 3-MA	Alternativa 2 Sensor CLF10	Alternativa 3. SENSOREX FCL
Rango de medición	0,9	7	7	8
Precisión	0,8	1	5	1
Resistencia a la intemperie	0,5	8	7	7
Señal de salida	0,6	9	9	9
Precio	0,4	7	5	4
<b>Sumatoria</b>		19,3	<b>21,2</b>	18,5

- **Sensor de color. Ponderación de alternativas**

Tabla 32. Alternativa 6

Criterio	Peso	Alternativa 1 ALLEN BRADLEY45CLR COLORSIGHT	Alternativa 2 Sensor LEUZE ELECTRONIC CRT 442
Rango de medición	0,9	8	1
Precisión	0,8	1	1
Resistencia a la intemperie	0,5	2	7
Señal de salida	0,6	9	9
Precio	0,4	5	4
<b>Sumatoria</b>		<b>16,4</b>	12,2

- **Sensor de temperatura. Ponderación de alternativas**

Tabla 33. Alternativa 7

Criterio	Peso	Alternativa 1 Sensor PT100 WTR	Alternativa 2 Sensor OTT CTD
Rango de medición	0,9	6	9
Precisión	0,8	5	5
Resistencia a la intemperie	0,5	8	8
Señal de salida	0,6	9	9
Precio	0,4	7	6
<b>Sumatoria</b>		21,6	<b>23,9</b>

- **Sensor de Nivel. Ponderación de alternativas**

Tabla 34. Alternativa 8

Criterio	Peso	Alternativa 1 Serie EB1700 Explosión	Alternativa 2 VEGAPULS WL 61	Alternativa 3. SEBAPuls 20
Rango de medición	0,9	6	8	8
Precisión	0,8	4	5	3
Resistencia a la intemperie	0,5	8	6	7
Señal de salida	0,6	9	9	9
Precio	0,4	8	5	6
<b>Sumatoria</b>		21,2	<b>21,6</b>	20,9

- **Sensor de caudal. Ponderación de alternativas**

Tabla 35. Alternativa 9

Criterio	Peso	Alternativa 1 Sensor caudal SFAW	Alternativa 2 Sensor EE671
Rango de medición	0,9	8	6
Precisión	0,8	5	8
Resistencia a la intemperie	0,5	6	2
Señal de salida	0,6	9	9
Precio	0,4	7	4
<b>Sumatoria</b>		<b>22,4</b>	19,8

- **Sensor de Presión. Ponderación de alternativas.**

Tabla 36. Alternativa 10

Criterio	Peso	Alternativa 1 Sensor presión tipo tabaco	Alternativa 2 Sensor SENSOR TP3	Alternativa 3. SENSOREX FCL
Rango de medición	0,9	2	8	6
Precisión	0,8	7	7	1
Resistencia a la intemperie	0,5	1	5	8
Señal de salida	0,6	9	9	9
Precio	0,4	4	6	5
<b>Sumatoria</b>		14,9	<b>21,1</b>	17,6



### 2.3.3 Instrumentos de medición seleccionados

De acuerdo a la evaluación realizada a través del método SCORING los dispositivos de medición seleccionados para integrar al sistema de automatización son:

*Tabla 37. Alternativas seleccionadas.*

Criterio	Rango de medición	Precisión	Resistencia a la intemperie	Señal de salida	Precio	Sumatoria
Peso de los criterios	0,9	0,8	0,5	0,6	0,4	
Sensor pH (HACH)	9	4	6	9	4	21,8
Sensor OD (HYDRO 401)	8	8	5	9	5	23,5
Sensor de Turbidez (HYDRO 710)	8	8	6	9	5	24
Sensor de Conductividad (INPRO7005)	7	3	6	9	6	19,5
Sensor de Cloro libre (CFL 10)	7	5	7	9	5	21,2
Sensor Color (BRADLEY45CLR)	8	0	2	9	5	16,4
Sensor de temperatura (OTT CTD)	9	5	8	9	6	23,9
Sensor Nivel Vega Plus WL	8	5	6	9	5	21,6
Sensor caudal SFAW	8	5	6	9	7	22,4
Sensor Presión TP	8	7	5	9	6	21,1

*Las referencias de los datasheet de cada uno de los sensores que se seleccionaron se encuentran en Anexo A.*

### 3. NECESIDADES DE POTABILIZACIÓN Y ACTUADORES DE SUMINISTRO

En el siguiente capítulo a partir de la información obtenida sobre la fuente de abastecimiento y características de la entrada del agua que tiene el sistema, es posible definir su calidad para evaluar los tratamientos que se deben llevar a cabo para su potabilización, realizando un estudio sobre los químicos de uso general para cada procedimiento y el sistema de dosificación adecuado en cada ambiente teniendo en cuenta las dificultades que tendrán que enfrentarse y las complejidades de los tratamientos que se deberán aplicar para convertirla en potable, esto dado que todos los tratamientos tienen ventajas y limitaciones que se definen en sus campos de aplicación.

#### 3.1 NECESIDADES DE POTABILIZACIÓN

De acuerdo a la PTAP de referencia (Tabla 12) se establecen las necesidades de potabilización para los máximos y mínimos de las variables, mostrando cómo se debe actuar para nivelar cada variable y las cantidades de los químicos y la forma de suministro de cada uno de ellos, teniendo en cuenta el Decreto 1575 DE 2007 con un margen de seguridad del 30% como se muestra en la Tabla 38:

*Tabla 38. Intervalos de referencia con margen de seguridad*

PARÁMETROS	INTERVALOS DE REFERENCIA	MARGEN DE SEGURIDAD
PH (Unidades)	6,5 – 9	N/A
Turbiedad (NTU)	<2 unid	<1,7 unid
Color (UPC)	<15	< 12,8
Oxígeno Disuelto	>2	>1,7
Cloro libre (mg/L)	0,3 – 2	0,255 – 2,3
Temperatura (°C)	+/- 3 °C la temp C. R	N/A
Conductividad (µs / cm)	<=1000	N/A

El proceso de potabilización del agua comprende de varias etapas iniciando por la extracción de componentes suspendidos en el agua responsables de la turbidez y el color que posee en la entrada del sistema, tal como los coloides anteriormente mencionados que pueden permanecer en suspensión en el agua por tiempo prolongado e incluso atravesar un filtro muy fino, ya que no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras, por esta razón para eliminar dichas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, en la siguiente etapa es posible llevar a cabo la sedimentación y/o filtración del agua mediante diferentes tipos de tamices, gravilla o arena y por ultimo una fase de desinfección y nivelación de los niveles de PH, tal y como se observa en la figura 28:

Figura 28. Proceso de potabilización del agua



Fuente: autores

Los parámetros que se tratan químicamente en PTAP son el pH y el Cloro libre.

### 3.1.1 Nivelación del pH

Según el decreto el pH del agua de salida debe mantenerse entre los siguientes valores ( $6,5 < \text{pH} < 9$ ). Para nivelar o corregir estos valores se utilizan varios reactivos que pueden dosificarse de forma líquida (en solución), o en polvo. [31]

- Para aumentar los niveles del pH se pueden utilizar los siguientes: hidróxido sódico o cálcico, carbonato sódico.
- Para reducirlos se utiliza: Ácidos sulfúricos o clorhídrico, sulfato de aluminio, anhídrido carbónico.

#### a. Sulfato de aluminio

- **Dosis apropiada de sulfato de aluminio por vía húmeda:** Para la preparación de sulfato de aluminio es necesario conocer la concentración indicada [32], es decir, que para una concentración al 1% o 2% es lo mismo que tener 10.000mg/L o 20.000mg/L respectivamente.

Para calcular la dosis apropiada se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V \cdot c}{K} \quad (2)$$

Donde,

**v:** volumen del sedimento

**c:** concentración requerida

**K:** constante de formación de dosis

En la figura 29, se observan los valores de concentración según el pH.

Figura 29. Concentración según valores de pH

pH	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>
1	10 <sup>-1</sup>	0.1	0.00000000000001
2	10 <sup>-2</sup>	0.01	0.00000000000001
3	10 <sup>-3</sup>	0.001	0.00000000000001
4	10 <sup>-4</sup>	0.0001	0.00000000000001
5	10 <sup>-5</sup>	0.00001	0.00000000000001
6	10 <sup>-6</sup>	0.000001	0.00000000000001
7	10 <sup>-7</sup>	0.0000001	0.00000001
8	10 <sup>-8</sup>	0.00000001	0.000001
9	10 <sup>-9</sup>	0.000000001	0.00001
10	10 <sup>-10</sup>	0.0000000001	0.0001
11	10 <sup>-11</sup>	0.00000000001	0.001
12	10 <sup>-12</sup>	0.000000000001	0.01
13	10 <sup>-13</sup>	0.00000000000001	0.1
14	10 <sup>-14</sup>	0.000000000000001	1

Recuperado de: [http://www.infoagro.com/abonos/pH\\_informacion.htm](http://www.infoagro.com/abonos/pH_informacion.htm)

- **Dosis apropiada de sulfato de aluminio por vía seca:** Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \cdot D \cdot K_1}{K_2} \quad (3)$$

Donde,

**D:** dosis

**Q:** Caudal de entrada

**K<sub>1</sub>:** Factor de conversión de segundos a horas

**K<sub>2</sub>:** Factor de conversión de mg a Kg.

Estas dos constantes se utilizan para cancelar las fracciones sin alterar los resultados de la ecuación [32].

*En el presente proyecto el método de utilizado para la dosificación del sulfato de aluminio se realizará por vía húmeda.*

### 3.1.2 Nivelación del Cloro libre

Para nivelar o corregir los valores de cloro libre se utiliza el cloro. Comercialmente, el cloro se usa de diversas formas, las más comunes son: cloro gas e hipoclorito de sodio, [31].

#### a. Cloro gas

En el proceso de cloración, se pueden utilizar dos métodos de dosificación ya sea por alimentación directa o por solución [32].

- **Dosificación por vía directa:** Como su nombre lo indica, el gas se disuelve directamente en el punto de tratamiento. Para ellos se debe utilizar tubería adecuada (caucho o plástica PVC) ya que al combinarse con el agua su solución es altamente corrosiva.
- **Dosis apropiada de cloro:** se presenta comercialmente en cilindros de acero y su concentración al dosificar deberá ser entre los 2.5 y 2.0 %.

La ecuación que se utiliza para determinar la cantidad de cloro es la siguiente:

$$M = D \cdot Q \quad (4)$$

Donde,

$M$  = cantidad de cloro a inyectar

$D$  = Dosis de cloro o concentración

$Q$  = Caudal del agua a tratar

- **Dosificación por solución [32]:** el cloro se disuelve en corrientes o tanques pequeños e independientes.
- **Dosis apropiada de cloro:** Para determinar la cantidad de cloro también se utiliza la ecuación 4.

Normalmente, el punto de dosificación de cloro suele ubicarse en la entrada de los depósitos de abastecimientos. [31]

#### b. Hipoclorito de sodio NaOCL (Cloro líquido)

Es la solución más fácil de dosificar. La dosis recomendada para la desinfección es entre 1 y 5 mg/L, esto depende de la claridad o turbiedad del agua.

Se utilizan dosis mayores de 4mg/L para aguas turbias y muy contaminadas, en este caso se recomienda que el agua turbia primero se filtre hasta conseguir una disminución suficiente de la turbiedad y luego se utilicen en las dosis normales sugeridas. [33]

Para calcular la dosis apropiada se utiliza una regla de tres inversas, teniendo en cuenta la siguiente información:

Para un valor de cloro libre en el agua de 0.8 mg/L, se debe aplicar 3mg/L aproximadamente. En la Tabla 39 se muestran las dosis apropiadas aplicando la regla de 3 inversa, con la información anterior.

*Tabla 39. Dosis de Cloro liquido según valor de cloro libre*

Cloro Libre (mg/L)	Hipoclorito de sodio (mg/L)
0.1	3
0.2	1.5
0.3	1
0.4	0.75
0.5	0.6
0.6	0.5
0.7	0.428
0.8	0.375
0.9	0.33

*Fuente: SORTE LTDA*

### 3.1.3 Nivelación de otras variables

Las variables que se mencionan a continuación no se intervienen en el sistema de automatización ya que son tratadas a nivel físico y dependen del diseño de la PTAP.

#### **a. Turbidez:**

La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación-floculación, asentamiento y filtración en las plantas potabilizadoras. [34]. El proceso de coagulación se realiza cuando se utilizan los químicos para nivelar el pH.

#### **b. Conductividad:**

Para la nivelación de conductividad existen compuestos bacterianos comerciales que se utilizan para ello. Uno de estos productos es el que se conoce comercialmente como Enziclean, que es una mezcla de bacterias aeróbicas y anaeróbicas de forma líquida. [35]

**c. Color, olor y sabor:**

Para la nivelación de estos parámetros el proceso se realiza por medio de carbón activado.

### **3.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL**

Actualmente la operación actual de la PTAP Tauramena (PTAP de referencia, Cap2, Ap. 2.2.) se encuentra de la siguiente manera:

El tratamiento de agua potable inicia con la entrada de agua cruda la cual se encuentra en el tanque de sedimentación (Fig. 31), de acuerdo a esto el flotador 1 que actúa como un interruptor (Normalmente abierto) ubicado en el tanque de sedimentación, con este se realiza el encendido de la Bomba de inicio (Fig. 30) y la bomba dosificadora de sulfato. Luego el agua pasa por la torre de aireación, y procede a los procesos de mezcla, coagulación, floculación y sedimentación. Sin embargo, la bomba de inicio solo se apaga cuando el tanque de sedimentación se encuentra en un 80% lleno.

