

DISEÑO DE PROPUESTA INTEGRAL DE MEJORAMIENTO PARA EL  
PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO AGUA POTABLE  
EL TABLAZO DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A.



**Miguel Santiago Campos Valdivieso**

*Universidad del Cauca*  
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**  
**Ingeniería Automática Industrial**  
Popayán, octubre de 2.022

DISEÑO DE PROPUESTA INTEGRAL DE MEJORAMIENTO PARA EL  
PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO AGUA POTABLE  
EL TABLAZO DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A.

**Miguel Santiago Campos Valdivieso**

Trabajo de grado como requisito para optar al título de  
Ingeniero en Automática Industrial

Asesor de la empresa: Ing. Mauricio Ramírez

Director: Msc. Oscar Amaury Rojas

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**

**Ingeniería Automática Industrial**

Popayán, octubre de 2.022

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL DIRECTOR**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I .....	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	10
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.2.2 OBJETIVOS GENERALES .....	10
1.3 CONTENIDO DEL DOCUMENTO.....	10
CAPITULO II .....	12
2. MARCO REFERENCIAL.....	12
2.1 MARCO TEÓRICO.....	12
2.2 MARCO CONTEXTUAL .....	17
CAPITULO III .....	20
GESTION DEL PROYECTO .....	20
3. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES DE LA PLANTA EL TABLAZO. ....	23
3.1 DESCRIPCIÓN TEÓRICA DE LA PLANTA Y EL PROCESO. ....	23
3.2 ESTUDIO DETALLADO DEL PROCESO POR ETAPAS EN CAMPO .....	25
3.2.1 AIREACIÓN.....	25
3.2.2 DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS.....	26
3.2.3 FLOCULACIÓN.....	30
3.2.4 SEDIMENTACIÓN .....	31
3.2.5 FILTROS RAPIDOS .....	32
3.2.6 DESINFECCIÓN.....	34
3.2.6.1 DOSIFICADORA DE CLORO.....	34
3.2.7 ALMACENAMIENTO.....	36
3.2.8 DISTRIBUCIÓN .....	40
CAPITULO IV .....	42
4. DIAGNOSTICO PROCESO PRODUCTIVO PLANTA EL TABLAZO.....	42
4.1 NIVEL DE DIFICULTAD EN EL DESARROLLO DEL PROCESO. ....	42
4.2 NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN.....	44
4.3 ANÁLISIS MODELOS ISA – 88.....	48
4.3.1 ANÁLISIS GENERAL MODELO DE PROCESO .....	48

4.3.2 ANÁLISIS GENERAL MODELO FÍSICO .....	49
4.3.3 ANÁLISIS GENERAL MODELO DE CONTROL PROCEDIMENTAL .....	50
4.4 ASPECTOS GENERALES RELACIONADOS CON LAS NECESIDADES DEL PROCESO .....	51
4.4.1 DOCUMENTACIÓN .....	51
4.4.2 NECESIDAD DE AUTOMATIZACIÓN EN LAS FASES DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE. .....	51
4.4.3 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE AGUA POTABLE. ....	52
LISTA DE REQUERIMIENTOS .....	52
CAPITULO V .....	53
5. PROPUESTA INTEGRAL DE MEJORA .....	53
5.1 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS Y PROPUESTA IoT: .....	53
5.1.1 PROPUESTA IoT .....	56
5.2 VÁLVULAS DE COMPUERTA NEUMÁTICA.....	60
5.3 ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA.....	63
5.4 DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN .....	69
CAPITULO VI .....	71
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
6.1 CONCLUSIONES .....	71
6.2 RECOMENDACIONES .....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
APÉNDICES .....	75
APÉNDICE A .....	75
A.1 MODELO DE PROCESO .....	75
A.2 MODELO FISICO .....	84
A.3 MODELO DE CONTROL PROCEDIMENTAL.....	89
APÉNDICE B .....	97
ENCUESTAS PARA REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN .....	97
B.1 NIVEL DE DIFICULTAD DEL PROCESO .....	97
B.2 ENCUESTAS REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN .....	99
DOCUMENTACIÓN .....	99
NECESIDAD DE AUTOMATIZACIÓN DE FASES DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	100
NECESIDAD DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS.....	101
ANEXOS .....	103

<i>Ilustración 1. Organigrama Acueducto - Fuente: Acueducto.com.co</i>	19
<i>Ilustración 2. Ilustración gestión de proyectos secuencial o firewall - Fuente asana.com/es</i>	20
<i>Ilustración 3. Diagrama de Gantt del proyecto - Fuente propia.</i>	21
<i>Ilustración 4. Ubicación geográfica planta El Tablazo – Fuente googlemaps.com.</i>	23
<i>Ilustración 5. Cascada y rejilla de control de basuras – Fuente propia.</i>	26
<i>Ilustración 6. Área Dosificación de Químicos - Fuente propia.</i>	27
<i>Ilustración 7. Sistema Medición de Variables - Fuente propia.</i>	27
<i>Ilustración 8. Maquina Dosificadora de Cal - Fuente propia.</i>	29
<i>Ilustración 9. Maquina Dosificadora de Sulfato - Fuente propia.</i>	30
<i>Ilustración 10. Floculadores Hídricos – Fuente propia.</i>	31
<i>Ilustración 11. Sedimentadores - Fuente propia.</i>	32
<i>Ilustración 12. Filtros Rápidos - Fuente propia.</i>	33
<i>Ilustración 13. Accionadores Válvulas Neumáticas - Fuente propia</i>	33
<i>Ilustración 14. Maquina Dosificadora de Cloro – Fuente propia.</i>	35
<i>Ilustración 15. Tanques de Cloro Gaseoso - Fuente propia.</i>	36
<i>Ilustración 16. Entrada Tanques de Almacenamiento - Fuente propia.</i>	37
<i>Ilustración 17. Sistema de Control de Variables Agua Tratada – Fuente propia.</i>	38
<i>Ilustración 18. Diagrama de flujo con entradas Planta El Tablazo -Fuente Propia.</i>	41
<i>Ilustración 19. Cadena del valor del proceso - Fuente propia.</i>	41
<i>Ilustración 20. Grafica porcentual nivel de dificultad en el proceso - Fuente Propia.</i>	44
<i>Ilustración 21. Grafica porcentual nivel de automatización – Fuente propia.</i>	47
<i>Ilustración 22. Estructura IoT Planta el Tablazo - Fuente propia.</i>	58
<i>Ilustración 23. Modelo de compuerta neumática - Fuente cmovalves.com</i>	61
<i>Ilustración 24. Mediciones necesarias para la fabricación de la compuerta – Fuente cmovalves.com</i>	62
<i>Ilustración 25. Tabla de componentes e ilustración de los componentes</i>	62
<i>Ilustración 26. Dosificadora de Sulfato - Fuente propia.</i>	63
<i>Ilustración 27. Dosificadora de Cal - Fuente propia.</i>	64
<i>Ilustración 28. Dosificadora de Sulfato y Cal - Fuente fadipartes.com.</i>	65
<i>Ilustración 29. Variador de velocidad maquina Dosificadora – Fuente fadipartes.com.</i>	65
<i>Ilustración 30. Partes del Dosificador de químicos – Fuente fadipartes.com.</i>	66
<i>Ilustración 31. Rotámetro dosificador de cloro - Fuente propia.</i>	67
<i>Ilustración 32. Dosificador de Cloro gaseoso – Fuente hydroinstruments.com.</i>	68
<i>Ilustración 33. Organigrama Área de automatización y gestión de la calidad - Fuente Propia.</i>	70
<i>Ilustración 34. Modelo Físico (Área, Sitio, Unidad, Modulo de control) - Fuente propia.</i>	85
<i>Ilustración 35. Modelo Control Procedimental Unidad B - Fuente Propia.</i>	89
<i>Ilustración 36. Modelo Control Procedimental Unidad B - Fuente Propia.</i>	90
<i>Ilustración 37. Modelo Control Procedimental Unidad C - Fuente Propia.</i>	92
<i>Ilustración 38. Modelo Control Procedimental Unidad D - Fuente Propia.</i>	93
<i>Ilustración 39. Modelo Control Procedimental Unidad E - Fuente Propia.</i>	93
<i>Ilustración 40. Modelo Control Procedimental Unidad E - Fuente Propia.</i>	94
<i>Ilustración 41. Modelo Control Procedimental Unidad F - Fuente Propia.</i>	96

Tabla 1. Información Acueducto - Elaboración Propia. _____	17
Tabla 2. Área Aireación - Fuente propia. _____	26
Tabla 3. Área Dosificación de Químicos - Fuente propia. _____	30
Tabla 4. Área Floculación - Fuente propia. _____	31
Tabla 5. Área Sedimentación - Fuente propia. _____	32
Tabla 6. Área Filtros Rápidos - Fuente propia. _____	34
Tabla 7. Área Desinfección - Fuente propia. _____	36
Tabla 8. Área Almacenamiento – Fuente propia. _____	40
Tabla 9. Área Distribución – Fuente propia. _____	40
Tabla 10. Nivel de automatización de las fases del proceso - Fuente propia. _____	47
Tabla 11. Lista de requerimientos consolidada - Fuente propia. _____	52
Tabla 12. Formato A Plan mantenimiento mensual - Fuente propia. _____	55
Tabla 13. Formato B mantenimiento semanal - Fuente propia. _____	56
Tabla 14. Instrumentación Sistema de Medición Planta El Tablazo - Fuente propia. _____	59
Tabla 15. Instrumentación necesaria IoT - Fuente propia. _____	59
Tabla 16. Características de la compuerta neumática - Fuente propia. _____	61
Tabla 17. Características técnicas maquina dosificadora de Sulfato y Cal - Fuente propia. _____	66
Tabla 18. Características técnicas dosificador de cloro - Fuente propia. _____	68
Tabla 19. Modelo de Proceso Unidad B -Fuente propia. _____	78
Tabla 20. Modelo de proceso Unidad C - Fuente propia. _____	80
Tabla 21. Modelo de proceso Unidad D - Fuente propia. _____	81
. Tabla 22. Modelo de proceso Unidad F - Fuente propia. _____	84
Tabla 23. Modelo Físico (Células de proceso, Unidades, Modulo de equipo, Modulo de control) - Fuente propia. _____	89
Tabla 24. Especificaciones C.P Unidad B - Fuente propia. _____	91
Tabla 25. Especificaciones C.P Unidad C - Fuente propia. _____	92
Tabla 26. Especificaciones C.P Unidad D - Fuente propia. _____	93
Tabla 27. Especificaciones C.P Unidad E - Fuente propia. _____	95
Tabla 28. Especificaciones C.P Unidad F - Fuente propia. _____	96
Tabla 29. Encuesta Nivel de dificultad del proceso –Fuente propia. _____	99
Tabla 30. Encuesta sobre Documentación - Fuente propia. _____	99
Tabla 31. Necesidad de automatización de las fases - Fuente propia. _____	101
Tabla 32. Encuesta sobre Mantenimiento - Fuente propia. _____	102

## **INTRODUCCIÓN.**

La optimización, mejoramiento, innovación, estudio, diagnóstico de procesos industriales es fundamental para el desempeño de un proceso productivo, es decir si un proceso productivo aplica las estrategias mencionadas anteriormente seguramente podrá garantizar un producto o servicio de alta calidad, pero si un proceso productivo no es innovado, no es mejorado, no es optimizado, no es estudiado ni diagnosticado para mejorar, seguramente no se podrá garantizar la calidad estandarizada del producto o servicio, ya que se verá afectado directamente el desempeño del proceso, lo que a la larga se puede traducir en pérdidas económicas y en el peor de los casos enfrentar acciones legales.

La empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A es la encargada de suministrar agua potable a toda la ciudad de Popayán, el agua potable es de vital importancia para la vida por eso es necesario que las plantas de tratamiento de agua potable garanticen la calidad estandarizada de este producto, debido a la complejidad de su procesos, el cambio climático y la exigencia de mantener controladas diferentes parámetros del agua en un mismo periodo de tiempo, hacen tediosa su producción y donde el mínimo error puede desencadenar en la producción de agua no óptima para el consumo humano, evidenciando una necesidad de implementar técnicas o prácticas de automatización con la finalidad de garantizar una producción de agua potable de calidad.

El presente proyecto se pretende diseñar una estrategia para estudiar y diagnosticar el proceso productivo de la Planta de tratamiento de agua potable el tabazo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado S.A de Popayán, a través de una metodología soportada en el estándar ISA - 88, que permita conocer el estado de operación real de la planta, identificando necesidades de automatización y oportunidades de mejoramiento presentes en el proceso productivo. Con el fin de responder a las necesidades de la planta con el planteamiento de posibles alternativas de soluciones orientadas desde el punto de vista de la automatización de procesos que se puedan traducir a la larga en un mejoramiento, actualización y optimización del desempeño del proceso productivo de la planta.



# CAPÍTULO I

En este capítulo se ilustran las principales generalidades relativas al proyecto, se inicia con la descripción de la situación problemática que motivó su realización y los objetivos propuestos que darán solución al problema planteado se describe la metodología que se seguirá para alcanzar los objetivos declarados y los principales aportes del proyecto. Finalmente, se detalla el contenido del documento por capítulos.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Planta de Tratamiento Agua Potable el Tablazo de Popayán fue inaugurada en el año 1928, para ese año el Acueducto atendía una población aproximada de 50.000 habitantes. Hoy en día esta planta sigue funcionando en condiciones similares de infraestructura y de procesos que desencadenan en la potabilización del agua, donde la mayoría de la instrumentación utilizada para la producción de agua potable tienen alrededor de 40 años, alguna de esta instrumentación presenta fallos ocasionales ya sea debido a su antigüedad o la falta de planificación de mantenimiento, lo que puede traducirse en un tiempo como un incremento en los tiempos de producción, alza en los costos de reparación e insumos, variación en la calidad del agua, aumento de los desperdicios, entre otros factores.

Basado en lo mencionado anteriormente se generan las siguientes preguntas, ¿Se cumple con los estándares de calidad del agua? ¿Se ejecutan de manera correcta los procesos de producción de agua potable? ¿Cuánto gasta el acueducto en reparación de instrumentación antigua? ¿Cuál es la situación real de operación de la planta? ¿Son obsoletos los procedimientos de producción de agua potable de la planta? ¿En qué estado y cómo es operada la instrumentación de la planta? ¿Cuál es la satisfacción del cliente? ¿Cuánto es el desperdicio por mal manejo del recurso hídrico?

Hasta la fecha el Acueducto cuenta con más de 90.086 usuarios, cifra que cada año tiene un incremento, convirtiéndose en un reto y una necesidad para la entidad de querer mejorar, actualizar y optimizar sus procesos, instrumentación y todo lo relacionado al desarrollo del proceso productivo, lo cual al final se traduce en un mejor desempeño del proceso, prestación de un servicio de calidad y la satisfacción de sus usuarios.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Estructurar una propuesta integral de mejora para el proceso productivo de la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.

### **1.2.2 OBJETIVOS GENERALES**

- Analizar el proceso productivo de la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo.
- Realizar el diagnóstico por etapas del proceso productivo de la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo.
- Plantear oportunidades de mejoramiento del proceso productivo de la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo.

## **1.3 CONTENIDO DEL DOCUMENTO**

Este documento consta de seis (6) capítulos, los cuales se describen de manera muy breve a continuación:

- **Capítulo 1.**  
En este capítulo presenta de manera general los fundamentos del proyecto, el objetivo al que se pretende llegar y el planteamiento de los objetivos específicos con los que se quiere llegar al cumplimiento del mismo.

- **Capítulo 2. Marco referencial**

En este capítulo se presenta los conceptos, antecedentes, historia, metodologías, referencias, definiciones, que hace parte de los conceptos básicos del proyecto, refiriéndose a una estrategia de mejoramiento desarrollada mediante una metodología secuencial que permita el cumplimiento de los objetivos planteados.

- **Capítulo 3. Identificación de la planta y estudio detallado por etapas.**

En este capítulo muestra cómo se realizó la identificación inicial de la planta y su proceso. Partiendo del reconocimiento de las áreas de campo y sus respectivas etapas de desarrollo del proceso productivo de agua potable. Realizando el estudio detallado de los procesos que se ejecutan dentro de cada una de las etapas del proceso y la operación de la instrumentación utilizada para el cumplimiento de los procesos que desencadenan en la producción de agua potable. Con el fin de conocer la situación real de operación de la planta

- **Capítulo 4. Análisis de información.**

En el capítulo 4, se analiza la información recolectada sobre la operación real de la planta, que a su vez será soportada mediante la metodología ISA-88, a fin de identificar oportunidades de mejoramiento que permitan satisfacer las necesidades presentes en el proceso.

- **Capítulo 5. Propuesta integral**

En este capítulo, se muestra la formulación de una propuesta integral de mejora, conformada por alternativas de solución que respondan de manera oportuna y eficiente a las necesidades identificadas, teniendo como fin apoyar en el potenciamiento del desempeño del proceso.

- **Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.**

Finalizando con el Capítulo seis, donde se plantean las conclusiones del proyecto junto con algunas recomendaciones y anexos.

# CAPITULO II

En este capítulo, se exponen los fundamentos teóricos y de investigación del proyecto, lo cual ayudan a la comprensión de los conceptos y los resultados obtenidos en este documento. Partiendo del marco teórico el cual ofrece una breve descripción de la teoría que fundamenta el proyecto y finaliza con el marco contextual el cual hace una descripción específica de la empresa donde se desarrolló el proyecto.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

La optimización de procesos es usada frecuentemente en la industria moderna, la competencia y la calidad de los productos, llevan a las empresas a tener que innovar, actualizar, optimizar y mejorar cada día para poder seguir existiendo competitivamente. Para poder optimizar un proceso se debe realizar un diagnóstico previo, según Rodríguez (2007) un estudio previo a toda planificación o proyecto, dice que consiste en la recopilación de información, su ordenamiento, su interpretación y la obtención de conclusiones e hipótesis, además nombra que el diagnóstico consiste en analizar un proceso y comprender su funcionamiento, de tal manera de poder proponer cambios en el mismo y determinar las necesidades y fallas presentes.

Entendiendo la importancia de diagnosticar un proceso, ¿qué podemos interpretar al momento de levantar toda esta información necesaria y conocer todo lo que concierne al proceso? dice Rodríguez (2007) que la valoración de los procesos permite conocer mejor la realidad, la existencia de debilidades y fortalezas, y entender todos los actores que influyen en el desarrollo del proceso, opina que nos permite definir problemas y potencialidades, como también cuales problemas son causa y cuales consecuencia, así mismo considera que el diagnóstico nos permite diseñar estrategia, identificar alternativas y decidir qué acción realizar.

Acevedo (2015) plantea ciertos niveles de optimización de procesos industriales, donde uno de ellos es la optimización de las unidades de proceso que está enfocado a determinar cuál es el valor apropiado para las variables de operación óptimas del proceso que cuyo objetivo es la operación de la planta lo más cerca posibles de sus condiciones óptimas en cada instante de tiempo. Por otra parte, habla sobre el control de procesos donde los puntos óptimos de la operación, diagnosticados en el nivel anterior tienen que ser implementados en el proceso, estos cambios de punto

de operación no pueden llevarse a cabo de modo instantáneo, ya que variaciones drásticas podrían dar lugar a variaciones indeseables y fallas en el proceso.

En este sentido, entrando al tema de diagnóstico de procesos en plantas de tratamiento de agua potable, Bernal (2018) realiza un diagnóstico del sistema operativo de la planta de tratamiento de agua potable en Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del Meta con el propósito de identificar cuáles son los procesos ineficientes y de acuerdo a ello formular alternativas de mejoramiento, lo que les permitió evaluar, comparar y diagnosticar el estado de cumplimiento de la planta en términos de calidad, cantidad y continuidad del servicio, utilizando como metodología el análisis de los parámetros hidráulicos, el caudal, el procesos de floculación, sedimentación y demás procesos de la planta, con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (2017).

Por otra parte, Piri, Homayoonnezhad & Amirian (2010) plantean que es necesario recopilar información sobre el rendimiento de la planta, como lo son, las tendencias y análisis de datos, comprobación de los criterios de diseño de la planta frente a los reales, seguimiento de la dosificación de productos químicos frente al rendimiento y mediciones de campo para realizar la tendencia y diagnóstico de los datos que se recogen de la planta pues son los que permiten determinar los indicadores de calidad del agua para un buen funcionamiento y rendimiento operacional de la planta.

Laine, Phan, Pellarin & Robert (1999) lograron comprender una disfunción periódica en una planta de producción de agua potable en un lugar al norte de África, realizaron un diagnóstico del acueducto mediante un software, el cual les permitió identificar un fenómeno que se presenta a causa de las condiciones meteorológicas que se dan en verano, las cuales dificultaban la correcta floculación, consecuente a esto el software les permitió realizar una Propuesta de mejoramiento del tanque floculador que permite tratar el agua de manera correcta en el verano, garantizando su calidad.

También Sorlini, Collivignarelli, Catagnola, Crotti & Rabonni (2015) consideran que hay ciertos parámetros que influyen en la seguridad del agua potable, las fuentes donde se refieren a la contaminación de aguas subterráneas, sus tratamientos y nombran de ejemplo las plantas de tratamiento que no funcionan correctamente y finalizan con la contaminación dentro del sistema de distribución, por ejemplo infraestructura que no se mantiene adecuadamente, por lo anterior, proponen que la evaluación del rendimiento de esos sistemas, basado en la monitorización, el control de los parámetros del proceso y las pruebas experimentales, son una herramienta viable en la optimización del proceso y el control de la calidad del agua, lo hacen a través de un procedimiento para diagnosticar el rendimiento de las plantas de tratamiento de agua potable (ETAP), con el cual logran dar soluciones efectivas con el fin optimizar el funcionamiento del proceso de la planta.