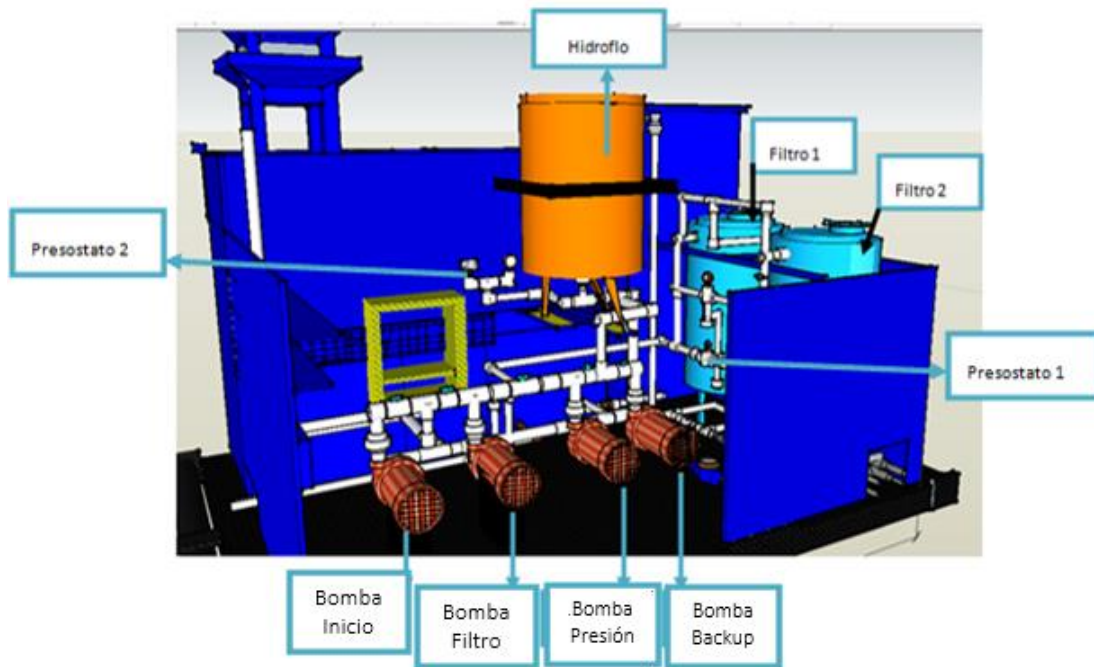
Por otro lado, el flotador 2 (switch 2 normalmente abierto) ubicado en el tanque de agua tratada (Fig. 31), enciende la Bomba de filtración (Fig. 30) y a su vez la bomba dosificadora de Cloro, el agua se conduce a los Filtros 1 y 2 para realizar el proceso de filtración por arena y carbono (Fig. 30). Si el presostato 1 (Fig. 30) marca 40 PSI desactiva la bomba de filtración.

El agua que sale de los filtros va hacia el tanque de agua tratada, cuando el presostato 2 (Fig. 30) marca menos de 20 PSI enciende la bomba de presión, conduciendo el agua al tanque del Hidrofló (Fig. 30) hasta que suba a 40 psi, por último, el agua es conducida a la red de distribución del campamento.

Para la realización del retro lavado de los filtros 1 y 2, las válvulas normalmente abiertas se cierran y las normalmente cerradas se abren.

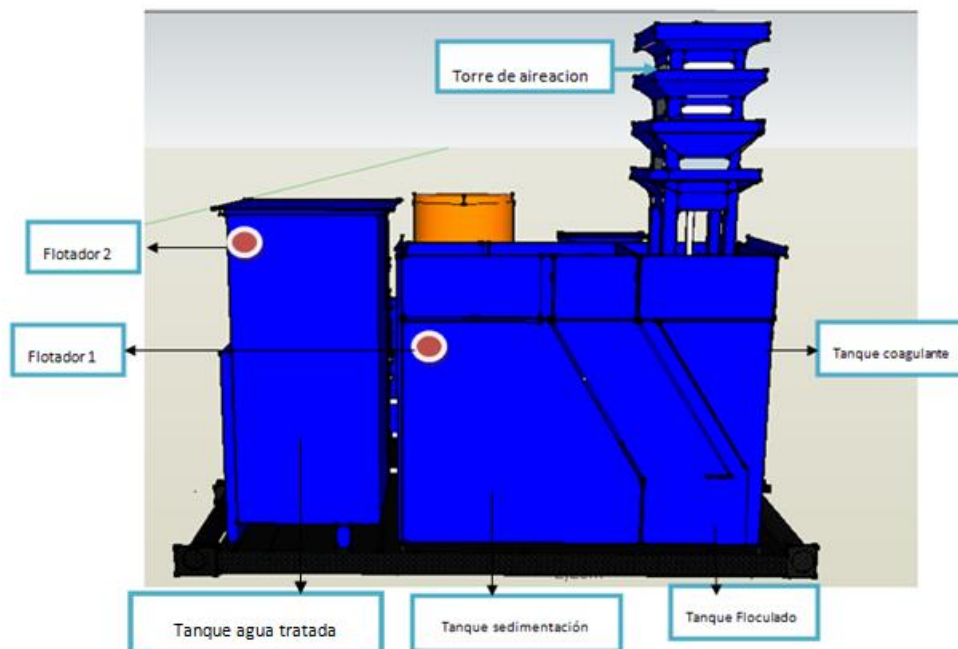
*Las condiciones de operación actual, sumadas a las condiciones añadidas en el sistema de automatización se incluirán en las secuencias de automatización, Cap. 4, Ap. 4.3.*

Figura 30. Partes de la PTAP Tauramena I



Fuente: Autores

Figura 31. Partes de la PTAP Tauramena II



Fuente: Autores



### 3.3 SELECCIÓN DE ACTUADORES DE SUMINISTRO DE QUÍMICOS

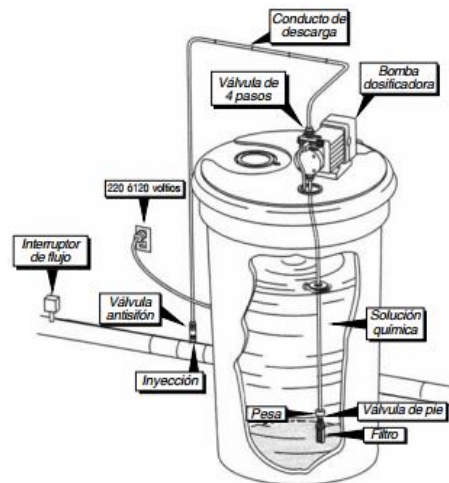
Existen dos tipos de actuadores para el suministro de las sustancias químicas para una PTAP, estos dependen de la forma como se suministra el químico ya sea por vía seca o húmeda.

#### a. Bombas dosificadoras de sustancias líquidas

Estos sistemas son muy sencillos y se ilustran a Continuación. El sistema se compone de lo siguiente [36]:

- Tanque para la solución química
- Bomba dosificadora
- Válvula de inyección con válvula de control
- Sistema de control eléctrico con interruptor de flujo en caso de fallas
- Área de almacenamiento de sustancias químicas.

Figura 32. Bomba dosificadora de sustancias líquidas



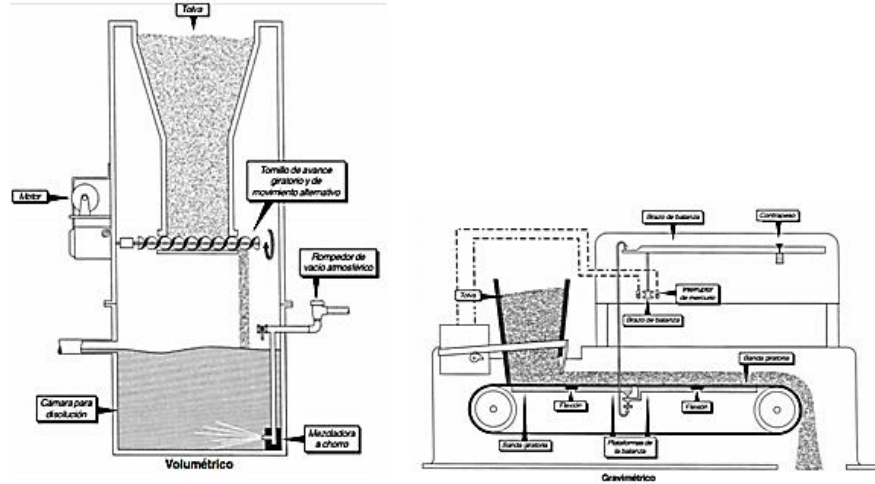
Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/inspecciones/lec6.pdf>

#### b. Dosificadores de sustancias secas

- Volumétricos: la tasa de dosificación se basa en el Volumen de sustancias químicas y no en el peso; Puede lograr un rendimiento aceptable con materiales de densidad y uniformidad estables, especialmente con tasas bajas de dosificación.

- Gravimétricos: dosifica sustancias químicas secas basadas en el peso real. Por ello, es más exacto que otros dosificadores de insumos secos en cuanto a Alcanzar las tasas deseadas [36].

Figura 33. Bomba dosificadora de sustancias secas



Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/inspecciones/lec6.pdf>

### 3.3.1 Alternativas de actuadores

Debido a que en este caso en particular los químicos utilizados se suministran de forma líquida, se utilizarán las bombas dosificadoras para sustancias líquidas, a continuación, se presentan unas dosificadoras comerciales:

#### a. Alternativa 1. C-600P CHEM-FEED Diaphragm Pump

Figura 34. Bomba C-6000P



Recuperado de: <http://blue-white.com/pumps/diaphragm-pumps/chem-feed/>

Tabla 40. Especificaciones técnicas C-600P

ESPECIFICACIONES TECNICAS:	
<b>Presión de trabajo:</b>	125 psi (8.6 bar)
<b>Max. Temperatura de fluido:</b>	130° F (54° C)
<b>Max. Temperatura de ambiente:</b>	14 to 110° F/ -10 to 46° C
<b>Max. Viscosidad:</b>	1,000 Centipoise
<b>Elevación de succión máxima:</b>	10 ft. Water, 0 psig
<b>Rango de ajuste de salida:</b>	4 – 100% stroke length
<b>Ciclo de trabajo:</b>	Continuous
<b>Operación de voltaje:</b>	12VDC (3.00 Amp Maximum) 24VDC (1.50 Amp Maximum)
<b>Conexión eléctrica:</b>	Caja de conexiones para cableado de campo
<b>Precio:</b>	1.131.000

Adaptado de: <http://blue-white.com/pumps/diaphragm-pumps/chem-feed/>

**b. Alternativa 2. C-600HV CHEM-FEED Diaphragm Pump**

Figura 35. Bomba dosificadora C-600HV



Recuperado de: <http://blue-white.com/pumps/diaphragm-pumps/chem-feed/>

Tabla 41. Especificaciones técnicas C-600HV

ESPECIFICACIONES TECNICAS:	
Presión de trabajo:	20 psi (1.4 bar)
Max. Temperatura de fluido:	130° F (54° C)
Max. Temperatura de ambiente:	14 to 110° F/ -10 to 43° C
Max . Viscosidad:	1,000 Centipoise
Elevación de succión máxima:	10 ft. Water, 0 psig
Rango de ajuste de salida:	4 – 100% stroke length
Ciclo de trabajo:	Continuo
Operación de voltaje:	12VDC (3.00 Amp Maximum) 24VDC (1.50 Amp Maximum)
Conexión eléctrica:	Caja de conexiones para cableado de campo
Precio:	2.450.000

Adaptado de: <http://blue-white.com/pumps/diaphragm-pumps/chem-feed/>

### 3.3.2 Criterios y Evaluación de alternativas

Criterio	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2
Elevación de succión máxima:	0,8	9	10
Capacidad Galones por hora:	0,7	10	7
Precio:	0,9	8	4
Sumatoria		21,4	16,5

- Alternativa seleccionada:**

De acuerdo a los resultados obtenidos con el método de selección se observa que la bomba dosificadora que más aplica en base a los requerimientos del sistema es la C-600P CHEM-FEED Diaphragm Pump (Datasheet Anexo A).

Para reemplazar las válvulas PVC de la PTAP de referencia, se utilizan válvulas de las siguientes características:

Válvula de dos vías tres posiciones pilotada con válvula solenoide para servicio y retrolavado, con señal de 24 VCC [37]. En la figura 35, se muestra la válvula bola direccional V102 de Festo, que cumple con las características mencionadas.

Figura 36. Válvula de bola direccional V102



Recuperado de: Manual MPS-PA Compact Workstation

La válvula de bola bidireccional V102 se abre y se cierra mediante un accionamiento giratorio neumático biestable.

### 3.4 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Teniendo en cuenta que cada motor requiere un tipo de protección, teniendo en cuenta las características de cada uno de ellos, se escogen los siguientes:

- Las bombas utilizadas para el transporte del agua a los diferentes puntos de la PTAP de referencias, como se observa en la Figura 37, estos son motores trifásicos de 3HP marca WEG. (Datasheet Anexo A)

Figura 37. Bomba Centrifuga WEG



Recuperado de: <http://old.weg.net/w22/index-es.php?market=am-latina>

Teniendo en cuenta las características de este motor se utilizan contactores como el de la Figura 38, para su respectiva protección.