Osorio (2008) hace un diagnóstico de un acueducto en Cuba, en el cual encontró que en el sistema de abastecimiento de agua hacia la planta solo cuenta con una bomba que está en mal estado técnico y si deja de funcionar, trae consigo la paralización de todo el acueducto, por lo que propone la inmediata instalación de una bomba de repuesto, además, obtuvo mediante el diagnóstico, que después de realizar las pruebas fisicoquímicas en el laboratorio, el agua del acueducto presenta un elevado color y un alto grado de turbidez por lo que propone implementar un dosificador de sulfato de aluminio para la realización de la operación de coagulación y floculación, con lo anterior, resalta la importancia de un adecuado diagnóstico, pues esto permite tener claridad en las falencias del proceso, logrando así estructurar una serie de recomendaciones específicas al acueducto, por ejemplo Osorio (2008) plantea el rediseño de los filtros lentos y los filtros rápidos con el objetivo de dar solución a la baja efectividad de la operación.

Finalmente, Slavik & Uhl (2009) dicen que los cambios en la calidad del agua potable a largo plazo se deben a la gestión en las áreas de captación, pero también en medida a los impactos externos como lo son los cambios climáticos. Nombran que a mediano y largo plazo se ven afectados por cuestiones de la gestión en los procesos. Proponen utilizar una herramienta informática de diagnóstico que sirva de apoyo para la gestión de los embalses sobre los efectos de las diferentes estrategias que se emplean en embalses sobre la calidad y cantidad de agua que tienen, la capacidad de retención, el estado ecológico de los ríos y sobre todo el tratamiento de agua potable. Uno de los propósitos de esta herramienta es la descripción del impacto de las distintas calidades de agua en tratamiento y el suministro de agua potable. Con la herramienta se pretende simular no solo la calidad del agua, sino también el impacto de la gestión en la prevención del riesgo de inundaciones y la calidad del agua potable (eficacia y costes del tratamiento) y ayudar a la toma de decisiones para la gestión de embalses.

Con respecto al planteamiento de los diferentes autores nombrados anteriormente, se deja en evidencia la importancia de realizar un buen diagnóstico del proceso productivo, el cual permite conocer su situación real de operación, identificar de manera precisa y concisa las áreas potenciales de desarrollo, y evidenciar las falencias que afectan al correcto funcionamiento del proceso, reconociendo oportunidades de mejoramiento y logrando así apoyar con soluciones efectivas. Bajo esta misma idea en este trabajo, la información que se recolectara mediante el diagnóstico del proceso productivo de la planta el Tablazo será soportada bajo los modelos del estándar ISA 88, lo que facilitara la identificación de los factores que puedan afectar al desarrollo del proceso y la calidad del producto.

El estándar ISA-88 “desarrolló una metodología batch que permite a la industria crear formas estándares para automatizar la producción batch y al mismo tiempo,

reducir tanto la complejidad como los costos asociados a los sistemas propietarios” (Quilindo, 2011) en palabras más claras este estándar, es un sistema de gestión que produce cantidades de material finito en un tiempo determinado, esta materia prima se someten a un conjunto de operaciones ordenadas en las que se identifica el uso de uno o varios recursos que ayudan a la transformación del mismo. La norma “ISA-88 indica que se debe analizar por separado, las capacidades de los equipos de la planta (modelo físico), y los procedimientos requeridos para realizar el proceso (modelo procedimental)” (Quilindo, 2011), estructurando así toda información de la operación del proceso de producción bajo los modelos que han sido definidos en el estándar, los cuales ayudan a identificar los recursos disponibles y la fases que se desarrollan al momento de la fabricación de un producto, obteniendo así una estructuración de la operación del proceso productivo en la planta. Gracias a todo lo anterior el estándar permite “De esta manera diagnosticar la empresa, establecer claramente las características del sistema de producción, así como especificar formalmente los procedimientos y sus métodos de producción dentro de un esquema de integración del sistema empresarial. De esta manera, se realiza la jerarquización de los activos físicos con un alto grado de independencia con sus actividades de procesamiento con el objetivo de obtener la flexibilidad requerida en el uso óptimo de los recursos y habilitar la construcción de instrucciones genéricas.” (Chacon, 2009)

Peña (2010) realiza la estandarización de sistemas de control de riego soportado bajo el estándar ISA-88, en búsqueda de una implementación de mecanismos de diagnóstico de fallos avanzados, menciona que los diagnósticos de fallos actuales, no son efectivos a la hora de determinar una falla en algún sensor del proceso, lo cual puede generar gran impacto a la hora de presentar un imprevisto en el desarrollo del proceso. Primeramente, plantea un modelo de proceso que permita la estandarización del sistema de control, soportado bajo la norma ISA-88, en los modelos físicos, de procedimiento y de proceso sobre los sistemas de control de riego. En la segunda parte habla sobre la implementación de un prototipo software el cual controla y supervisa, por medio del protocolo industrial OPC un sistema de control de riego piloto. Luego, en la tercera parte, realiza el diagnóstico de los fallos del sistema, en donde el caso de estudio expone “la problemática que este tipo de sistemas conlleva, al sólo poder determinar automáticamente los fallos que se presentan en las válvulas más no en los sensores de caudal existentes en el sistema. Por lo tanto, se plantea utilizar una técnica de diagnóstico de fallos a nivel estructural, que permite detectar y aislar los fallos desde el análisis del comportamiento del mismo sistema. Todo esto desde el enfoque FDI “(Peña, 2010). Es así como se ve evidenciado la importancia de un buen diagnóstico que a su vez este fundamentado en los modelos del estándar ISA-88, lo cual facilitara la identificación de los diferentes factores que afectan el desempeño de los procesos, dando paso a oportunidades de mejora.

Con lo planteado anteriormente por lo diferentes autores, en este proyecto se propone realizar un diagnóstico detallado por etapas teniendo como base la cadena de valor del proceso de planta El Tablazo, para posteriormente con la información que sea obtenida al realizar el estudio de la cadena del valor, la cual será investigada a partir del estudio de cada una de sus etapas, como también de las operaciones que se efectúan dentro de ellas y la instrumentación necesaria utilizada, con toda esta información se podrá realizar un buen diagnóstico, permitiendo así identificar oportunidades de mejoramiento. Pues como plantea Chacón (2008), con esta información se está en la capacidad de conocer totalmente el proceso de producción real que se llevaba a cabo en la planta. Posteriormente se estructura esta información bajo los modelos del estándar ISA-88, con la implementación de esta metodología permite tener una mayor claridad sobre las necesidades, puntos críticos y límites del sistema de producción, permitiendo así realizar un buen diagnóstico del proceso, dando pie a plantear alternativas de solución efectivas que contribuyan al mejoramiento y optimización del proceso.

Con respecto al desarrollo del proyecto, se sigue una estrategia llamada, Gestión de proyectos en cascada, según (Laoyan, 22), “El modelo en WaterFall es una metodología para gestión de proyectos que se divide en distintas fases. Cada fase comienza recién cuando ha terminado la anterior. Este enfoque para la gestión de proyectos surgió a partir de los sectores de fabricación y construcción, en los que cada hito debe estar finalizado para poder avanzar con el proceso de producción. Por ejemplo, no puedes construir las paredes de una casa sin los cimientos. A pesar de que se inició en la fabricación, la gestión de proyectos WaterFall se ha adaptado a las necesidades de muchos otros sectores diferentes, incluso al del desarrollo de software”. También (Laoyan, 22), También habla que esta metodología puede ser implementada a un proyecto tiene un objetivo final bien definido, cuando no hay restricciones de tiempo y tampoco hay restricciones de costos, dice que es ideal para procesos que son secuenciales. Algunos beneficios que se tiene al momento de implementar esta metodología es que se tiene un control en el seguimiento del proceso, es ordenado la ejecución, todas las etapas del proceso se deben completar para así llevar a cabo la culminación del proyecto, entre otras.

Esta metodología ha sido implementada en diferentes sectores de la industria como por ejemplo la Farmacéutica, Agroindustrial, entre otras, mas no se tiene registro que haya sido implementada en el sector de tratamiento de agua potable, identificando una oportunidad clara de innovación al entrar a soportar toda la información del diagnóstico sobre el proceso productivo de la planta El Tablazo en los modelos del estándar ISA-88.



## 2.2 MARCO CONTEXTUAL

<b>Razón Social</b>	Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P
<b>Nit</b>	891.500.117-1
<b>Actividad Económica</b>	Servicio de Acueducto y Alcantarillado
<b>Ciudad</b>	Popayán
<b>Departamento</b>	Cauca
<b>Dirección</b>	Centro – Calle 3 # 4-29
<b>Teléfono</b>	6028321000
<b>Plantas</b>	-Tulcán - Tablazo - Palace

*Tabla 1. Información Acueducto - Elaboración Propia.*

### ❖ Descripción de la empresa

La Empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S. es una sociedad anónima comercial por acciones, de economía mixta, cuya participación por parte del estado es superior al 90%, en su capital social. El objeto de la Empresa es la prestación del servicio público domiciliario de acueducto y alcantarillado, que consiste en la distribución municipal de agua en condiciones óptimas de consumo humano, incluida su conexión y medición, actividades complementarias tales como captación de agua y su procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte. Por otro lado, el servicio público de alcantarillado es la recolección municipal de residuos principalmente líquidos por medio de tuberías y conductos, complementando con algunas actividades como transporte, tratamiento y disposición final de tales residuos.

La compañía opera tres plantas de potabilización de agua, Tulcán, Tablazo y Palace. La cuales fueron inauguradas en los años 1920, 1928 y 2012 respectivamente.

### ❖ Misión

La misión de la Sociedad Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. es la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado con calidad y mejoramiento ambiental en fuentes de abastecimiento y fuentes receptoras.

## ❖ **Visión**

Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. dirigirá sus acciones a consolidarse como un eficiente operador y prestador de servicios públicos domiciliarios y gestor de nuevos negocios.

## ❖ **Objetivos**

- Mejorar la calidad del agua potable superando los estándares mínimos establecidos en las normas vigentes.
- Mejorar la prestación de los servicios mediante el incremento de los ingresos y la efectividad en la aplicación de éstos.
- Fortalecer la competencia del personal de la Empresa a través del cumplimiento del Plan Anual de Capacitación y la Certificación de las Competencias Laborales.
- Disminuir las quejas y reclamos mediante la atención oportuna de las necesidades y expectativas del cliente.
- Aumentar la continuidad del servicio de acueducto y alcantarillado a través de la optimización de redes y el mejoramiento de la infraestructura.
- Aumentar el número de usuarios de los servicios de acueducto y alcantarillado en las zonas de expansión donde técnicamente sean viables.
- Mejorar las condiciones ambientales en las fuentes de abastecimiento y fuentes receptoras de los sistemas de acueducto y alcantarillado.