Figura 38. Contactor LC1 D12



Recuperado de: <https://kentstore.com/lc1d12/>

Las características de este contactor son las siguientes [38]:

- 3 polos
- 12 AMP AC-3 (25 AMP AC-1)
- potencia de 3 HP @ 230v y 7,5 HP @ 460v 3 Fase con una bobina de CA nominal.
- Cada contactor viene con 1 NO y 1 base de NC contactor montado y contactos auxiliares opcionales LADN se pueden agregar para hasta 6 contactos totales.

- Para las bombas dosificadoras, teniendo en cuenta las características de este motor (Tabla 38) y que son motores pequeños, para el caso de la protección se utilizan relés, como el que se muestra a continuación:

Figura 39. Relé TRP 6822



Recuperado de: <https://www.amazon.com/Iskra-TRP-6822-Relay-8-Pin-10amp/dp/B00RW7C12O> (Referencia de Datasheet Anexo A)

Las características de este Relé se muestran a continuación en la Tabla 42.

Tabla 42. Características del Relé TRP 6822

Especificaciones	
Material de Contacto:	AgNi 10
Corriente nominal:	10 <sup>a</sup>
Máx. Corriente de encendido:	20A (4 s, 10% de ciclo de trabajo)
Máx. Voltaje de funcionamiento	250VAC VDC
Máx. Potencia de conmutación	2500VA 400W
Min. Carga de conmutación:	12VAC 100mA
Resistencia de contacto:	≤ 100 mΩ (relé nuevo)

Adaptado de: [http://www.ateco.it/pdf/art084\\_trp68\\_69.pdf](http://www.ateco.it/pdf/art084_trp68_69.pdf)

#### • ALARMA

El sistema de alarma de la PTAP consiste en 3 pilotos indicadores LEDS para mostrar el estado en el que se encuentra. Ver Tabla 43.

Tabla 43. Indicadores de alarma

COLOR	SIGNIFICADO	MUESTRA DE COLOR
Rojo	-Daño -Parada de emergencia	
Verde	Operación normal.	

Fuente: Autores

## 4. REQUERIMIENTOS Y SECUENCIAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

---

Para desarrollar la estrategia del sistema de automatización se determinan los requisitos de operación en las entradas y salidas presentes en la PTAP de acuerdo a los procesos de potabilización vistos en los capítulos anteriores y de esta forma garantizar la calidad del agua dentro rangos permisibles que tiene cada característica, así el sistema está compuesto por sensores en la entrada y salida del sistema y los actuadores de suministro, factores con los cuales se realiza la elección de un controlador lógico programable (PLC) correspondiente a las necesidades de automatización, empleando el software correspondiente a su fabricante y finalmente la visualización del estado de la PTAP.

### 4.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

#### 4.1.1 Requerimientos generales

Los requerimientos generales muestran las condiciones establecidas por la empresa Sorte LTDA respecto a la funcionalidad del sistema de automatización. Los requerimientos son:

- La lectura del estado de las variables medidas debe ser permanente y expuesto en las pantallas de supervisión.
- La lectura del estado de los motores, activación y alarmas, debe ser constante y expuesto en las pantallas de supervisión.
- El sistema de automatización no debe limitar la operación manual de la planta, por tanto, el sistema de supervisión debe ofrecer las dos opciones.
- Se debe dar la posibilidad de elegir el tipo de secuencia de operación.
- La programación y visualización del estado de los equipos se debe expresar en los códigos asignados.
- Se requiere un sistema didáctico y de fácil lectura del estado del sistema
- Se requiere que las mediciones de las variables de calidad de agua estén disponibles en todas las ventanas de navegación.
- Se requiere una ventana de visualización del estado de los motores de la planta.
- Se requiere una ventana de visualización de los niveles de químicos
- Se requiere una ventana de visualización del sistema secuencia de retrolavado: tiempo, filtros, devolver el agua.
- Se requiere un sistema donde se observan las condiciones de emergencia de la PTAP
- Se requiere un sistema eficiente y llamativo para cualquier condición de alarma.
- Se requiere un sistema de visualización de pantallas HMI.

### 4.2 SECUENCIAS DE OPERACIÓN DE LA PTAP

La estrategia de programación se define de acuerdo a las siguientes secuencias de operación que puede realizar la PTAP:



- Secuencia de operación normal
- Secuencia de retrolavado.
- Secuencia de operación manual.

#### 4.2.1 Secuencia de operación normal

La secuencia de operación normal se refiere al ciclo de operación donde todos los dispositivos y actuadores funcionan dependiendo de las variables del sistema.

- Arrancar con el pulsador
- Se realiza el registro de datos por parte de los sensores de cada parámetro: pH, cloro libre, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad, temperatura y color, en el tanque de almacenamiento de agua cruda.
- Se abre la válvula ubicada en el tanque de agua cruda para permitir el paso del agua al tanque coagulante.
- Se enciende la bomba inicial que suministra el agua al tanque coagulante.
- Al transcurrir un minuto del encendido de la bomba inicial, el sistema enciende la bomba dosificadora para suministrar el sulfato en el tanque coagulante, el tiempo de actuación de la bomba depende de los valores obtenidos por el sensor de pH del tanque de agua cruda.
- La bomba dosificadora para el suministro del cloro se activa también dependiendo de la bomba inicial, el tiempo establecido según el registro tomado por el sensor de cloro libre que se encuentra ubicado en el tanque de agua cruda.
- Cuando el sensor de nivel registra que el agua presente en el tanque de sedimentación se encuentra en un 80% del nivel total, la válvula del tanque de agua cruda se cierra y la bomba inicial se apaga.
- Si el segundo sensor de nivel ubicado en el tanque de agua tratada, registra un porcentaje bajo de agua 10% se enciende la bomba de filtro, que lleva el agua hacia los filtros de arena y al filtro de carbón.
- Si el sensor de presión registra 40 PSI se desactiva la bomba de filtro.
- Se activan las 2 válvulas que se encuentran en las salidas de los filtros para que el agua pase al tanque de agua tratada.
- Si el segundo sensor de presión registra menos de 20 PSI se activa la bomba presión que conduce el agua al tanque Hidrofló.
- Cuando el registro de este sensor es de 40 PSI se desactiva la bomba presión.
- Al finalizar el proceso se realiza el registro de datos por parte de los sensores de pH, cloro libre, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad, temperatura y color, que se encuentran ubicados en la salida de la PTAP, para verificar que el agua tratada cumple con los parámetros establecidos por la norma. Si no se cumple se debe generar una alarma.
- Finalmente se activa la válvula ubicada en la salida de la planta para que el agua sea distribuida al campamento.

#### 4.2.2 Secuencia de retrolavado

La secuencia de retrolavado se refiere al ciclo de operación donde se realiza el mantenimiento de los filtros de arena y carbón de la PTAP, este proceso permite que el agua ingrese a contraflujo y limpie la suciedad y residuos que se van acumulando en ellos. La secuencia de retrolavado debe realizarse cada 12 horas. A continuación, se presentan las acciones que debe realizar el sistema de automatización para la secuencia de retrolavado.

- Cuando se cumple el tiempo del retrolavado y el sensor de nivel ubicado en el tanque de agua tratada registra un nivel alto 80%, se apaga la bomba de filtro.
- Cuando la bomba de filtro se apaga, cambian de posición las 4 válvulas ubicadas en las salidas de los filtros, las que estaban abiertas se cierran y las que estaban cerradas se abren.
- El sistema espera 30 segundos y enciende la bomba de filtros.
- Si el sensor de presión registra 40 PSI se desactiva la bomba de filtro.
- Finalmente cuenta 15 minutos (tiempo en el que se demora en salir el agua por el sifón) para normalizar las posiciones de las válvulas.

#### 4.2.3 Secuencia de operación manual

La secuencia de operación manual se refiere al ciclo de operación donde el control se realiza por el operador desde el cuarto de control, ajustando las variables del sistema. Las acciones a realizar en operación normal son:

- El operador puede activar o desactivar el sistema mediante el pulsador
- En la fase inicial es posible manipular las variables de dosificación de químicos del sistema
- El operador puede activar el sistema de emergencia mediante el pulsador para apagar motores
- Se debe presionar el botón de Rearme para verificar que el sistema se encuentra listo y no existe ningún riesgo para continuar la siguiente fase.
- Se debe presionar el botón de activación para continuar con el flujo normal de agua.

#### 3.1.1. Condiciones de tratamiento de agua

Para un tanque de almacenamiento de agua de 40 litros como el de la PTAP de referencia, se tienen los siguientes tiempos de activación de las bombas dosificadoras: La dosificadora de Sulfato suministra 250 ml en 0.5 horas, mientras la dosificadora de Cloro suministra 150 ml en 0.5 horas. La cantidad de químico a suministrar se calcula con las ecuaciones 2 y 5, expuestas en el apartado 3.1.1 y 3.1.2.

## 4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

### 4.3.1 Requerimientos de entradas y salidas

Para determinar los requerimientos del sistema, es importante definir los elementos que lo componen, su tipo y sus características, ya que de esto depende realizar un adecuado diseño, entre estos elementos se encuentran las siguientes:

- **Señales de Entradas:** son las señales que proceden de los sensores. También tiene como misión proteger los circuitos electrónicos internos del PLC, realizando una separación eléctrica entre éstos y los sensores.
- **Señales de Salidas:** son las señales descodificadas que se envían a los actuadores.
- **CPU O PLC:** En ella reside la inteligencia del sistema. En función de las instrucciones del usuario (programa) y los valores de las entradas, activa las salidas.
- **Fuente de alimentación:** Su misión es adaptar la tensión de red (110/60Hz o 220V/60Hz) a los valores necesarios para los dispositivos electrónicos internos (generalmente 24Vcc y 5Vcc).
- **Interfaces:** Son los canales de comunicación con el exterior. Estos equipos externos pueden ser los usados para la programación, computadores, pantallas de visualización, etc. [39].

En la tabla 44, 45, 46 se determinan las señales de entrada y salida del sistema, y el código asignado a cada una de ellas que será utilizado en el programa, estas señales son de la planta de referencia Tauramena, Cap. 2, Ap. 2.2.

Tabla 44. Señales de entrada analógicas de la PTAP de referencia

ENTRADAS ANALÓGICAS					
	ELEMENTO	COD	CARACTERÍSTICAS DE SEÑAL	TIPO DE SEÑAL	RANGO MEDICIÓN CALIBRADO
1	SENSOR PH INICIO	SPHI	4-20mA	ANALÓGICA	1 – 14
2	SENSOR CLORO LIBRE INICIO	SCLI	4-20mA	ANALÓGICA	0 - 20
3	SENSOR OXIGENO DISUELTO INICIO	SODI	4-20mA	ANALÓGICA	0 – 8
4	SENSOR TURBIDEZ INICIO	STI	4-20mA	ANALÓGICA	0-1000
5	SENSOR CONDUCTIVIDAD INICIO	SCI	4-20mA	ANALÓGICA	0,02-10000
6	SENSOR TEMPERATURA INICIO	STEMI	4-20mA	ANALÓGICA	-25 °C a 70 °C
7	SENSOR COLOR INICIO	SCOI	4-20mA	ANALÓGICA	12-32
8	SENSOR PH FINAL	SPHF	4-20mA	ANALÓGICA	1 – 14
9	SENSOR CLORO LIBRE FINAL	SCLF	4-20mA	ANALÓGICA	0 – 20
10	SENSOR OXIGENO DISUELTO FINAL	SODF	4-20mA	ANALÓGICA	0 – 8
11	SENSOR TURBIDEZ FINAL	STF	4-20mA	ANALÓGICA	0-1000

ENTRADAS ANALÓGAS					
	ELEMENTO	COD	CARACTERÍSTICAS DE SEÑAL	TIPO DE SEÑAL	RANGO MEDICIÓN CALIBRADO
12	SENSOR CONDUCTIVIDAD FINAL	SCF	4-20mA	ANALOGICA	0,02-10000
13	SENSOR TEMPERATURA FINAL	STEMF	4-20mA	ANALOGICA	-25 °C a 70 °C
14	SENSOR COLOR FINAL	SCOF	4-20mA	ANALOGICA	12-32
15	SENSOR CAUDAL	SCA	4-20mA	ANALOGICA	1,8-32
16	SENSOR NIVEL 1	SN1	4-20Ma	ANALOGICA	0-15
17	SENSOR NIVEL 2	SN2	4-20Ma	ANALOGICA	0- 15
18	SENSOR PRESION 1	SP1	4-20mA	ANALOGICA	1-50
19	SENSOR PRESION 2	SP2	4-20Ma	ANALOGICA	1-50