## ❖ Organigrama

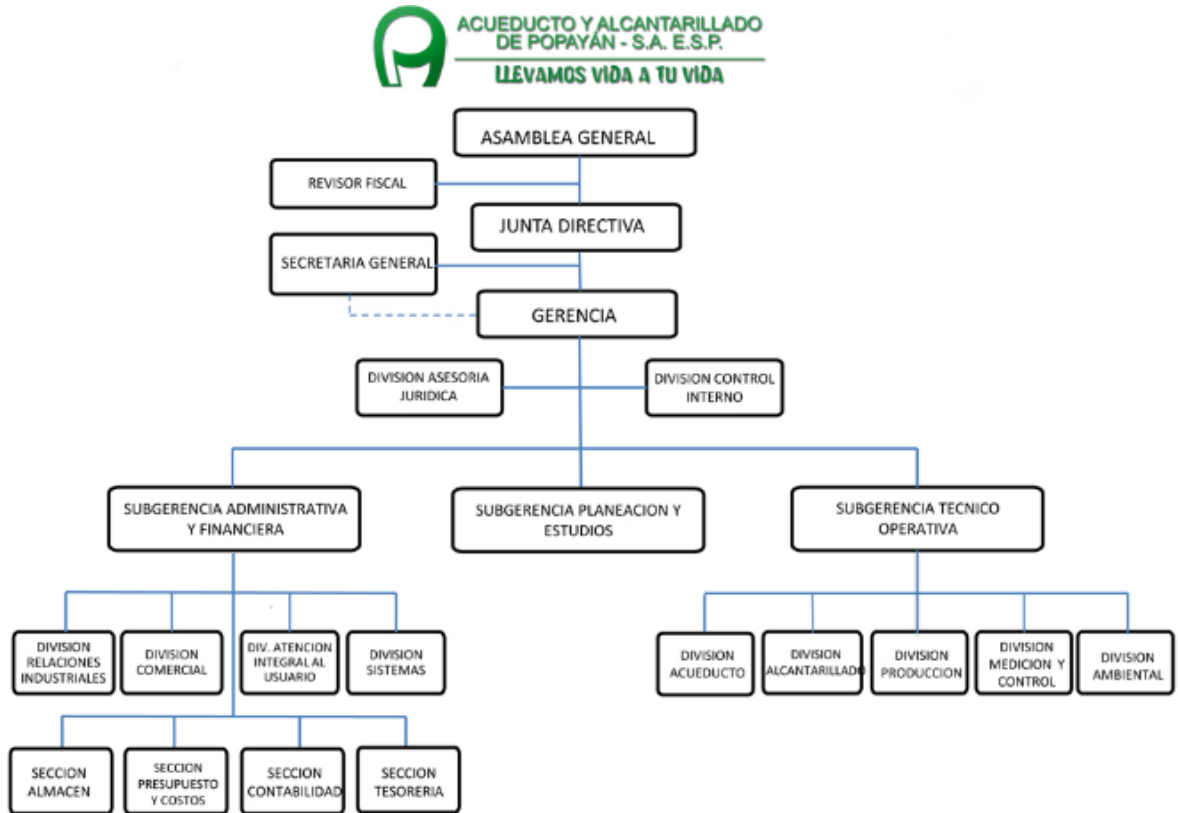


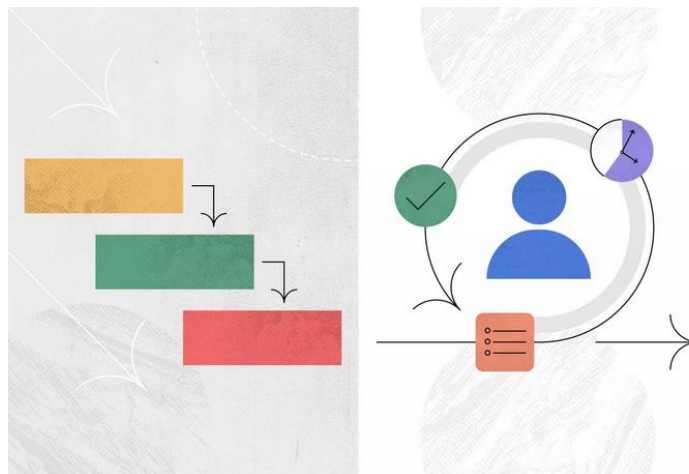
Ilustración 1. Organigrama Acueducto - Fuente: Acueducto.com.co

## CAPITULO III

En este capítulo se resume la metodología que se desarrolló para el proyecto, logrando la identificación y reconocimiento del proceso, lo que permitió tener claro un panorama más amplio sobre todos los factores necesarios para el desarrollo del proceso, permitiendo un estudio detallado del proceso y sus etapas, logrando así la recolección de información fundamental del proceso, equipos y operaciones, que serán evaluados con la finalidad de determinar el estado real de operación de la planta.

### GESTION DEL PROYECTO

En relación a la gestión del proyecto, se implementó una metodología Firewall (Cascada), la cual va de acorde con las características propias del proyecto, esta metodología permite la ejecución secuencial del proyecto, permitiendo dividir el proyecto en fases, garantizando una gestión ordenada y completa del proyecto, cada fase cuenta con un trasfondo y un tiempo de ejecución, el tiempo de ejecución de estas fases, estuvo relacionado al cronograma de actividades, lo cual permite una ventaja ya que se tiene la certeza del cumplimiento y ejecución de las actividades planeadas para cada fase, ya que si una fase no está completa al 100% de sus actividades, no se podrá dar inicio a la siguiente fase del proyecto. (Laoyan, 22)



*Ilustración 2. Ilustración gestión de proyectos secuencial o firewall - Fuente asana.com/es*

Debido a su flexibilidad y grandes beneficios como la facilidad de implementación, orden en el desarrollo del proyecto, claridad en el estado de evolución del proyecto, etc. este modelo se puede adaptar, a diferentes sectores industriales, entre ellos el Desarrollo Software, Automatización de procesos, entre otros. Esta metodología por lo general se representa de forma visual mediante el diagrama de Gantt, el cual muestra con claridad, el orden de ejecución de cada una de las etapas del proyecto.

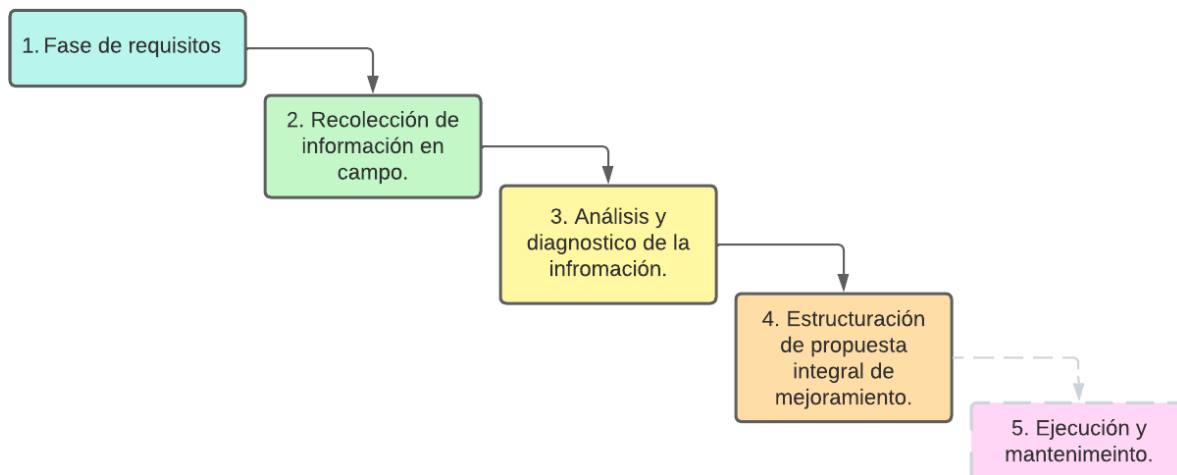


Ilustración 3. Diagrama de Gantt del proyecto - Fuente propia.

Para el desarrollo de este proyecto, se articula una estrategia secuencial que consta de 4 etapas para la ejecución del proyecto (ver Imagen 3), las cuales deben ser ejecutadas de manera ordenada y secuencial, la 5ta etapa es opcional, en este caso el estudio fue delimitado hasta la fase de propuesta de mejora.

**1. Fase de requisitos:** En esta fase se realiza la familiarización e identificación de la planta, de los empleados y del proceso, esta fase es demasiado importante ya que se debe tener claridad y conocimiento sobre la estructura de la planta, los requisitos del proceso el cual se va estudiar a profundidad y la familiarización con los empleados que operan en el proceso. De ahí la importancia de conocer todos los detalles, información operativa del proceso, con la finalidad de tener claridad y dominio sobre los requerimientos que articulan el desarrollo del proceso respecto quien, dónde y cómo se hace.

**2. Recolección de información:** Después haber completado la fase anterior, encontramos la fase 2, que hace referencia al levantamiento de la información del proceso, esta información se recoge mediante visitas de campo, estudiando el proceso etapa por etapa a detalle, logrando una identificación a profundidad de cada una de ellas, lo que permite tener un esquema claro de lo que compone el proceso como operaciones, equipos y procesos que son necesarios para el desarrollo del mismo.

**3. Análisis y diagnóstico de la información:** Posteriormente de haber levantado toda la información necesaria del proceso, se realiza un análisis soportado bajo la metodología del estándar internacional ISA-88, permitiendo una jerarquización de la información real del proceso en 3 diferentes modelos (Modelo de Control Procedimental, Modelo Físico, Modelo de Proceso), logrando exponer la situación actual de operación de la planta, facilitando el diagnóstico de ingeniería sobre en qué condiciones opera la planta actualmente, lo que a su vez conlleva al análisis de los requerimientos de automatización en el proceso (Conocimiento, Esfuerzo físico, Dificultad de operación y Nivel de Automatización), necesidades de automatización y la identificación de posibles fallas preventivas en el proceso.

**4. Estructuración de la propuesta integral de mejoramiento:** Después de haber culminado las 3 fases, se puede poner en marcha la estructuración de la propuesta de mejoramiento, con la integración de diferentes alternativas de solución, que tienen como finalidad apoyar en el mejoramiento del desarrollo del proceso, basadas en las necesidades de la planta según los resultados encontrados al momento del análisis y diagnóstico del proceso.

**5. Ejecución y mantenimiento:** La 5ta etapa, se refiere a la implementación y desarrollo de la propuesta planteada, esta fase está planeada al futuro y es opcional ya que depende de áreas administrativas si deciden la implementación y ejecución de dicha propuesta en el proceso.

### 3. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES DE LA PLANTA EL TABLAZO.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN TEÓRICA DE LA PLANTA Y EL PROCESO.

La planta de tratamiento de agua potable el tablazo, está ubicada en el norte de la ciudad de Popayán, esta planta fue inaugurada en el año 1958, esta planta aporta el 90% de la producción total del sistema de agua tratada de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán. En el año 1998 la Planta fue optimizada con el objetivo que la Planta pudiese producir 1050 litros/segundo.



*Ilustración 4. Uubicación geográfica planta El Tablazo – Fuente googlemaps.com.*

Esta planta se efectúan un conjunto de operaciones físico, químico y biológico, con el objetivo de eliminar, reducir agentes contaminantes y controlar las características óptimas del agua potable, este proceso con diferentes etapas, las cuales tienen una secuencia de ejecución y un lugar en campo donde se ejecutan los procesos de cada etapa.

El proceso comienza con la abducción del agua cruda en el río las piedras, esta abducción se hace por técnica de captación lateral, posteriormente el agua es transportada por gravedad a través de una tubería PVC de 24" de 9 km de distancia hasta la planta de tratamiento de agua potable el tablazo.