Tabla 45. Señales de entrada digitales de la PTAP de referencia

ENTRADAS DIGITALES					
	ELEMENTO	COD	CARACTERÍSTICAS DE SEÑAL	TIPO DE SEÑAL	RANGO MEDICIÓN CALIBRADO
1	BOMBA DE CLORO – ACTIVACIÓN	B_CLORO_A	24V	DIGITAL	N/A
2	BOMBA DE CLORO – TÉRMICO	B_CLORO_T	24V	DIGITAL	N/A
3	BOMBA DE CLORO – MAGNÉTICO	B_CLORO_M	24V	DIGITAL	N/A
4	BOMBA DE SULFATO – ACTIVACIÓN	B_SUL_A	24V	DIGITAL	N/A
5	BOMBA DE SULFATO – TÉRMICO	B_SUL_T	24V	DIGITAL	N/A
6	BOMBA DE SULFATO – MAGNÉTICO	B_SUL_M	24V	DIGITAL	N/A
7	BOMBA INICIO – ACTIVACIÓN	B_INI_A	24V	DIGITAL	N/A
8	BOMBA INICIO – TÉRMICO	B_INI_T	24V	DIGITAL	N/A
9	BOMBA INICIO – MAGNÉTICO	B_INI_M	24V	DIGITAL	N/A
10	BOMBA FILTRACIÓN – ACTIVACIÓN	B_FIL_A	24V	DIGITAL	N/A
11	BOMBA FILTRACIÓN – TÉRMICO	B_FIL_T	24V	DIGITAL	N/A
12	BOMBA FILTRACIÓN – MAGNÉTICO	B_FIL_M	24V	DIGITAL	N/A
13	BOMBA PRESIÓN – ACTIVACIÓN	B_PRE_A	24V	DIGITAL	N/A
14	BOMBA PRESIÓN – TÉRMICO	B_PRE_T	24V	DIGITAL	N/A
15	BOMBA PRESIÓN – MAGNÉTICO	B_PRE_M	24V	DIGITAL	N/A

ENTRADAS DIGITALES					
	ELEMENTO	COD	CARACTERÍSTICAS DE SEÑAL	TIPO DE SEÑAL	RANGO MEDICIÓN CALIBRADO
16	BOMBA BACKUP – ACTIVACIÓN	B_BKP_A	24V	DIGITAL	N/A
17	BOMBA BACKUP – TÉRMICO	B_BKP_T	24V	DIGITAL	N/A
18	BOMBA BACKUP – MAGNÉTICO	B_BKP_M	24V	DIGITAL	N/A
19	VALVULA IN POSICIÓN CERRADA	V_IN_O	24V	DIGITAL	N/A
20	VALVULA IN POSICIÓN ABIERTA	V_IN_C	24V	DIGITAL	N/A
21	VALVULA FILTRO 1 POSICIÓN CERRADA	V_F1_O	24V	DIGITAL	N/A
22	VALVULA FILTRO 1 POSICIÓN ABIERTA	V_F1_C	24V	DIGITAL	N/A
23	VALVULA FILTRO RETRO 1 POSICIÓN CERRADA	V_FR1_O	24V	DIGITAL	N/A
24	VALVULA FILTRO RETRO 1 POSICIÓN ABIERTA	V_FR1_C	24V	DIGITAL	N/A
25	VALVULA FILTRO MEDIO POSICIÓN CERRADA	V_FM_O	24V	DIGITAL	N/A
26	VALVULA FILTRO MEDIO POSICIÓN ABIERTA	V_FM_C	24V	DIGITAL	N/A
27	VALVULA FILTRO 2 POSICIÓN CERRADA	V_F2_O	24V	DIGITAL	N/A
28	VALVULA FILTRO 2 POSICIÓN ABIERTA	V_F2_C	24V	DIGITAL	N/A
29	VALVULA RETRO 2 POSICIÓN CERRADA	V_FR2_O	24V	DIGITAL	N/A
30	VALVULA RETRO 2 POSICIÓN ABIERTA	V_FR2_C	24V	DIGITAL	N/A
31	VALVULA TANQUE 2 POSICIÓN CERRADA	V_T2_O	24V	DIGITAL	N/A
32	VALVULA TANQUE 2 POSICIÓN ABIERTA	V_T2_C	24V	DIGITAL	N/A
33	VALVULA OUT POSICIÓN CERRADA	V_OUT_O	24V	DIGITAL	N/A
34	VALVULA OUT POSICIÓN ABIERTA	V_OUT_C	24V	DIGITAL	N/A

Tabla 46. Señales de salidas digitales de la PTAP de referencia

SALIDAS DIGITALES					
	ELEMENTO	COD	CARACTERÍSTICAS DE SEÑAL	TIPO DE SEÑAL	RANGO MEDICIÓN CALIBRADO

1	BOMBA DE CLORO	B_CLORO_ON	24V	DIGITAL	N/A
2	BOMBA SULFATO	B_SUL_ON	24V	DIGITAL	N/A
3	BOMBA INICIO	B_INICIO	220V	DIGITAL	N/A
4	BOMBA FILTRACION	B_FILTRO	220V	DIGITAL	N/A
5	BOMBA PRESIÓN	B_PRESION	220V	DIGITAL	N/A
6	BOMBA BACKUP	B_BAKCUP	220V	DIGITAL	N/A
7	VALVULA IN ORDEN DE APERTURA	VAL1_O	24V	DIGITAL	N/A
8	VALVULA IN ORDEN DE CIERRE	VAL1_C	24V	DIGITAL	N/A
9	VALVULA FILTRO 1 ORDEN DE APERTURA	VAL2_O	24V	DIGITAL	N/A
10	VALVULA FILTRO 1 ORDEN DE CIERRE	VAL2_C	24V	DIGITAL	N/A
11	VALVULA FILTRO RETRO 1 ORDEN DE APERTURA	VAL3_O	24V	DIGITAL	N/A
12	VALVULA FILTRO RETRO 1 ORDEN DE CIERRE	VAL3_C	24V	DIGITAL	N/A
13	VALVULA FILTRO MEDIO ORDEN DE APERTURA	VAL4_O	24V	DIGITAL	N/A
14	VALVULA FILTRO MEDIO ORDEN DE CIERRE	VAL4_C	24V	DIGITAL	N/A
15	VALVULA FILTRO 2 ORDEN DE APERTURA	VAL5_O	24V	DIGITAL	N/A
16	VALVULA FILTRO 2 ORDEN DE CIERRE	VAL5_C	24V	DIGITAL	N/A
17	VALVULA RETRO 2 ORDEN DE APERTURA	VAL 6_O	24V	DIGITAL	N/A
18	VALVULA RETRO 2 ORDEN DE CIERRE	VAL 6_C	24V	DIGITAL	N/A
19	VALVULA TANQUE 2 ORDEN DE APERTURA	VAL 7_O	24V	DIGITAL	N/A
20	VALVULA TANQUE 2 ORDEN DE CIERRE	VAL7_C	24V	DIGITAL	N/A
21	VALVULA OUT ORDEN DE APERTURA	VAL8_O	24V	DIGITAL	N/A
22	VALVULA OUT ORDEN DE CIERRE	VAL8_C	24V	DIGITAL	N/A
23	ALARMA	ALARMA	24V	DIGITAL	N/A

#### 4.3.2 Selección del PLC y arquitectura de automatización

##### a. Selección del PLC

Se restringe a 3 marcas usando solo las referencias de gamas de bajas prestaciones de acuerdo a los requerimientos del sistema. Para la selección del PLC se usarán las marcas más populares del

mercado colombiano, Siemens, Allen Bradley y Festo, con sus referencias de PLC's S7-1200, MicroLogix 1200 y CPX-CEC-C1 respectivamente.

- **Alternativa 1. PLC's S7-1200:** es un controlador lógico programable de la marca SIEMENS, debido al diseño modular compacto con un alto rendimiento al mismo tiempo, es adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de automatización y por ello requiere de un hardware computacional robusto (Referencia Datasheet Anexo A).
- **Alternativa 2. MicroLogix 1200:** es un controlador lógico programable de la marca Allen Bradley, este PLC requiere del software de programación RSLogix 500 de Rockwell Software® (Licencia no gratuita) para configurarlo (Referencia Datasheet Anexo A).
- **Alternativa 3. CPX-CEC-C1:** este PLC de la marca Festo, ofrece una configuración sencilla del sistema completo mediante CODESYS (software libre) (Referencia Datasheet Anexo A).

A continuación, se realizará una evaluación de alternativas teniendo en cuenta los siguientes criterios.

**b. Criterios de selección:**

- **Capacidad de ajuste a los requerimientos:** la alternativa debe adaptarse a los requerimientos de entrada y salidas del sistema, como también a los rangos de operación del sistema de instrumentación.
- **Costo de licencias:** las licencias deben tener un costo adecuado al presupuesto previsto además de brindar calidad a nivel de programación.
- **Facilidad de uso:** la alternativa debe brindar facilidad en el manejo del equipo e implementación de forma rápida y eficiente.
- **Simplicidad de operación:** es importante brindar estabilidad en el funcionamiento y mantenimiento del controlador.

**c. Evaluación de alternativas:**

Utilizando el método de ponderación SCORING se realiza el análisis de las alternativas, de la siguiente manera:

*Tabla 47. Evaluación de alternativas PLC*

Criterio	Pond	S7-1200	MicroLogix 1000	CPX-CEC-C1
Capacidad de ajuste a los requerimientos	0,9	9	9	6
Costo de licencias	0,5	3	3	9
Facilidad de uso	0,4	8	6	8

Simplicidad de operación	0,8	8	6	7
Sumatoria		<b>21,6</b>	18,6	21,1

**d. Alternativa seleccionada:**

Teniendo en cuenta el puntaje obtenido de la evaluación de alternativas se selecciona el PLC S7-1200 de la marca Siemens (Fig. 40).

Figura 40. PLC S7-1200



Recuperado de: [http://media.rs-online.com/t\\_large/F7685639-01.jpg](http://media.rs-online.com/t_large/F7685639-01.jpg)



## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

### 5.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

#### 5.1.1 Consolidado de señales

A continuación, en la Tabla 48, se muestra el consolidado de señales digitales correspondientes a los dispositivos de la PTAP de referencia:

Tabla 48. Señales Digitales

EQUIPO	CANT	IN'S	DESCRIPCION	OUT'S	DESCRIPCION	TOTAL IN	TOTAL OUT
BOMBAS	6	3	24V	1		18	6
VALVULAS	8	2	24V	2		16	16
ALARMA	1	0	24V	1		0	1
TOTAL I/O REQUERIDAS						34	23
RESERVA (15%)						5	3
TOTAL I/O						39	26

Fuente: Autores

La plataforma S7-1200 cuenta con módulos digitales de entrada a 24V con capacidad máxima 16 señales de entrada, por tanto, se requieren 4 módulos.

El requerimiento total de señales analógicas se muestra en la Tabla 49:

Tabla 49. Consolidado de señales analógicas

EQUIPO	CANT	IN'S	DESCRIPCION	OUT'S	DESCRIPCION	TOTAL IN	TOTAL OUT
SENSORES	19	19	4-20mA	0		19	0
TOTAL I/O REQUERIDAS						19	0
RESERVA (15%)						3	0
TOTAL I/O						22	0

### 5.2 SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE HARDWARE

#### 5.2.1 Evaluación de controladores S7-1200

La familia de PLC's S7-1200 ofrece 5 grupos de CPU's diferenciadas en capacidades de acuerdo a la cantidad de memoria disponible para programa de usuario, cantidad de entradas y salidas análogas y digitales integradas, además de otras funciones especiales como conteo y puertos de comunicaciones. la PTAP de referencia tiene un requerimiento de 39 entradas digitales, 26 salidas digitales y 19 entradas analógicas, por tanto, el parámetro de elección de la CPU se establece de

acuerdo a la capacidad de la misma de manejar el número de entradas y salidas sin necesidad de incluir módulos de comunicaciones para captación remota de señales. Los grupos y características de CPU's ofertados por siemens se muestra en la Tabla 50:

*Tabla 50. Grupos de referencias comerciales familia S7-1200 Siemens*

GRUPO	Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analógicas	Salidas analógicas	Signal Board	Módulos adicionales
1211	16	4	2	0	SI	0
1212	8	6	2	0	SI	2
1214	14	10	2	0	SI	8
1215	14	10	2	2	SI	8
1217	14	10	2	2	SI	8

*Fuente: Siemens*

Dentro de los grupos ofertados las referencias de los grupos 1211, 1212 pueden soportar 0 y 2 módulos de entradas y salidas adicionales respectivamente, lo cual no permite cumplir los requerimientos de la PTAP, por lo cual quedan disponibles las referencias de los grupos 1214, 1215 y 1217 los cuales soportan hasta 8 módulos de entrada y salida adicionales. Teniendo en cuenta a lo anterior, y a que el programa de la aplicación no tiene una gran complejidad se seleccionará la CPU de menores prestaciones del grupo 1214.

Las características de la CPU seleccionada son [40]:

- **Referencia:** CPU 1214C DC/DC/DC.
- **Número de parte:** 6ES7214-1AE30-0XB0
- **Características técnicas:** Memoria de trabajo 50KB; fuente de alimentación 24V DC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x 24V DC y AI2 integradas; 6 contadores rápidos y 2 salidas de impulso integradas; Signal Board amplía I/O integradas; hasta 3 módulos de comunicación para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación I/O; 0,1ms/1000 instrucciones; conexión PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC.

### 5.2.2 Selección de módulos de PLC

Teniendo en cuenta que la CPU seleccionada tiene incorporadas 14 entradas digitales, 10 salidas digitales y 2 entradas analógicas, es necesario incorporar los módulos correspondientes para captar el requerimiento de señales de la PTAT, es decir, 39 entradas digitales, 26 salidas digitales y 19 entradas analógicas. Por consiguiente, la CPU referencia de 1214C permite incorporar los módulos expuestos en la Tabla 51:

Tabla 51. Características de los módulos de entrada y salida adicionales.

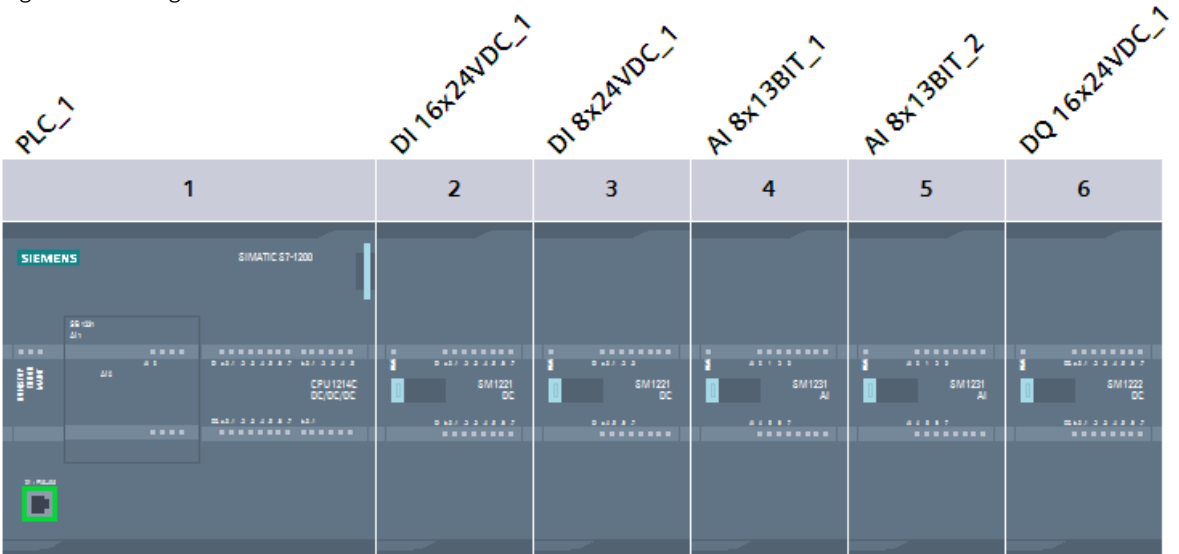
Módulo	Referencia	Características	Slot de instalación (Fig.39)
Entradas digitales	6ES7221-1BH32-0XB0	16 entradas digitales a 24Vdc tipo transistor configurable PNP y NPN	2
	6ES7221-1BF32-0XB0	8 entradas digitales a 24Vdc tipo transistor configurable PNP y NPN	3
Salidas digitales	6ES7222-1BH32-0XB0	16 entradas digitales a 24Vdc tipo transistor	4
Entradas analógicas	6ES7231-4HF32-0XB0	8 entradas analógicas +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, ó 0-20mA/4-20mA, 12 Bit	5 y 6
	6ES7231-4HA30-0XB0	1 entrada analógica +/-10VDC (resolución 12 Bit) O 0 - 20mA	Insertable en el PLC.

Fuente: Siemens

En la selección se aprecia que se cubren únicamente las 19 señales de entrada analógica, por lo tanto, no se contempla un módulo adicional para cubrir las señales de reserva.

La configuración definitiva del PLC se muestra a continuación en la Figura 41:

Figura 41. Configuración del PLC



Fuente: autores

En la configuración expuesta en el PLC se identifican los módulos de la siguiente manera:

- Slot 1: CPU 1214C DC/DC/DC.
- Slots 2: Módulo de 16 entradas digitales a 24V.
- Slots 3: Módulo de 8 entradas digitales a 24V.
- Slot 4: Módulo de 16 salidas analógicas.
- Slot 5 y 6: Módulos de 8 entradas analógicas.
- Slot Signal Board: Módulo de 1 entrada analógica.

### 5.2.3 Mapeo de señales de conexión

A continuación, en la Tabla 52, se muestra la distribución de señales de acuerdo a los puertos disponibles del PLC y módulos correspondientes a cada tipo de entrada y salida del sistema, esto es fundamental ya que facilita la asignación y lectura de variables dentro del software, para esto se debe tener en cuenta que la nomenclatura correspondiente, siendo así:

- %I pertenece a entrada de tipo digital
- %IW para entradas de tipo analógico
- %Q para las salidas digitales
- %M para variables internas del programa

Todo esto seguido del número del puerto disponible para su respectiva conexión.

*Tabla 52. Mapeo de señales en TIA portal*

Nombre	Tipo de dato	Dirección	Nombre	Tipo de dato	Dirección
B_CLORO_A	Bool	%I0.0	B_PRE_ON	Bool	%Q0.4
B_CLORO_T	Bool	%I0.1	B_BKP_ON	Bool	%Q0.5
B_CLORO_M	Bool	%I0.2	V_IN_O	Bool	%Q0.6
B_SUL_A	Bool	%I0.3	V_IN_C	Bool	%Q0.7
B_SUL_T	Bool	%I0.4	V_F1_O	Bool	%Q1.0
B_SUL_M	Bool	%I0.5	V_F1_C	Bool	%Q1.1
B_FL1_A	Bool	%I0.6	V_FR1_O	Bool	%Q24.0
B_FL1_T	Bool	%I0.7	V_FR1_C	Bool	%Q24.1
B_FL1_M	Bool	%I1.0	V_FM_O	Bool	%Q24.2
B_FL2_A	Bool	%I1.1	V_FM_C	Bool	%Q24.3
B_FL2_T	Bool	%I1.2	V_F2_O	Bool	%Q24.4
B_FL2_M	Bool	%I1.3	V_F2_C	Bool	%Q24.5
B_FL3_A	Bool	%I1.4	V_FR2_O	Bool	%Q24.6
B_FL3_T	Bool	%I1.5	V_FR2_C	Bool	%Q24.7
B_FL3_M	Bool	%I12.0	V_T2_O	Bool	%Q25.0
B_FL4_A	Bool	%I12.1	V_T2_C	Bool	%Q25.1

Nombre	Tipo de dato	Dirección	Nombre	Tipo de dato	Dirección
B_FL4_T	Bool	%I12.2	V_OUT_O	Bool	%Q25.2
B_FL4_M	Bool	%I12.3	V_OUT_C	Bool	%Q25.3
V_IN_INI	Bool	%I12.4	AI_SPHI	Int	%IW64
V_IN_FIN	Bool	%I12.5	AI_SCLI	Int	%IW66
V_F1_INI	Bool	%I12.6	AI_SCOI	Int	%IW80
V_F1_FIN	Bool	%I12.7	AI_STBI	Int	%IW128
V_FR1_INI	Bool	%I13.0	AI_SODI	Int	%IW130
V_FR1_FIN	Bool	%I13.1	AI_STMI	Int	%IW132
V_FM_INI	Bool	%I13.2	AI_SCDI	Int	%IW134
V_FM_FIN	Bool	%I13.3	AI_SPHF	Int	%IW136
V_F2_INI	Bool	%I13.4	AI_SCLF	Int	%IW138
V_F2_FIN	Bool	%I13.5	AI_SCOF	Int	%IW140
V_FR2_INI	Bool	%I13.6	AI_STBF	Int	%IW142
V_FR2_FIN	Bool	%I13.7	AI_SODF	Int	%IW144
V_T2_INI	Bool	%I14.0	AI_STMF	Int	%IW146
V_T2_FIN	Bool	%I14.1	AI_SCDF	Int	%IW148
V_OUT_INI	Bool	%I14.2	AI_SN1	Int	%IW150
V_OUT_FIN	Bool	%I14.3	AI_SN2	Int	%IW152
B_CLORO_ON	Bool	%Q0.0	AI_SP1	Int	%IW154
B_SUL_ON	Bool	%Q0.1	AI_SP2	Int	%IW156
B_INI_ON	Bool	%Q0.2	AI_SC1	Int	%IW158
B_FIL_ON	Bool	%Q0.3			

### 5.3 PLANEACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE CONTROLADORES

Para la automatización del sistema se diseña un programa para el accionamiento eléctrico de las bombas y válvulas presentes en el proceso de la PTAP, el cual se desarrolla con el PLC S7-1200, en el software STEP 7 V13 - TIA portal de Siemens, para esto el programa cumple con cada uno de los tres modos de funcionamiento requeridos.

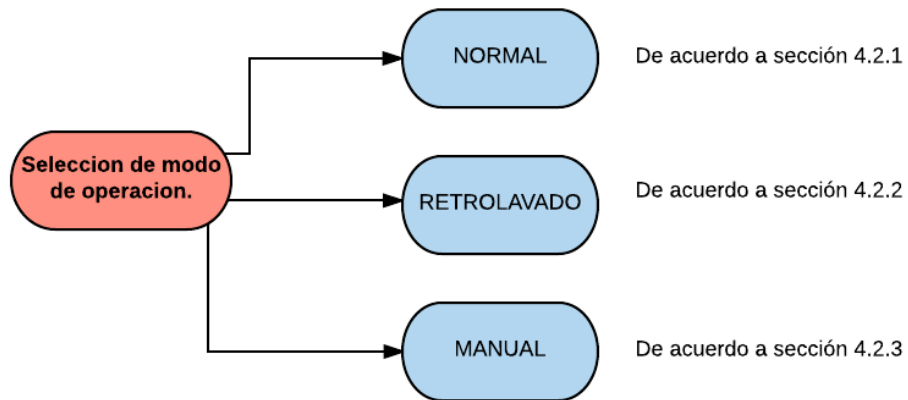
A continuación, presenta los algoritmos para cada secuencia del programa de control.

#### 5.3.1 Diagrama de flujo. Selección modo de operación

Teniendo en cuenta que uno de los requerimientos generales (Cap. 4, Ap. 4.1.1) es que el sistema de supervisión debe ofrecer las diferentes opciones de operación del sistema, se propone la solución en

el diagrama de la Figura 42, donde el usuario puede seleccionar el modo de operación en el que desea trabajar.

Figura 42. Diagrama de selección modo de operación



Fuente: Autores

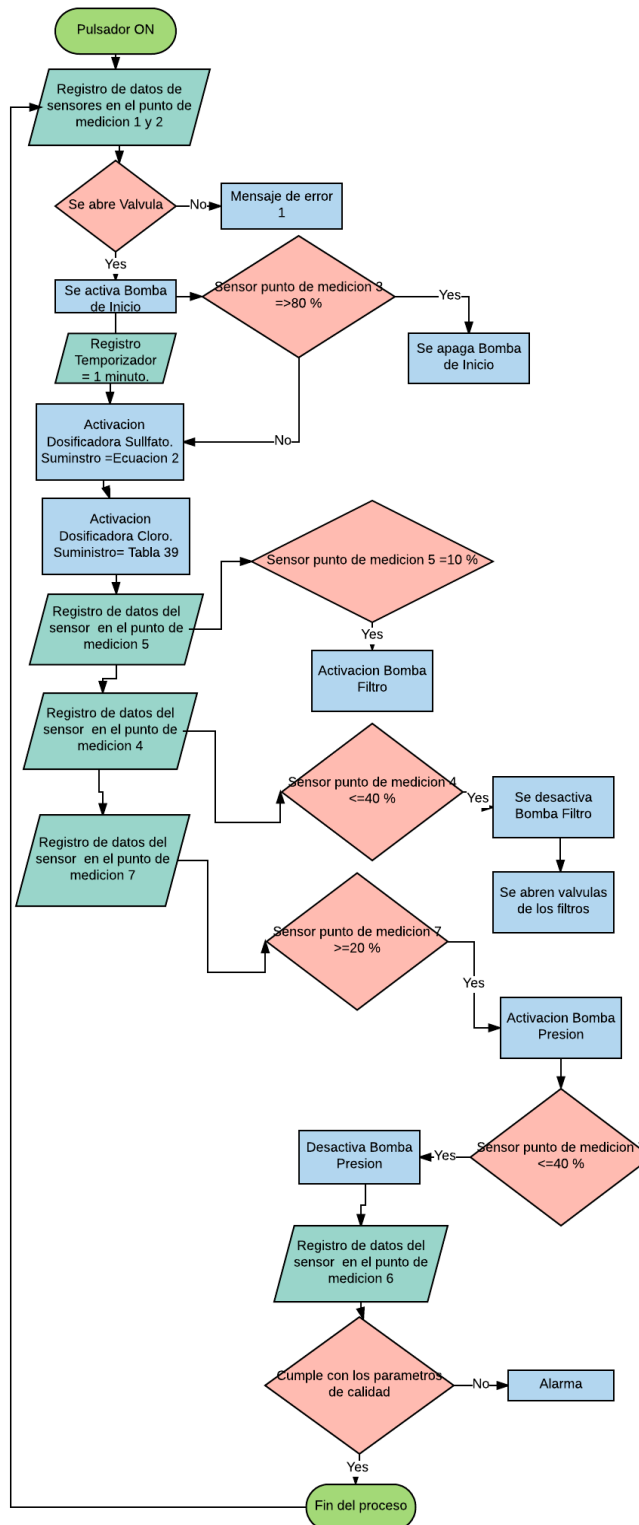
### 5.3.2 Diagrama de flujo de proceso. Operación normal

De acuerdo a la secuencia expuesta en el apartado 4.2.1 y teniendo en cuenta las condiciones y requerimientos generales, se propone la solución en el diagrama de la Figura 43. El cual funciona de la siguiente manera:

Cuando se enciende la PTAP, se toman los registros de los datos de los puntos de medición 1 y 2, de allí el sistema procede a generar las condiciones para que se cumpla el debido proceso de la secuencia de la operación normal, cuando se presenta un fallo en los actuadores se generan alarmas en el sistema supervisorio.