Posteriormente el agua entra a la planta por tubería PVC, primeramente el agua entra a una caja de concreto reforzado, que es donde se encuentran las válvulas de compuertas de entrada, con las cuales se puede manipular el flujo de entrada a la planta, ya que el nivel mínimo de operación debe ser de 2 metros de altura en los tanques de almacenamiento, seguidamente el agua cruda entra a la primera etapa del proceso, la Aireación, esta etapa contiene una estructura de 7 gradas en cascada, que permiten oxigenar y eliminar sustancias que puedan afectar en el sabor y olor del agua; desde allí el agua es dirigida por gravedad hasta llegar al área

de Dosificación de químicos, donde se encuentra el primer control de medición de parámetros semiautomatizado, este sistema permite a los operarios tener los parámetros de los sensores de entrada (PH, Turbiedad, Conductividad, Oxígeno) del agua potable en tiempo real en el sistema computarizado. Posteriormente se realiza la verificación manual de estos parámetros, mediante la recolección de muestras de agua cruda y su posterior análisis fisicoquímico en el laboratorio de la planta. Estos valores son registrados en el formato del informe diario. En esta etapa son dosificados los químicos, que tendrán una función importante en el proceso de potabilización del agua cruda, para ello después de obtener los valores de los parámetros, se analiza el rango del PH y la alcalinidad, determinando la necesidad de aplicación de Cal primaria, si es necesaria la aplicación de la Cal se determina su dosis optima mediante el proceso de ensayo de jarras, aplicando la dosis determinada al agua cruda mediante la maquinada dosificadora de cal. En esta misma etapa se realiza la aplicación del sulfato de aluminio tipo B solido (Coagulante), para determinar su dosis se realiza el análisis de la prueba de jarras determinando la cantidad, esta dosis será suministrada mediante la maquina dosificadora de Sulfato, luego se verifica que la aplicación del coagulante este siendo de forma constante y uniforme mediante el tubo de aplicación. Continuando con el proceso, el agua es conducida hacia la etapa de Floculadores hídricos, en esta etapa el agua se mezcla con los químicos aplicados anteriormente, permitiendo la formación de grandes floculos y gracias a la disminución de la velocidad del fluido, permiten ser precipitados y posteriormente ser sedimentados. Adicionalmente se debe verificar que la dosis de sulfato este cumpliendo con su objetivo, por lo cual se debe montar una prueba de jarras del canal de agua coagulada, igualmente a la salida del floculador se debe llenar una jarra de agua para verificar un buen floculado.

Posteriormente el agua es conducida al área de sedimentación, en donde las partículas de suspensión se asientan debido a la fuerza de gravedad, los operarios por medio de una Nasa recogen los hojas u objetos que puedan está en el agua. Verificando a su vez la correcta precipitación de las partículas a fondo del sedimentador.

Continuando con el proceso el agua continua al área de Filtración, donde se eliminan partículas de turbiedad, bacterias y del color, esto por medio de lechos filtrantes los cuales están compuestos por grava, arena y antracita. Los operarios supervisan que esta operación se realice de manera correcta supervisando el nivel del agua y carreras de filtración.

Cuando el agua sale de los filtros rápidos, está lista para ser desinfectada, dirigiéndose por medio de una tubería, al tanque de contacto de Cloro. Con la finalidad de eliminar las bacterias patógenas que trae el agua, las cuales pueden causar enfermedades para el ser humano. Para determinar la dosis a aplicar se debe realizar el proceso de demanda de cloro, posteriormente suministrando esa dosis mediante el dosificador de cloro.



Con el fin de garantizar un correcto desempeño del proceso, el laboratorio toma muestras de cada una de las etapas donde el agua tiene cambios fisicoquímicos, en la floculación, sedimentación y filtración, como también una muestra del agua cruda de entrada y el agua potable que ya se encuentra en los tanques de almacenamiento. Con el fin de garantizar que el agua este cumpliendo con la norma.

Finalmente, el agua es conducida por medio de una tubería de PVC hacia los tanques de almacenamiento, donde se encuentran 3 tanques, dos tanques pequeños a la entrada de la tubería y un tanque grande, es ahí donde se encuentra el control de parámetros del agua tratada, primeramente, se realiza la supervisión del sistema de medición automático, el cual mediante sus sensores recoge el rango de los parámetros de (PH, Cloro y Turbidez). Después el operario realiza la toma de muestras de agua potable, para realizarle un análisis fisicoquímico en el laboratorio, determinando las condiciones en las que se encuentran estos parámetros fundamentales.

Una vez obtenidos los valores de los parámetros, se analiza el valor del PH, el cual, dependiendo de su rango, se determina si es necesario o no, la aplicación de la Cal Secundaria, en caso de ser necesaria, se pondría en marcha el plan de aplicación de Cal Secundaria, que consiste en, llenar el tanque de Cal secundaria con agua potable, mientras mediante una prueba de jarras se determina la dosis exacta que se necesita aplicar, posteriormente se suministra la cantidad en la tolva de la dosificadora de Cal Secundaria, la cual aplicara de manera continua y exacta esta cantidad. Una vez esta agua contenga la dosis exacta de Cal, será enviada directamente a los tanques de almacenamiento mediante una tubería PVC, para cumplir con el objetivo de neutralizar parámetro del PH.

## **3.2 ESTUDIO DETALLADO DEL PROCESO POR ETAPAS EN CAMPO**

### **3.2.1 AIREACIÓN**

La Aireación es un recorrido que realiza los 620 litros de agua cruda que entran a la planta por una cascada de 7 escalones, lo cual permite la oxigenación de la misma, logrando así la eliminación de malos olores y sustancias que afecten el sabor del agua. Una vez el agua alcance el nivel más bajo de la cascada es conducida por un canal permitiendo su transporte a la siguiente etapa del proceso, durante el recorrido de este canal se encuentra una rejilla de hierro, la cual controla la entrada de basuras y hojas recolectadas durante el proceso.



Ilustración 5. Cascada y rejilla de control de basuras – Fuente propia.

<b>ETAPA AIREACIÓN</b>	
<b>CONTROL:</b> OPERARIO	<b>NIVEL AUTOMATIZACIÓN:</b> No automatizado
<b>EQUIPOS/ELEMENTOS NECESARIOS</b>	
<b>NOMBRE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejilla</li> </ul>

Tabla 2. Área Aireación - Fuente propia.

### 3.2.2 DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS.

En el área de Dosificación de químicos, se realiza la medición de parámetros, aplicación de los diversos químicos utilizados para la purificación del agua, entre otras operaciones las cuales darán cumplimiento al desarrollo de la misma.

**OPERACIÓN:** El agua entra por el canal que proviene de la etapa de aireación, donde primeramente se encuentra con el Sistema de medición de variables, ahí mismo el operario recoge la muestra de agua cruda, la cual se le realizan estudios fisicoquímicos en el laboratorio. Posteriormente es aplicado los químicos de Cal primaria y Sulfato de aluminio sólido, dependiendo de las condiciones de los parámetros medidos anteriormente.



Ilustración 6. Área Dosificación de Químicos - Fuente propia.

**3.2.2.1 SISTEMA DE MEDICION.** El Sistema de medición de variables analíticas está conformado Por 4 sensores (PH, conductividad, Oxígeno disuelto, turbidez), estos sensores son los encargados de medir y recolectar automáticamente en tiempo real los parámetros con los que ingresa el agua cruda. Estos sensores están conectados a un controlador, el cual a su vez tiene una conexión PROFIBUS con el PLC en la sala de control, logrando la visualización de las variables recolectadas en el HMI.



Ilustración 7. Sistema Medición de Variables - Fuente propia.

**3.2.2.2 PRUEBAS FISICOQUIMICAS.** El operario recoge una muestra del agua cruda de 500ml, posteriormente, transporta esta muestra al laboratorio donde se le realizan las pruebas de PH, conductividad, turbidez, alcalinidad.

- **PRUEBA DE PH:** El operario agrega en un Beaker 50 ml de agua cruda, luego se enjuaga con agua destilada el electrodo del Ph-metro, posteriormente se introduce este electrodo en la muestra y se procede a esperar el resultado que arroja el dispositivo, dejando constancia, en el informe diario del valor de Ph y la temperatura.
- **PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD:** El operario agrega en un Beaker 50 ml de agua cruda, luego se enjuaga con agua destilada sonda de conductividad del multímetro HACH, posteriormente se introduce este electrodo en la muestra y se procede a esperar el resultado que arroja el dispositivo, dejando constancia, en el informe diario del valor de la conductividad.
- **PRUEBA DE TURBIDEZ:** Principalmente el operario agita de manera correcta la muestra, posteriormente deposita 20ml de la muestra y deja reposar hasta que desaparezcan las burbujas. Luego se pone la muestra en el Turbidímetro HACH se espera el resultado y se procede a dejar constancia del valor de turbidez en el reporte diario.
- **PRUEBA DE ALCALINIDAD:** El operario adiciona en un Erlenmeyer 50ml de muestra de agua y 5 gotas del indicador mixto, se procede a titular en la bureta digital con H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hasta obtener un color rosa suave, luego se realizan los cálculos y se deja constancia del valor de H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> que se utilizó y el valor de alcalinidad.

**3.2.2.3 APLICACIÓN CAL PRIMARIA.** La Cal primaria se aplica al agua cruda en función de controlar el rango de los parámetros de alcalinidad y PH cuando sea necesario. El operario quien a su vez evalúa el valor arrojado por el Sistema de medición y el valor arrojado en las pruebas fisicoquímicas, determinando la necesidad de aplicar cal primaria.

Si los valores de Alcalinidad < 15Mg/Lt y PH < 6.5, Entonces el operario procede a realizar una prueba de jarras, en la cual es necesario tomar una muestra de 8 Litros, repartiendo de 2 Litros para cada una de las 6 jarras. Posteriormente se prepara una solución de Cal al 2%, se enciende el equipo a la velocidad de mezcla rápida agregando la dosis optima de sulfato con la que se está trabajando, aplicando a su vez dosis diferentes de Cal en cada uno de las jarras de la prueba, luego se espera el tiempo correspondiente de la simulación y se procede a realizar el análisis de

Alcalinidad y PH en cada una de las jarras y luego comparar los resultados. Determinando a su vez la dosis apropiada de Cal primaria para un valor estimado de (Alcalinidad < 20 Mg/Lt) y un (PH 7 (Neutro)).

Luego el operario dispone la maquina dosificadora de Cal primaria y llena a su vez la tolva con la cantidad que se va a suministrar al agua cruda.



*Ilustración 8. Maquina Dosificadora de Cal - Fuente propia.*

**3.2.2.4 APLICACIÓN SULFATO DE ALUMINIO SOLIDO.** La aplicación de Sulfato es determinante en la eliminación de partículas en suspensión coloidal. Para determinar la dosis optima de Sulfato, el operario monta una prueba de jarras tomando una muestra de 8 Litros, repartiendo de 2 Litros para cada una de las 6 jarras. Posteriormente se prepara una solución de Sulfato de aluminio al 2%, se enciende el equipo a la velocidad de mezcla rápida, se aplica diferentes dosis de Sulfato en cada uno de las jarras de la prueba, luego se espera el tiempo correspondiente de la simulación y se procede a tomar muestra de cada una de las jarras y se analiza el Color, Turbiedad, Alcalinidad y PH, el operario interpreta los resultados, determinando a su vez la dosis apropiada de Sulfato de aluminio que se debe aplicar.