*.. Esquema en la siguiente pagina...*

*Figura 43. Diagrama de flujo Operación normal*

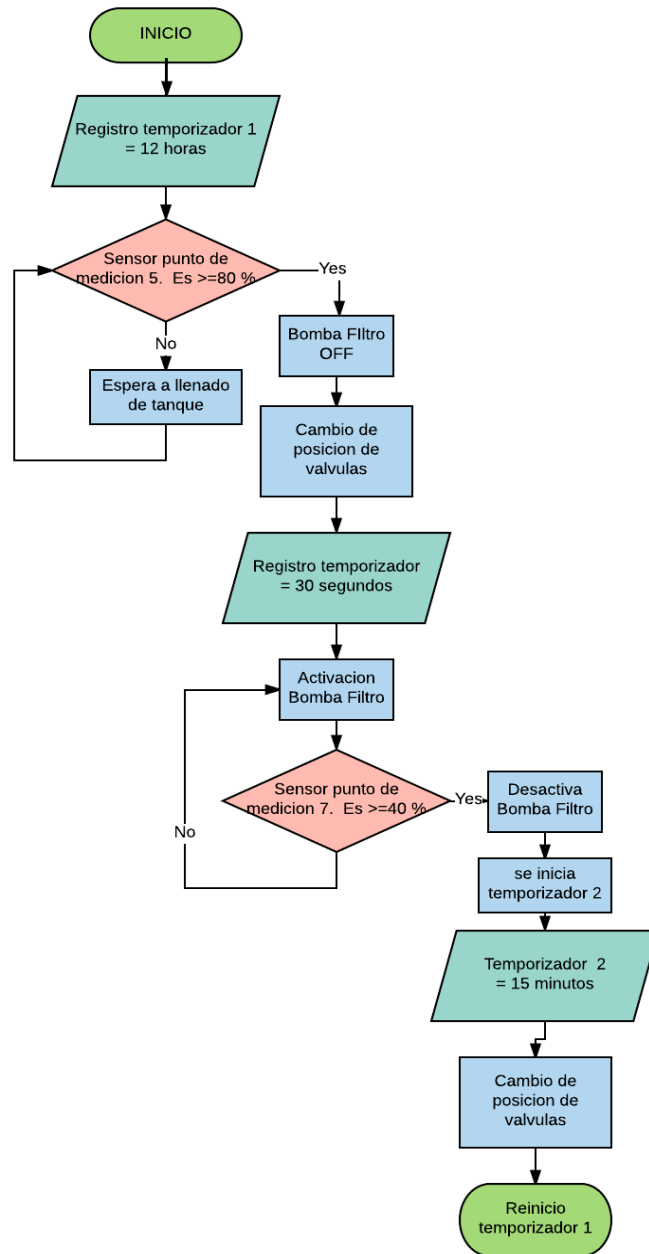




### 5.3.3 Diagrama de flujo de proceso. Retrolavado

De acuerdo a la secuencia expuesta en el apartado 4.2.2 y teniendo en cuenta las condiciones y requerimientos generales, se propone la solución mostrada en el diagrama de flujo de la Figura 44, el cual funciona de la siguiente manera: Si se cumple con el tiempo de retrolavado y el sensor ubicado en el punto de medición 5, registra un 80% del nivel del tanque, se cumple la condición para realizar el proceso correspondiente al retrolavado (Ver Fig. 44):

Figura 44. Diagrama de flujo Retrolavado



Fuente: Autores

### 5.3.4 Operación manual

En esta sección se encontrará con una interfaz en la cual se accionan las bombas de manera directa, y se permite suministrar los químicos con las cantidades que el usuario determine. También se sigue haciendo la verificación de las variables y la gestión de alarmas del sistema.

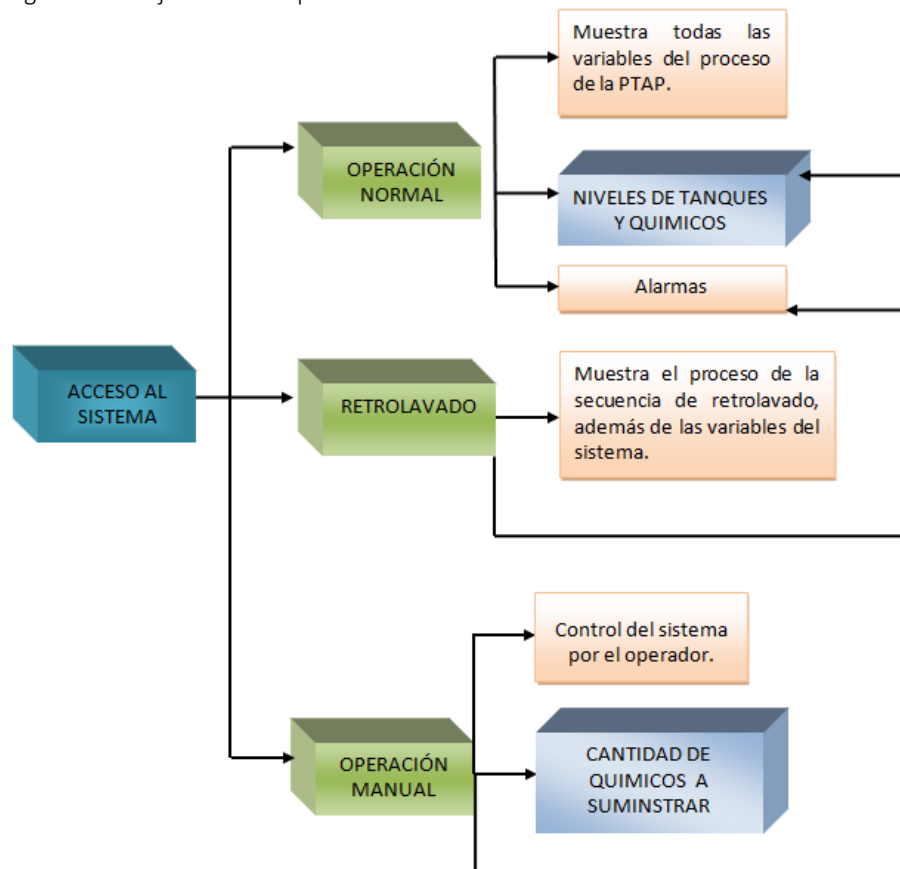
## 5.4 PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN

### 5.4.1 Diagrama de flujo del sistema supervisorio

Se establece un diagrama de flujo donde se diferencia cada una de las pantallas de visualización, partiendo de la pantalla inicial con el sistema de seguridad para acceder al sistema. Esta lo dirige a una pantalla con el menú principal para la navegación de cada operación, operación normal, manual y retrolavado.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de navegación de las pantallas del sistema:

Figura 45: Diagrama de flujo sistema supervisorio



Fuente: autores

- **Pantalla de navegación:** Esta pantalla es el menú principal para el acceso a las herramientas del sistema de supervisión:
  - Operación normal
  - Retrolavado
  - Operación manual.

Debido a que estas son las pantallas principales del sistema supervisorio, a continuación, se realiza una breve descripción de cada una de ellas:

- **Pantalla de operación normal:** Esta pantalla cuenta con la herramienta de visualización de las variables que intervienen en el proceso del tratamiento de agua. Allí se subdivide la pantalla:
  - **Niveles de tanques y químicos:** Esta pantalla permite utilizar la herramienta para la visualización de los niveles de cada tanque, además de los niveles de químicos presentes en la PTAP. Cumpliendo así con los requerimientos de ver el estado de todas las variables del sistema.
- **Pantalla de retrolavado:** Por medio de las herramientas presentes en esta pantalla se visualiza el proceso de retrolavado: tiempo, filtros, devolver el agua.
- **Pantalla de operación normal:** Las herramientas de esta pantalla le permiten a el operador puede ajustar las variables del sistema. En esta pantalla se tiene acceso a la pantalla de:
  - Cantidad de químicos a suministrar.

## 6. RESULTADOS

---

Para la determinación de las condiciones y la calidad del agua se realizó la caracterización y medición de las variables de diferentes PTAP, para esto se ejecutó un proceso estadístico donde se realizó el cálculo de promedios, valores mínimos y máximos para cada uno de los parámetros en cada PTAP, efectuando así una comparación (Graficas 1 a 14) con los resultados obtenidos de las mediciones, con esto, se observó que los parámetros físico-químicos varían dependiendo del origen del agua. Para el caso del agua de origen de pozo profundo (PTAP 1 Tauramena), los parámetros varían significativamente respecto a las otras dos PTAP 2 y 3 (Tilo y Barrancabermeja) que era un agua pre-tratada ya que esa traída del acueducto del respectivo municipio, teniendo en cuenta esto se determinó la PTAP 1 Tauramena como referencia ya que presentaba los valores más críticos.

Para determinar los instrumentos de medición electrónicos para la captación de las variables de contaminación de la PTAP, se utilizó como referencia los valores máximos y mínimos obtenidos en las mediciones de cada parámetro, teniendo en cuenta también los valores de calidad establecidos por el Decreto 1575 DE 2007, para determinar los rangos de medición de cada sensor. Para la selección de estos, se utilizó el método de selección SCORING, donde se determinaron cuáles eran los instrumentos comerciales más adecuados de acuerdo a los requerimientos y criterios del sistema (Tabla 37).

Para determinar los actuadores necesarios para el suministro de químicos de potabilización del agua, se estableció el método más adecuado de suministro (Dosificación por Vía Húmeda) ya que esto influía en la selección de los actuadores por las características que debía cumplir. Para la adecuada selección se utilizó el método SCORING, donde se realizó la comparación de 2 bombas dosificadoras comerciales, concluyendo que la mejor opción para este caso era la C-600P CHEM-FEED Diaphragm Pump ya que obtuvo una mejor puntuación con respecto a la dosificadora C-600HV CHEM-FEED Diaphragm Pump.

Para el diseño del sistema de automatización se realizó el requerimiento de señales de entrada y salida, requerimiento que cumple a cabalidad un PLC de la familia S7-1200 de Siemens. La programación se realizó en el software STEP 7 V13 - TIA portal de Siemens. En este software se presentan unas series de bloques que se utilizan para la respectiva programación. A continuación, se describe cada uno de ellos:



**Bloque de Organización:** Los OB se procesan cíclicamente. Los OB de ciclo son bloques lógicos de orden superior en el programa, en los que se pueden programar instrucciones o llamar otros bloques. Y de acuerdo a lo anterior el programa se compone de un ciclo principal ubicado en el Main [OB1] de TIA portal.



**Bloques de función:** Son bloques lógicos que depositan sus valores de forma permanente en bloques de datos de instancia, de modo que siguen estando disponibles después de procesar el bloque, esto permite realizar internamente programas con variables instantáneas que se repiten durante la ejecución del sistema debido a la cantidad de repetida de elementos que cumplen con las mismas

condiciones de arranque, tal como es el caso de la programación de encendido de bombas o la lectura de sensores.

Teniendo en cuenta lo anterior, se muestra la estructura del programa diseñado:

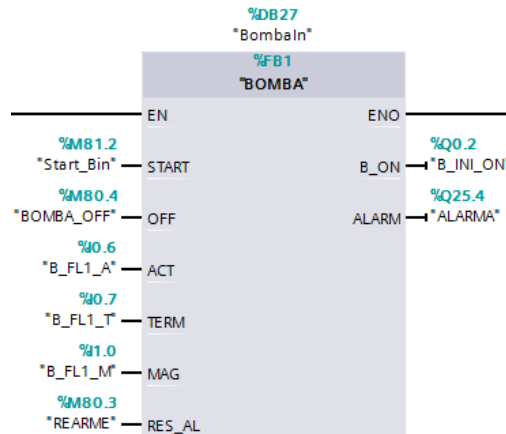
**Bombas:** El bloque de bombas permite agilidad y eficiencia en los espacios de memoria para la entrada de variables en el encendido de cada una, este bloque se compone de los siguientes valores de entradas y salidas que se asignan dentro del main principal. (Ver tabla 53)

*Tabla 53. Estructura de variables bloque de bombas.*

VARIABLE INSTANTÁNEA	TIPO
<b>Input</b>	
START	Bool
OFF	Bool
ACT	Bool
TERM	Bool
MAG	Bool
RES_AL	Bool
<b>Output</b>	
B_ON	Bool
ALARM	Bool
<b>Static</b>	
CONF_ACT	IEC_TIMER

De tal manera que se crea el siguiente esquema el cual es llamado dentro de programa Main (OB1) para realizar los encendidos necesarios dentro de cada ciclo requerido, asignándole las variables correspondientes a la bomba en correspondencia al direccionamiento de variables expuesta en la sección 5.2.3.

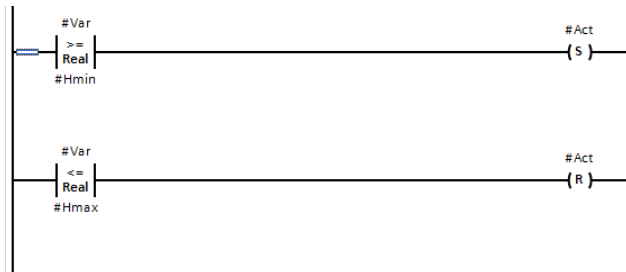
Figura 46 . Bloque de función bomba



Fuente: autores

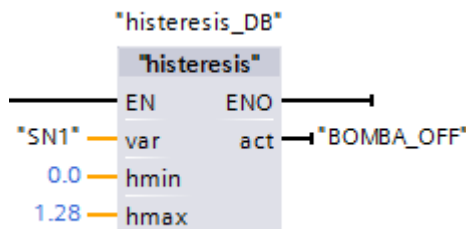
**Bloque histéresis:** este bloque cumple una función fundamental para el encendido de bombas ya que preserva su vida útil, evitando un encendido intermitente cuando la variable controlada se encuentre en el setpoint de control. La histéresis establece un rango con un valor mínimo para el encendido de la bomba y un valor máximo para el apagado de la misma. La histéresis se establece preservando los valores establecidos por la norma de agua potable.