En seguida el operario dispone la Maquina dosificadora de Sulfato, suministrando la cantidad de Sulfato que se debe aplicar en la tolva y abriendo la válvula de paso de agua de la máquina.



Ilustración 9. Maquina Dosificadora de Sulfato - Fuente propia.

ETAPA DOSIFICACIÓN	
CONTROL: OPERARIO	NIVEL AUTOMATIZACIÓN: Semi-automatizado
EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores (PH, CND, TRB, OXI)</li> <li>• Equipos laboratorio</li> <li>• Maquina prueba de jarras</li> <li>• Maquina dosificadora de Cal</li> <li>• Maquina dosificadora de Sulfato</li> <li>• Balanza manual</li> <li>• Tubo perforado</li> </ul>	

Tabla 3. Área Dosificación de Químicos - Fuente propia.

### 3.2.3 FLOCULACIÓN

La floculación, es la formación de grandes floculos a partir de floculos más pequeños que se forman por la aplicación del coagulante, gracias a la disminución de la velocidad del fluido donde con un agitado leve y constante, permite el choque de estos pequeños floculos, formando a su vez floculos de mayor tamaño.

**OPERACIÓN:** El agua entra a los tanques de floculación por el canal que proviene de la dosificación de químicos, en los cuales se reducirá la velocidad del fluido. El operario supervisa la correcta aplicación del coagulante por medio del tubo perforado, posteriormente se verifica la mezcla rápida donde el operario supervisa el punto de mezcla rápida verificando la correcta turbulencia. Posteriormente el operario monta una prueba de jarras para verificar que la dosis de coagulante este cumpliendo como lo requerido.

Los tanques de floculación cuentan con 4 compuertas manuales de entra, 4 compuertas de salida manuales y 8 válvulas de desagüe, donde el operario es el encargado de manipular estas compuertas.



Ilustración 10. Floculadores Hídricos – Fuente propia.

ETAPA FLOCULACION	
CONTROL: OPERARIO	NIVEL AUTOMATIZACIÓN: No automatizado
EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compuertas manuales</li> <li>• Tanques Floculación</li> </ul>	

Tabla 4. Área Floculación - Fuente propia.

### 3.2.4 SEDIMENTACIÓN

En el área de Sedimentación, el operario supervisa la operación de esta etapa donde las partículas suspendidas en el agua se asentarán por causa de la gravedad, lo objetos grandes como hojas u otros objetos que se hallen flotando serán retirados. Verificando a su vez que el Sedimentado esté funcionando de la manera correcta.

**OPERACIÓN:** El agua ingresa a los tanques de Sedimentación, donde debido a su reducción de velocidad en la etapa anterior, las partículas que están flotando en el agua empiezan asentarse debido a la fuerza de gravedad, adhiriéndose a una especie de malla filtrante que se encuentra dentro de los tanques de Sedimentación, el operario con la ayuda de una Nasa, remueve toda hoja u objeto que se encuentre flotando, a su vez verifica si las partículas flotantes se están asentando de manera correcta.

Los tanques de Sedimentación de alta tasa, cuentan con 10 compuertas manuales mariposa de entrada, 10 válvulas manuales de vástago de salida y 11 válvulas manuales de desagüe. Estas compuertas manuales son accionadas por el operario.



Ilustración 11. Sedimentadores - Fuente propia.

<b>ETAPA SEDIMENTACION</b>	
<b>CONTROL:</b> OPERARIO	<b>NIVEL AUTOMATIZACION:</b> No automatizado
<b>EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nasa</li> <li>• Compuertas manuales</li> <li>• Tanques Sedimentación</li> </ul>	

Tabla 5. Área Sedimentación - Fuente propia.

### 3.2.5 FILTROS RAPIDOS

En el área de filtros rápidos, se realiza remoción de partículas de bacterias, color y turbiedad por medio de lechos filtrantes construidos por arena, grava y antracita.

**OPERACION:** El agua entra por un canal que proviene de la etapa de Sedimentación, el operario en cargado manipula las válvulas neumáticas de entrada y de salida de los filtros, ya que si algún filtro se encuentra en lavado estará cerrada su válvula de entrada, teniendo en cuenta que hay 8 filtros rápidos, los cuales se pueden operar todos a la vez o dependiendo cuales se encuentran en lavado. El operario se encarga de supervisar el correcto filtrado, lavado de filtros y nivel del agua en los filtros.





*Ilustración 12. Filtros Rápidos - Fuente propia.*

### **3.2.5.1 LAVADO FILTROS**

El operario identifica que filtro está en condiciones de ser lavado, posteriormente cierra la compuerta neumática de entrada la cual impide el paso de agua al filtro, el operario con ayuda de una manguera con buena presión realiza el lavado del tanque, así entonces procede abriendo la válvula de lavado la cual permite el enjuague de los filtros, abriendo la válvula neumática de desagüe la cual permite evacuar todo el agua con la que fue lavada el filtro, es así como se tendría el filtro listo para una posterior ejecución.



*Ilustración 13. Accionadores Válvulas Neumáticas - Fuente propia*

ETAPA FILTROS RAPIDOS	
CONTROL: OPERARIO	NIVEL AUTOMATIZACIÓN: Semi-Automatizada
EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvulas neumáticas de lavado</li> <li>• Compuertas neumáticas</li> <li>• Tanques Filtros</li> </ul>	

Tabla 6. Área Filtros Rápidos - Fuente propia.

### 3.2.6 DESINFECCIÓN

En la aplicación del Cloro gaseoso al agua cruda, lo cual va ayuda a desinfectar el agua de bacterias patógenas dañinas para el ser humano, el operario determina la cantidad exacta que se debe aplicar al agua cruda, esta dosis es aplicada mediante la maquina dosificadora de cloro.

**OPERACIÓN:** Posteriormente que el agua cruda sale de la etapa de los filtros rápidos, el agua es conducida por una tubería hasta el tanque donde se producirá el contacto con el cloro gaseoso, el cual llega desde la pipa de 1000kg de cloro gaseoso que está conectada a la maquina dosificadora de cloro, ajustándole el valor de aplicación, posteriormente la maquina suministrara este valor automáticamente. La determinación del valor de cloro se obtiene al realizar el procedimiento demanda de cloro, garantizando la cantidad exacta que se va a suministrar.

#### 3.2.6.1 DOSIFICADORA DE CLORO

La dosificadora de Cloro, se compone de válvulas de presión, manómetros, rotámetros y la pipeta de cloro. Esta dosificadora trabaja suministrando una dosis de cloro gaseoso disuelto en agua tratada, esta agua es traída del tanque de almacenamiento, este flujo es controlado mediante la manipulación válvulas de presión, teniendo como referencia los valores del manómetro, por otro lado, ingresa una cantidad de cloro gaseoso, regulado por rotámetros los cuales son configurados por el operario, es ahí donde se mezcla con agua tratada, llevando este líquido por tubería hasta el tanque de contacto, al llegar al tanque se encuentran con una llegada tipo flauta, logrando así el contacto con el agua cruda.

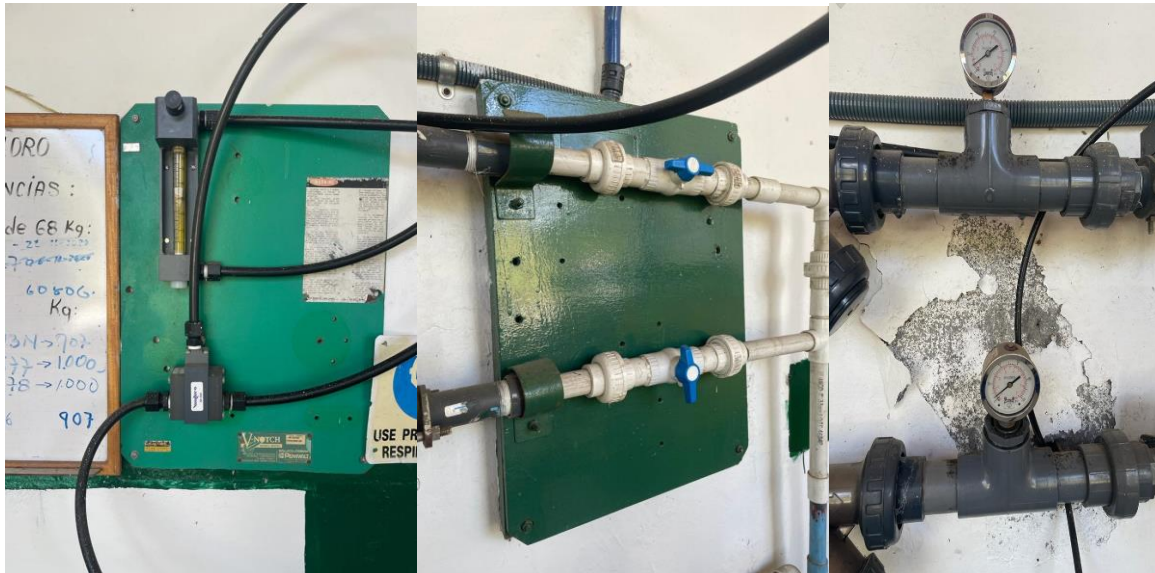


Ilustración 14. Máquina Dosificadora de Cloro – Fuente propia.

### 3.2.6.2 DEMANDA DE CLORO

Inicialmente Entonces el operario procede a realizar un ensayo de demanda de cloro, en la cual es necesario tomar una muestra de 10 Litros, se reara una solución madre al 0.1% a partir de cloro granulado al 70%, mediante la fórmula de balance, masa y concentración se determina la cantidad de solución madre que se a utilizar, vertiéndola en un balón donde se agrega a su vez hasta 250 ml de agua tratada esperando cumplir el tiempo de contacto que se debe esperar, Después en un Erlenmeyer se agregan 5ml de tampón fosfato y 5ml de solución DPD al 1%, después se agregan 100ml de la solución que haya cumplido el tiempo de contacto. Ahora se coloca en el agitador magnético la mezcla durante unos 15 a 30 segundos, durante este tiempo se titula con FAS hasta lograr el color rosa, una vez ocurra la decoloración se le agregan 5ml de yoduro de potasio, si se vuelve a poner color rosa, entonces se debe seguir titulando hasta que ocurra la decoloración del líquido, comparando los valores de la solución madre con la solución aplicada a cada balón. Se tabula y se identifica el punto de quiebre. Esta operación se realiza cada 3 días.



Ilustración 15. Tanques de Cloro Gaseoso - Fuente propia.

### 3.2.6.3 DOSIS DE CLORO

La determinación de la dosis se realiza tomando el valor de la dosis optima, luego se informa del valor de caudal de entrada y se aplica la formulas ( $D=Q*d$ ), obteniendo el valor exacto de la dosis, ajustando la maquina dosificadora en el valor obtenido. Por lo general los valores de cloro que se debe aplicar oscilan entre [1.3 – 1.5] kg/h.

ETAPA CLORO	
CONTROL: OPERARIO	NIVEL AUTOMATIZACIÓN: Semi-Automatizada
EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotámetros.</li> <li>• Válvulas de presión.</li> <li>• Manómetros.</li> <li>• Equipos laboratorio.</li> <li>• Pipeta de cloro.</li> </ul>	

Tabla 7. Área Desinfección - Fuente propia.

### 3.2.7 ALMACENAMIENTO

Se cuenta con 3 tanques de almacenamiento, en donde dos de los tanques se consideran tamaño pequeños con volumen de  $150m^3$  y se encuentran a unos metro el tanque grande con un volumen de  $400m^3$ , es aquí donde se almacenan por unas 2-3 horas el agua que ha sido tratada y desinfectada anteriormente.

**OPERACIÓN:** El agua proviene en una tubería subterránea desde el área de desinfección, es ahí donde se distribuye al llegar al área de almacenamiento entre los tanques pequeños y el tanque grande, el operario está al tanto cada hora del nivel de los tanques, ya que se cuenta con una medida mínima de operación. El operario a su vez supervisa en el HMI los parámetros que está arrojando el sistema de medición en la salida de la planta, posteriormente recoge una muestra de 500 ml a la cual se le realizan análisis fisicoquímicos de su pH, turbiedad, color, cloro y alcalinidad. Estos datos son registrados en el informe digital dejando constancia de los parámetros recolectados. Si se presenta variación el valor de pH, se dispone a la aplicación de Cal secundaria, lo cual nivelara el valor del pH en los tanques de almacenamiento.



*Ilustración 16. Entrada Tanques de Almacenamiento - Fuente propia.*

### **3.2.7.1 SISTEMA DE MEDICION**

El Sistema de medición de variables analíticas está conformado por 3 sensores (PH, Cloro, turbidez), estos sensores son los encargados de medir y recolectar automáticamente los parámetros con los que ingresa el agua cruda. Estos sensores están conectados a un controlador, el cual a su vez tiene una conexión PROFIBUS con el PLC en la sala de control, logrando la visualización de las variables recolectadas en el HMI.

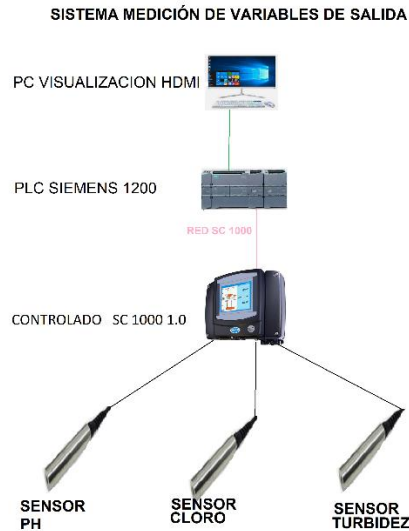
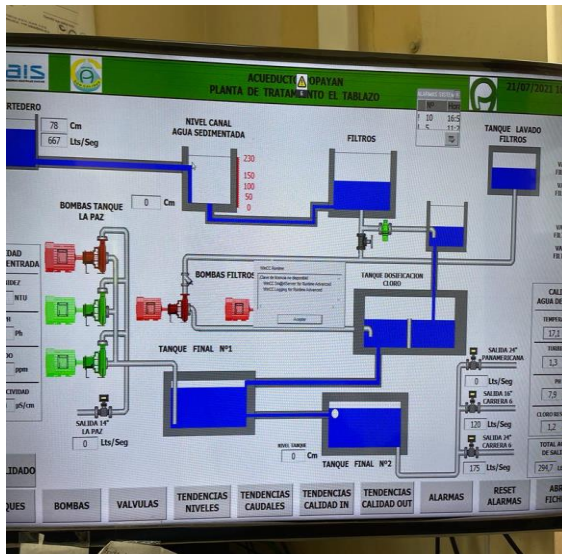


Ilustración 17. Sistema de Control de Variables Agua Tratada – Fuente propia.

### 3.2.7.2 PRUEBAS FISICOQUIMICAS

El operario recoge una muestra del agua cruda de 500ml, posteriormente, transporta esta muestra al laboratorio donde se le realizan las pruebas de PH, turbidez, cloro, alcalinidad, color.

- **PRUEBA DE PH:** El operario agrega en un Beaker 50 ml de agua cruda, luego se enjuaga con agua destilada el electrodo del Ph-metro, posteriormente se introduce este electrodo en la muestra y se procede a esperar el resultado que arroja el dispositivo, dejando constancia, en el informe diario del valor de PH y la temperatura.
- **PRUEBA DE TURBIDEZ:** Principalmente el operario agita de manera correcta la muestra, posteriormente deposita 20ml de la muestra y deja reposar hasta que desaparezcan las burbujas. Luego se pone la muestra en el Turbidímetro HACH se espera el resultado y se procede a dejar constancia del valor de turbidez en el reporte diario.
- **PRUEBA DE ALCALINIDAD:** El operario adiciona en un Erlenmeyer 50ml de muestra de agua y 5 gotas del indicador mixto, se procede a titular en la bureta digital con H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hasta obtener un color rosa suave, luego se realizan los cálculos y se deja constancia del valor de H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> que se utilizó y el valor de alcalinidad.
- **PRUEBA DE CLORO:** El operario lava con agua destilada una celda redonda de vidrio y seca muy bien con toallas de papel, con la ayuda de una probeta se agregan 10ml de la muestra, posteriormente se agrega una papeleta de Chlorine Free DpD, se agita muy bien hasta obtener un color rosa, se deja

reposar un minuto y se introduce la celda en el medidor de cloro Pocket y se espera el valor del cloro obtenido.

- **PRUEBA DE COLOR:** El operario lava muy bien con agua destilada una celda de 10ml, posteriormente se seca bien y se procede a adicionar una muestra de 10 ml, se agita muy bien la muestra y se deja reposar mientras se ajusta el espectrofotómetro a una longitud de onda de 355nm. Midiendo así el valor de absorbancia, con este valor se aplica la fórmula para obtener el color aparente.

### **3.2.7.3 NIVEL DE LOS TANQUES**

El operario debe realizar la verificación del nivel de los tanques, el nivel mínimo que debe presentarse dentro del tanque es de 2 metros, para ello dentro del tanque hay instalada una escalera la cual sirve de referencia de medida, cada escalón de la escalera se determina como un metro dentro del tanque, sin dos escalones la media mínima para la operación.

### **3.2.7.4 CAL SECUNDARIA**

La Cal secundaria se aplica al agua tratada en función de controlar el rango de los parámetros de PH cuando sea necesario. El operario quien a su vez evalúa el valor arrojado por el Sistema de medición y el valor arrojado en las pruebas fisicoquímicas, determinando la necesidad de aplicar cal secundaria.

Si el valor de PH < 6.5, Entonces el operario procede a realizar una prueba de jarras, en la cual es necesario tomar una muestra de 8 Litros, repartiendo de 2 Litros para cada una de las 6 jarras. Posteriormente se prepara una solución de Cal al 2%, se enciende el equipo a la velocidad de mezcla rápida agregando la dosis óptima de sulfato con la que se está trabajando, aplicando a su vez dosis diferentes de Cal en cada uno de las jarras de la prueba, luego se espera el tiempo correspondiente de la simulación y se procede a realizar el análisis del PH en cada una de las jarras y luego comparar los resultados. Determinando a su vez la dosis apropiada de Cal primaria para un valor estimado de (un (PH 7 (Neutro))).

Luego el operario dispone la maquina dosificadora de Cal primaria y llena a su vez la tolva con la cantidad que se va a suministrar al agua cruda y dispone el llenado del tanque de Cal secundaria el cual cuenta con una tubería de salida que va directamente a los tanques de almacenamiento.

ETAPA ALAMCENAMIENTO	
CONTROL: OPERARIO	NIVEL AUTOMATIZACIÓN: Semi-Automatizada
EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores (PH, Cloro, Turbidez)</li> <li>• Equipos laboratorio</li> <li>• Tanques almacenamiento</li> <li>• Tanque Cal secundaria</li> <li>• Maquina dosificadora de cal</li> </ul>	

Tabla 8. Área Almacenamiento – Fuente propia.

### 3.2.8 DISTRIBUCIÓN

La distribución se hace por gravedad, mediante tres tubos que salen de los tanques de almacenamiento, estos tubos distribuyen a toda la ciudad el suministro de agua potable con todos los parámetros establecidos por la ley.

**OPERACIÓN:** Después de todo el proceso de purificación y desinfección del agua, es distribuida a todos los usuarios del Acueducto, registrando por medio de los macro medidores, los litros de salida de la planta. El operario supervisa los valores de caudal de salida que arrojan los macro medidores.

**TUBOS SALIDA.** Son 3 tubos PVC, un tubo de 24” que sale hacia la panamericana, los otros dos tienen salida hacia la CRA 6ta, de 24” y 16” respectivamente.

ETAPA DISTRIBUCION	
CONTROL: OPERARIO	NIVEL AUTOMATIZACIÓN: Automático
EQUIPOS/INSTRUMENTOS NECESARIOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo Autopista 24”</li> <li>• Tubos CRA 6ta 24” y 16”</li> <li>• Macro medidores</li> </ul>	

Tabla 9. Área Distribución – Fuente propia.

Después de haber estudiado el proceso etapa por etapa detalladamente, se diseña el diagrama de flujo real, el cual muestra cómo se está desarrollando el proceso y se plantea la cadena de valor del producto.



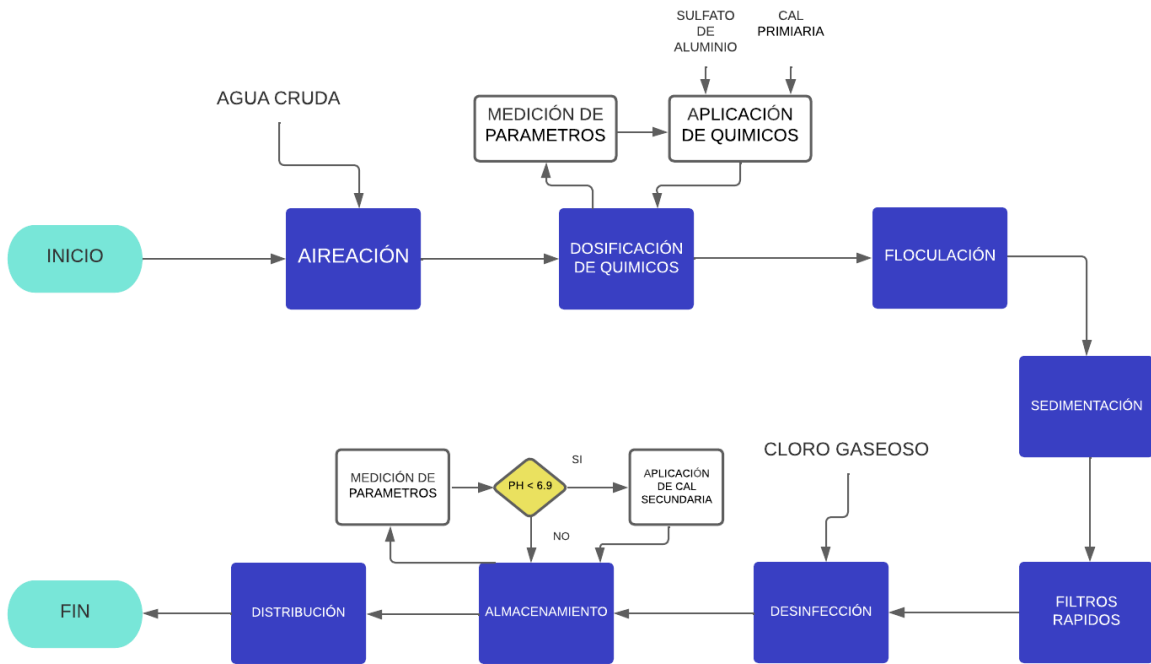


Ilustración 18. Diagrama de flujo con entradas Planta El Tablazo -Fuente Propia.