Figura 47. Condiciones de bloque de función histéresis



Fuente: autores

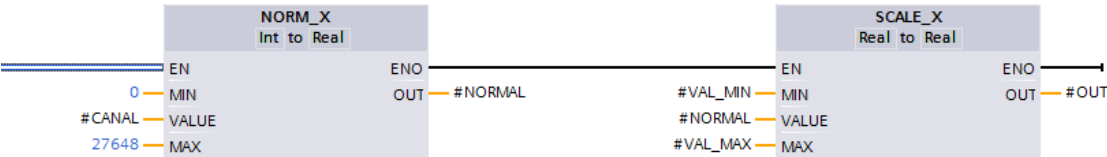
Figura 48. Bloque de histéresis



Fuente: autores

**Lecturas Analógicas:** Para el caso de las lecturas de cada uno de los sensores se toman los bloques de normalización el cual permite hacer la conversión de una variable entera (INT) tomada por el PLC en la entrada analógica y convertirla a una variable de tipo REAL donde posteriormente es posible realizar un escalamiento de ella de acuerdo a los rangos de medición en el sistema y los de operación de cada uno de los sensores.

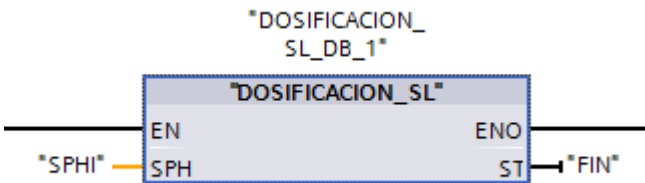
Figura 49. Bloques de normalización



Fuente: autores

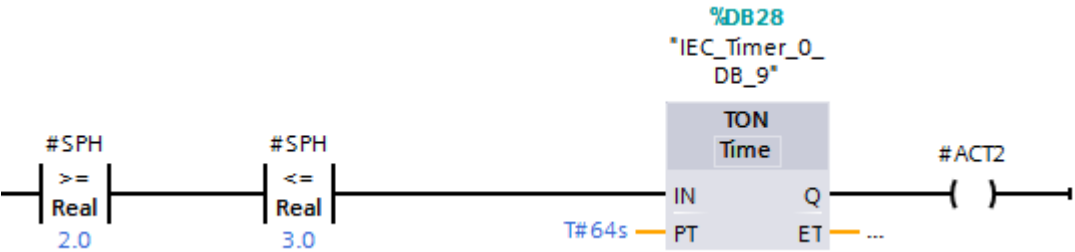
**Bloque de dosificación:** En este bloque se realiza la comparación de los valores procedentes de los sensores de PH o Cloro libre, que permiten definir el tiempo en que la bomba de dosificación debe estar encendida suministrando el químico correspondiente a la necesidad de potabilización, esto se realiza por medio de temporizadores calculados mediante la ecuación (2) y los valores mostrados en la tabla 39 respectivamente y sabiendo la cantidad por hora que permite suministrar cada bomba.

Figura 50. Bloque de dosificación



Fuente autores

Figura 51. Comparación de valores de Ph para suministro



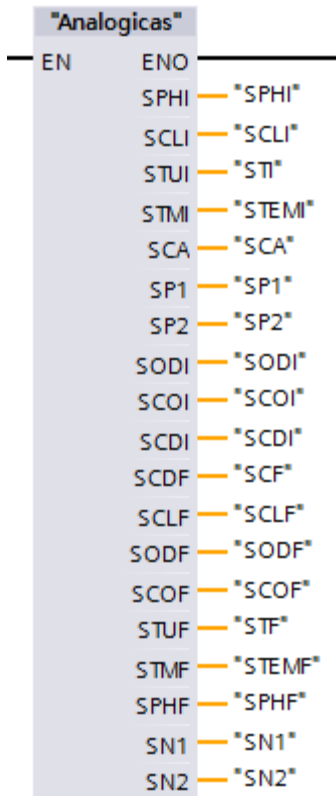
Fuente autores



**Las funciones FC:** Son bloques lógicos sin memoria, donde es posible asociar bloques de programa o funciones que se deben ejecutar en varios segmentos del programa siguiendo la misma lógica interna y de manera cíclica

**Analógicas:** En este bloque se realiza el llamado de la lectura de todos los sensores de entrada del sistema donde además internamente se cumple con la normalización y escalamiento de las señales de cada uno de los sensores.

Figura 52 Bloque de sensores de lectura



Fuente autores

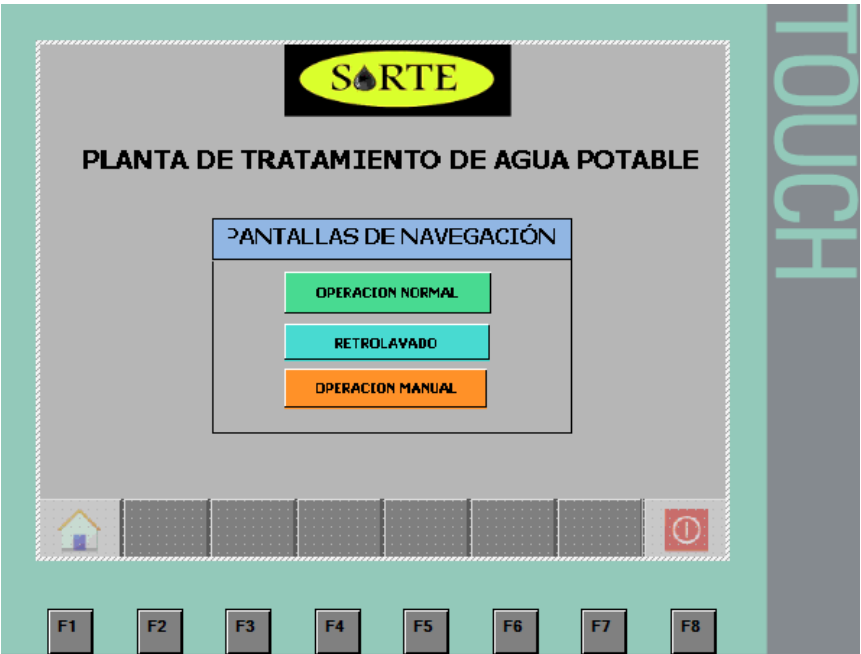
**Retrolavado:** en este bloque se genera la rutina de retrolavado donde se incluye una serie de temporizadores que cumplen con este requerimiento del programa cada 12 horas.

**Manual:** en este bloque se permite la operación desde la pantalla de visualización HMI para cambiar ciertos valores de operación del sistema, este programa realiza el encendido de bombas según el requerimiento.

A continuación, se muestra la Visualización en pantallas HMI donde se ve la simulación del comportamiento del sistema de automatización emulando las diferentes condiciones de contaminación del agua.

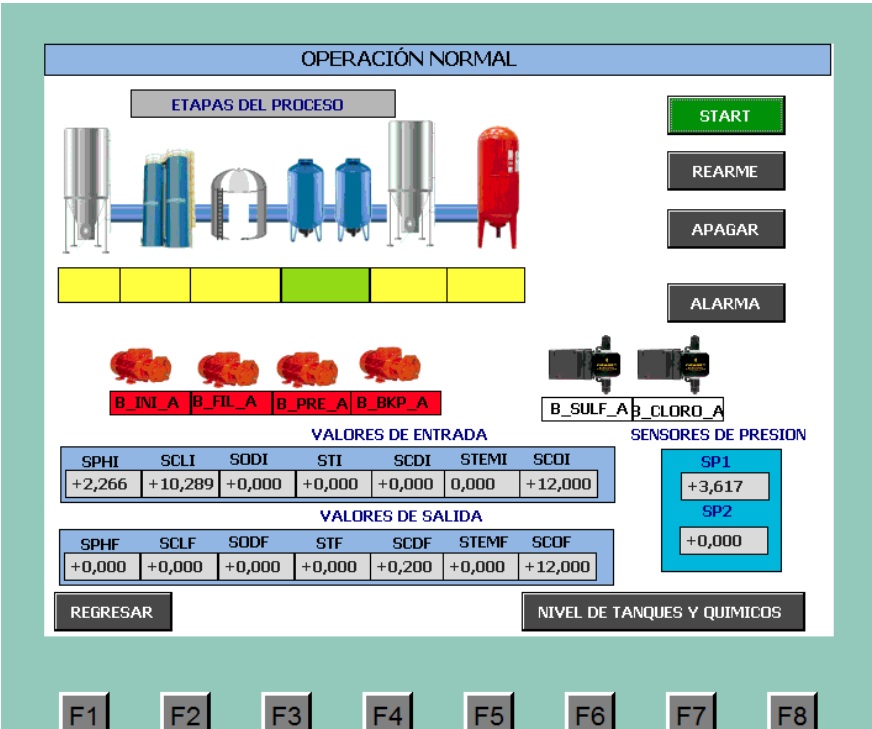


Figura 53. Raíz Menú principal de PTAP



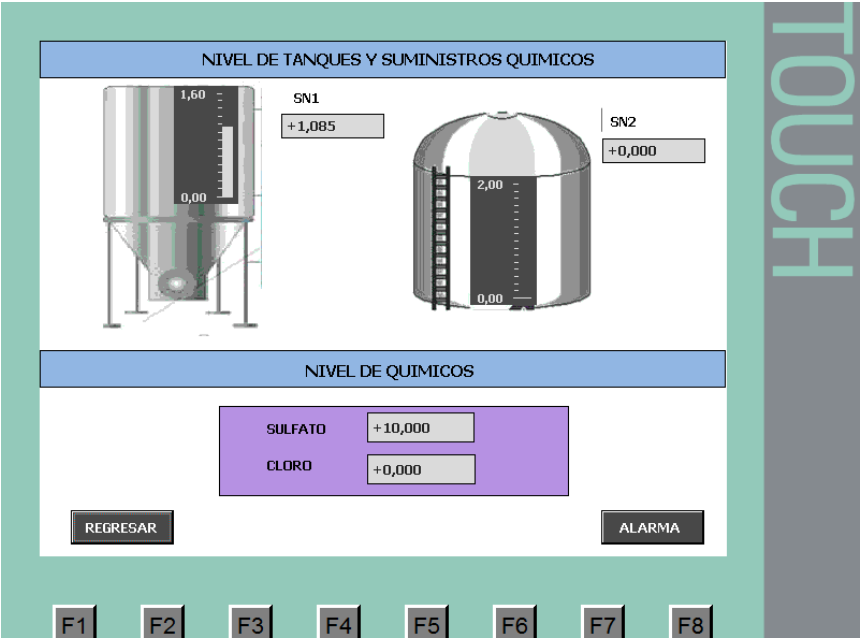
Fuente: Autores

Figura 54. Operación normal de PTAP



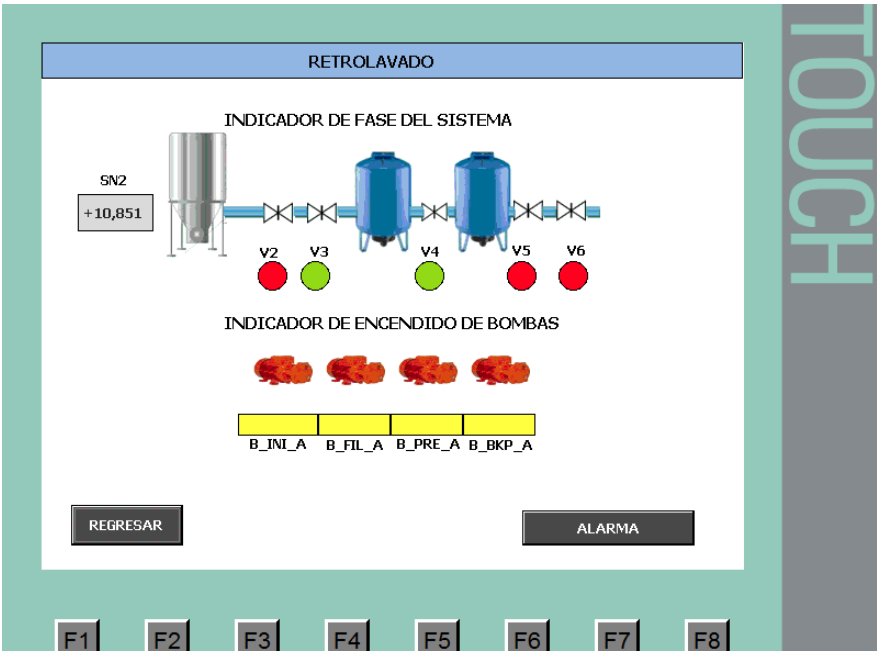
Fuente: Autores

Figura 55. Nivel de tanques y químicos



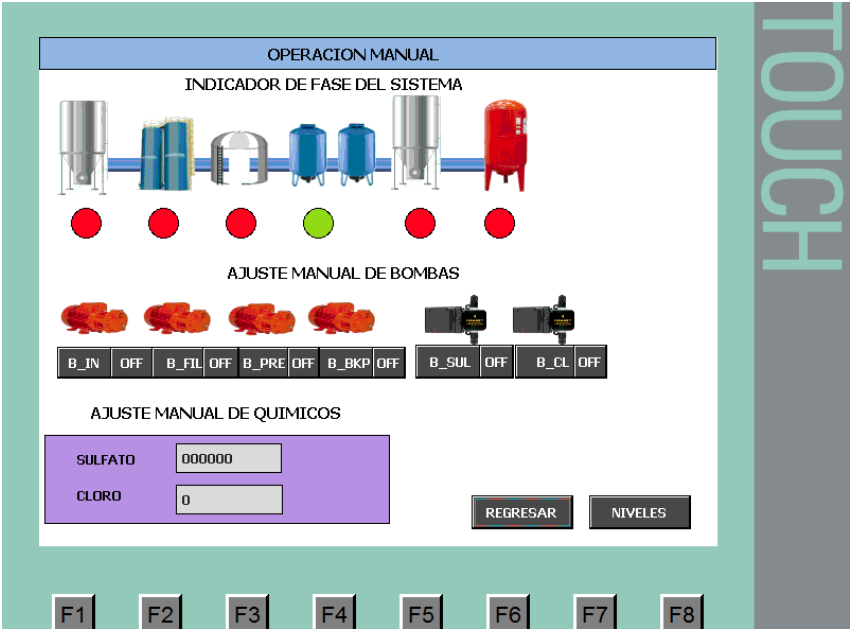
Fuente: Autores

Figura 56. Retrolavado de PTAP



Fuente: Autores

Figura 57. Operación manual de PTAP



Fuente: Autores

## 7. CONCLUSIONES

---

- La Determinación de las condiciones y la calidad del agua que ingresa a la PTAP, fue un aspecto fundamental para la determinación de todos los factores de estudio necesarios para un sistema de automatización que cumpla con los requerimientos de potabilización de acuerdo al decreto 1575 de 2007.
- La determinación de los instrumentos requiere de la observación de los rangos de las variables medidas y las características de operación en que serán instalados los equipos, esto con el fin de garantizar la confiabilidad de la medida y la durabilidad de los dispositivos.
- La plataforma de automatización Siemens, con la cual se realizó la automatización del proceso, ofrece las prestaciones necesarias para garantizar la operación adecuada de las plantas de tratamiento de agua potable bajo las exigencias de la aplicación y en las condiciones de operación deseadas.
- La implementación de pantallas de interacción HMI, permiten una visualización completa del proceso y el estado de sus variables, así como el control automático y manual del proceso incluido sus actuadores, lo cual permite corregir acciones en el proceso en caso de fallos en suministro de químicos por parte del sistema de automatización.

## 8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

---

Gracias a los datos otorgados por la empresa SORTE fue posible establecer las condiciones y la calidad del agua presentes en el sistema realizando una óptima caracterización de los valores de entrada generando una PTAP de referencia donde se establecieron los valores mínimos y máximos del sistema lo cual permitió una correcta selección de equipos necesarios dentro del sistema.

Se debe tener en cuenta que la determinación de los instrumentos de medición electrónicos para la captación se han escogido de acuerdo con los requerimientos de entrada de la PTAP de referencia obtenida, sin embargo, los equipos deben ser calibrados de acuerdo a las condiciones de clima y temperatura de cada una de las plantas.

Se recomienda tener en cuenta las condiciones de seguridad para la manipulación de equipos dentro de las plantas y observar los anexos sobre las características de los sensores para garantizar su vida útil y condiciones de resistencia a la intemperie.

Se recomienda generar un sistema de registro y reportes que permita la trazabilidad del comportamiento de las diferentes variables de la planta.

Con la infraestructura considerada en el proyecto es posible realizar un control más robusto de las diferentes variables de la planta, por ejemplo, con técnicas PID o similares que garantice niveles óptimos de las variables de interés para un correcto suministro de agua potable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] <http://www.caem.org.co/>, «Planta de tratamiento de agua para bovinos.,» [En línea]. Available: <http://www.caem.org.co/>. [Último acceso: 23 08 2016].
- [2] «Tratamiento de aguas residuales.,» [En línea]. Available: [http://www.ecured.cu/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](http://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales). [Último acceso: 09 08 2016].
- [3] «Definicion potabilizacion.,» [En línea]. Available: <http://www.definicionabc.com/?s=potabilizacion>. [Último acceso: 09 8 16].
- [4] AGUASISTEC, «Planta de tratamiento de agua.,» [En línea]. Available: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua.php>.. [Último acceso: 2016 08 09].
- [5] «Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP),» [En línea]. Available: BLOG SPOT. [En línea] [Citado el: 09 de 08 de 2016.]. [Último acceso: 09 08 2016].
- [6] « National Academy Sciences.,» [En línea]. Available: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Treatment-Processes.html>.. [Último acceso: 09 08 2016].
- [7] «Glosario.,» [En línea]. Available: <http://www.infojardin.net/glosario/flecha/floculacion.htm>.. [Último acceso: 01 09 2016].
- [8] « Planta de Tratamiento de agua residual,» 10 08 2016. [En línea]. Available: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/plantatratamiento.html>..
- [9] DISEPROSA, «Plantas de Tratamiento de Aguas,» [En línea]. Available: DISEPROSA. Interempresas. [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/87264/Plantas\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87264/Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas.pdf).. [Último acceso: 10 08 2016].
- [10] SENA. , «Calidad del agua,» 0810 2016. [En línea]. Available: [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html)..

- [11] «Tratamiento de aguas,» [En línea]. Available: [http://www.academia.edu/8696590/Tratamiento\\_de\\_aguas..](http://www.academia.edu/8696590/Tratamiento_de_aguas..) [Último acceso: 12 08 2016].
- [12] «Soluciones de tratamiento de aguas,» [En línea]. Available: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable..> [Último acceso: 12 08 2016].
- [13] A. A. [I. e. 1. d. O. d. 2016.], «Sedimentacion,» [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/articulos/sedimentacion.html..> [Último acceso: 15 08 2016].
- [14] Jean François DULHOSTE, «Fundamentos de medicion.,» [En línea]. Available: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index\\_archivos/Documentos/I2\\_Fundamentos\\_de\\_medicion.pd.](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I2_Fundamentos_de_medicion.pd.) [Último acceso: 11 08 2016].
- [15] C. D. B, Artist, *Optimización de los sistemas de medición y costos en las plantas de tratamiento de aguas y arcilla situada en la empresa fertilizantes colombianos S.A de la ciudad de Bucaramanga ..* [Art]. 2005.
- [16] «Fundamentos de Medidas de Presión,» 14 09 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/13034/es/..>
- [17] HANNA Instruments., «HANNA Instruments.,» [En línea]. Available: [http://www.hannachile.com/blog/post/3 ..](http://www.hannachile.com/blog/post/3..) [Último acceso: 10 08 2016].
- [18] SAT, «Procesos de potabilizacion del agua,» 15 08 2016. [En línea]. Available: <http://www.aguasdeltucuman.com.ar/admincont.php?paginaDo=../contenidos/4potabagua.htm..>
- [19] «Turbidimetro,» [En línea]. Available: [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/turbidimetro-kat\\_70147\\_1.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/turbidimetro-kat_70147_1.htm). [Último acceso: 18 08 2016].
- [20] «Testers Digitales,» [En línea]. Available: <http://www.ictsl.net/analisisdeaguas/kitsanalisisrapidoshanna/testersdigitalescheckers/kitdecloordelaguacheckerdigitalhanna.htm..> [Último acceso: 18 08 2016].
- [21] Organización Mundial de la Salud. , «Cloro residual,» [En línea]. Available: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf..> [Último acceso: 19 08 2016].

- [22] SEINCO, «Ptap,» [En línea]. Available: <http://www.seinco.com.uy/innovaportal/file/1268/1/1--presentacion-ptap-ffrp-v1.pdf>. [Último acceso: 18 08 2016].
- [23] «PTAP,» [En línea]. Available: <http://aquagreen.com.co/index.php/projects/26-category-two/19-ptap>. [Último acceso: 19 08 2016].
- [24] R. M. R. Galvin, «Características físicas, químicas y biológicas de las aguas,» 08 11 2016. [En línea]. Available: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf).
- [25] R. A. C. M. M. C. G. L. MARCÓ, «La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales,» (2004).
- [26] Oocities.org, «Parametros,» [En línea]. Available: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>. [Último acceso: 11 11 2016].
- [27] «Maquimsa,» [En línea]. Available: <http://maquimsa.com/fichastecnicas.html>. [Último acceso: 01 03 2017].
- [28] O. M. d. I. Salud, «Guías para la calidad del agua,» [En línea]. Available: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf). [Último acceso: 03 05 2017].
- [29] Riohenares.org, «Oxígeno Disuelto,» [En línea]. Available: <http://www.riohenares.org/index.php/rio-henares/calidad-de-las-aguas/40-oxigeno-disuelto-od.html>. [Último acceso: 09 11 2016].
- [30] Juan Rodríguez, «Blogspot,» 28 04 2012. [En línea]. Available: <http://unisistemasoptimo.blogspot.com.co/2012/05/ponderacion-lineal-scoring.html>. [Último acceso: 2017 03 08].
- [31] T. INNOVA, *Tratamiento de potabilizacion del agua*.
- [32] S. S. Barrera Eliecer, «Propuesta de automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en Velez Santander,» Velez-Santander, 2013.
- [33] «Aquaquimi,» [En línea]. Available: [http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html](http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html). [Último acceso: 16 04 2017].



- [34] I. M. S. d. Castillo, «Elimina la turbiedad del agua,» *Agua & ambiente*, 2016.
- [35] «Aguas Residuales,» [En línea]. Available: <https://aguasresiduales.wordpress.com/tag/bacterias-aerobicas/>. [Último acceso: 03 05 2017].
- [36] «Biblioteca vital de desarrollo sostenible y salud ambiental,» [En línea]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/inspecciones/lec6.pdf>. [Último acceso: 03 05 2017].
- [37] © Festo Didactic • MPS®, «Manual MPS-PA Compact Workstation,» 2008.
- [38] «Schneider Electric,» [En línea]. Available: <http://www2.schneider-electric.com/documents/product-services/en/product-launch/multistandard/8536DB0901.pdf>. [Último acceso: 29 05 17].
- [39] H. Andres, «DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL,» 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2918/621317M337.pdf;jsessionid=326862504D36B40B6D5E9EB8E1C689CB?sequence=1>. [Último acceso: 08 05 2017].
- [40] SIEMENS, [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/481697?pdtd=td&lc=es-WW>. [Último acceso: 02 06 2017].

## ANEXO A. INFORMACIÓN DE SOPORTE TÉCNICO

---

### REFERENCIAS DE DATASHEET

- **Datasheet sensor pH (Pág. 69-70):**  
<https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639982009>
- **Datasheet sensor oxígeno disuelto(Pág. 69-70):**  
[http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad\\_de\\_agua&product=56&product\\_name=HYDRO\\_401&language=3](http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad_de_agua&product=56&product_name=HYDRO_401&language=3)
- **Datasheet sensor Turbidez (Pág. 69-70):**  
[http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad\\_de\\_agua&product=59&product\\_name=HYDRO\\_710&language=3](http://www.seedmech.com/catalog.php?code=99&page=Calidad_de_agua&product=59&product_name=HYDRO_710&language=3)
- **Datasheet sensor conductividad (Pág. 69-70):**  
<http://www.mt.com/gb/en/home/products/Process-Analytics/conductivity-sensor/electrode/probe-InPro-7005.html>
- **Datasheet sensor cloro libre (Pág. 69-70):**  
<https://latam.hach.com/sensor-de-cloro-libre-clf10-controlador-y-panel-de-acero-inoxidable-con-sensor-diferencial-phd-sc200/product-details?id=16076455324>
- **Datasheet sensor color (Pag. 69-70):** <http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Color-and-Contrast-Photoelectric-Sensors/ColorSight-Color-and-Contrast-Sensors#documentation>
- **Datasheet sensor temperatura (Pag. 69-70):**  
<http://www.ott.com/es-la/productos/nivel-de-agua-86/ott-ctd-292/ç>
- **Datasheet sensor de nivel (Pág. 69-70):**  
<https://www.vega.com/DocumentDownloadHandler.ashx?...1003088...6...pdf...>
- **Datasheet sensor caudal (Pag. 69-70):**  
[https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/374746/SFAW\\_2015-04\\_8044290e1.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/374746/SFAW_2015-04_8044290e1.pdf)
- **Datasheet sensor presión (Pág. 69-70):**  
<https://www.anderson-negele.com/mx/p/sensores-de-presion/tpp/>

- **Datasheet rele (pag 84) :**  
[http://www.ateco.it/pdf/art084\\_trp68\\_69.pdf](http://www.ateco.it/pdf/art084_trp68_69.pdf)
- **Datasheet contactor (Pag 85):**  
[http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/content/live/FAQS/228000/FA228499/ko\\_KR/CH5%20Contactors.pdf](http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/228000/FA228499/ko_KR/CH5%20Contactors.pdf)
- **Datasheet motor trifásico (Pág. 83):**  
<http://old.weg.net/co/Productos-y-Servicios/Motores-Elctricos/Industriales-Trifasicos/W22-Carcasa-de-Hierro-Gris-High-Efficiency-IE2>
- **Datasheet PLC PLC's S7-1200 (Pag. 94):**  
<http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/MicroLogix-1200#specifications>
- **Datasheet PLC MicroLogix 1200 (Pag. 94):**  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/catalog/products/10045647?activeTab=order&regionUrl=WW>
- **Datasheet PLC CPX-CEC-C1 (Pag. 94):**  
[https://www.festo.com/cms/es-co\\_co/53955.htm](https://www.festo.com/cms/es-co_co/53955.htm)