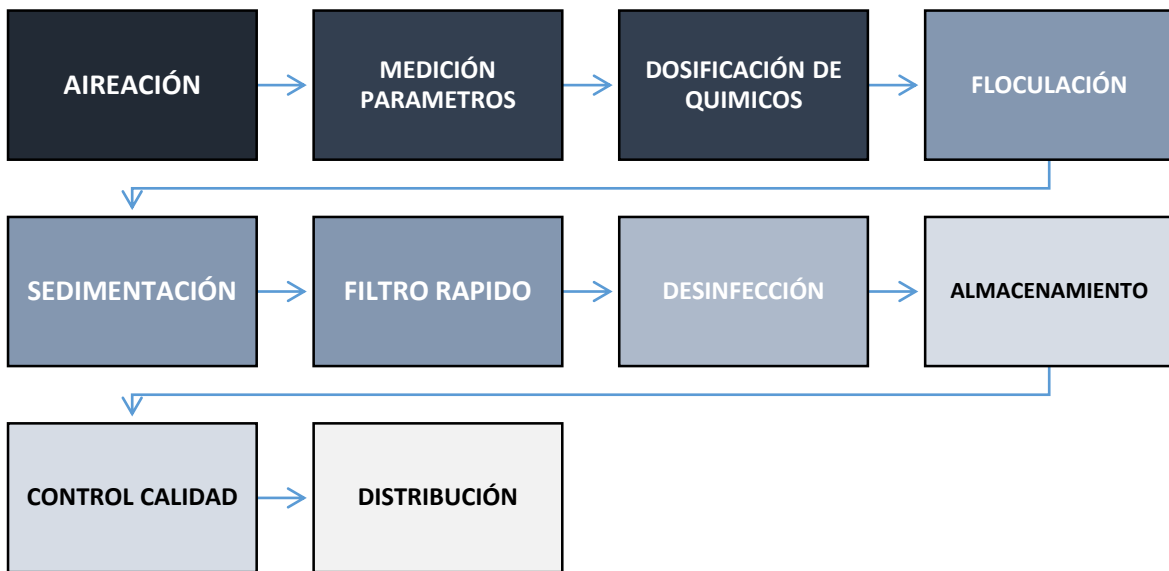


Ilustración 19. Cadena del valor del proceso - Fuente propia.

Con la identificación y análisis del proceso, que se realizó anteriormente, se da cumplimiento al objetivo 1 del trabajo.

## **CAPITULO IV**

En el presente capítulo se realiza el diagnóstico de la información recolectada en el capítulo anterior, estructurando esta información bajo los modelos ISA 88 y a su vez analizándola de acuerdo al nivel de dificultad, esfuerzo físico y nivel de automatización en cada fase del proceso.

### **4. DIAGNOSTICO PROCESO PRODUCTIVO PLANTA EL TABLAZO.**

Para diagnosticar el proceso se tuvieron en cuenta diferentes aspectos requeridos para la evaluación del proceso productivo de la planta, determinando el nivel de dificultad presente en cada fase del proceso, a su vez determinado el nivel de automatización del proceso, analizando cada uno de los modelos ISA – 88 del proceso (ver apéndice A) y finalmente identificando las necesidades del proceso en cuanto a optimización, potenciamiento, automatización y mantenimiento.

#### **4.1 NIVEL DE DIFICULTAD EN EL DESARROLLO DEL PROCESO.**

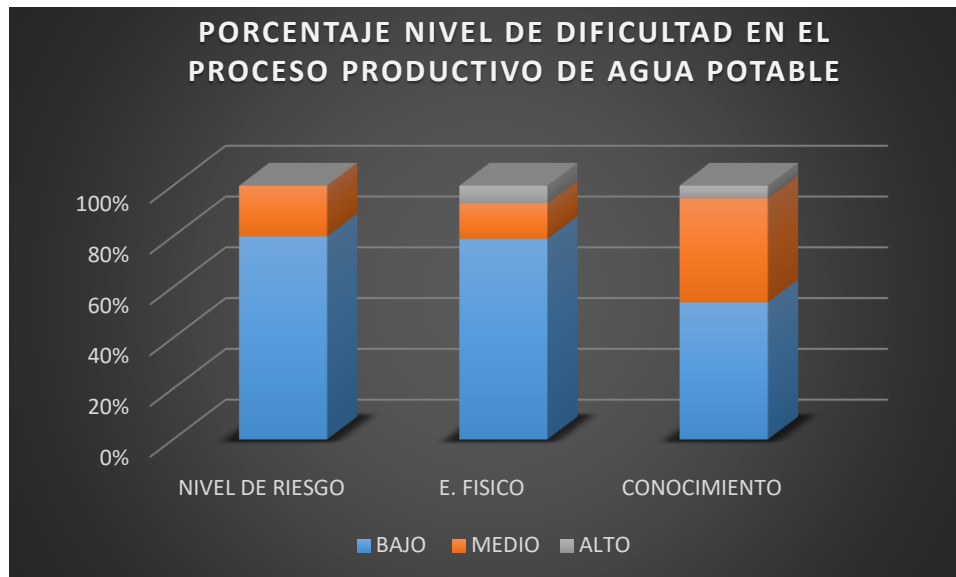
Para determinar el nivel de dificultad del proceso productivo de potabilización de agua, que se realiza en la planta EL TABLAZO, se utiliza una estrategia de encuestas que se ha venido desarrollando en trabajos anterior (Ordoñez Muñoz & Lara Guevara, 2016). Donde se realizan encuestas teniendo en cuenta las apreciaciones de un operario representante, el cual está altamente calificado en conocimiento, experiencia sobre el desarrollo y la ejecución de tareas dentro del proceso productivo de agua potable.

De acuerdo a la información recopilada el esfuerzo físico necesario para llevar acabo cada fase del proceso de producción de agua potable en su mayoría es bajo, considerando que hay 6 fases que necesitan un nivel medio de esfuerzo y 3 fases que necesitan un esfuerzo alto. Estas fases de dificultad alta hacen referencia al alto esfuerzo físico que deben realizar los operarios, al momento de abrir o cerrar la compuerta de entrada y salida en los tanques de Floculadores y Sedimentadores, el alto esfuerzo físico que deben hacer los operarios al manipular las válvulas manuales de entrada y salida, estas válvulas manuales son muy antiguas y cuentan con un vástago de 1.50cm de alto, el cual deben manipular si se requiere el cierre u apertura de las válvulas, en la entrevista el operario menciona que esta es una actividad muy tediosa, ya que muchas veces deben llamar algunos otros trabajadores de la planta, los cuales hacen parte del taller de máquinas y no tiene

que ver con el desarrollo del proceso, para que ellos ayuden abrir estas válvulas de vástago, en algunas ocasiones el tiempo que se requiere para manipular cada válvula manual es de 15 a minutos entre dos personas. Determinado así que el proceso demanda un 79% de esfuerzo bajo, 14% esfuerzo medio y finalizando con 7% respecto a un esfuerzo alto en el desarrollo de las actividades del proceso.

El conocimiento requerido al momento de realizar cada fase de la producción de agua potable se clasifica de la siguiente manera, donde 24 fases corresponde a un nivel bajo de conocimiento, 18 fases a nivel medio de conocimiento y 2 fases a un nivel alto de conocimiento. Donde las fases que requieren un nivel bajo se caracterizan por procedimientos de ingreso de materias prima a maquinas dosificadoras, la puesta en marcha de dichas maquinas, apertura de válvulas y compuertas manuales, supervisión y llenado de tanques entra otras; por otro lado, se encuentran las actividades que requieren de un nivel de conocimiento medio entre ellas están manipulación de equipos, análisis de parámetros importantes, determinación de dosis de materia prima, documentación de informe diario entre otras; por último se encuentran la actividades de una nivel de conocimiento alto, donde se encuentran la realización de pruebas de laboratorio, debido a la manipulación de equipos específicos, análisis y manejo de muestras. Concluyendo así que para el desarrollo de las fases del proceso se requiere un 54% de conocimiento bajo, 41% correspondiente a un nivel de conocimiento medio y un 5% de nivel de conocimiento alto.

Por otro lado, la mayoría de actividades que se desarrollan durante el proceso, son de riesgo bajo con un 80%, que corresponde a 35 fases del proceso, continuando con un 20% de fases de nivel medio, correspondiente a 9 de ellas, en donde se pueden presentar situación en las que el riesgo de posibles accidentes es alto para el operario encargado, entre ellas están la recolección de muestras de agua cruda y agua potable, ya que muchas veces el operario debe tomar muestras de los tanques de almacenamiento, sin equipo de protección y donde debe someterse a una distancia bastante cerca del tanque para lograr esta fase, identificando riesgos como resbalarse y caer dentro del tanque, de igual manera al recoger la muestra de agua cruda debe acercarse al canal por donde ingresa el agua al proceso, corriendo riesgo de resbalarse y caer en él; entre otras fases se encuentra la de manipular, encender y cargar las maquinas dosificadoras; la manipulación de compuertas de entrada y salida de los tanques, ya que por su antigüedad el esfuerzo que deben hacer es bastante alto, pudiendo presentar lesiones físicas en el operario u personas que ayuden a manipular estas compuertas. Tomando estas recomendaciones como preventivas, con el objetivo de evitar posibles accidentes.



*Ilustración 20. Grafica porcentual nivel de dificultad en el proceso - Fuente Propia.*

## 4.2 NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN

La automatización de procesos, es la integración de un conjunto de técnicas o practicas basadas en automática, las cuales son aplicadas al ámbito industrial, teniendo como fin reducir la necesidad de la mano de obra humana en tareas físicas y mentales, con el objetivo de potenciar la eficiencia y la correcta practica de estas tareas, trayendo consigo beneficios como los son la disminución del esfuerzo físico, el riesgo de accidentes, disminución en tiempos de ejecución, reducción de gastos y materias prima, aumento en la calidad, entre otros. (Andrade Quintero , 2006)

Es decir, La automatización de procesos consiste en la sustitución de aquellas tareas tradicionalmente manuales las cuales pasan a ser realizadas de manera automática por máquinas, robots o cualquier otro tipo de automatismo. De este modo, gracias al uso adicional de sensores, controladores y actuadores, así como de métodos y algoritmos de conmutación, se consigue liberar al ser humano de ciertas tareas.

De acuerdo con otras apreciaciones, en el libro técnico (F.Ebel, 2008), define el concepto de automatización industrial, como un apoyo que puede tener la mano obra industrial en la tecnología avanzada y los sistemas de control, con la finalidad de reducir la intervención humana en tareas repetitivas, de alto riesgo físico, que demande un esfuerzo físico alto o requieran de un porcentaje de eficacia del 100% al momento de realizar dicha tarea. Convirtiendo esta relación Hombre-Máquina en un complemento para mejor el desarrollo, productividad y calidad de cualquier tipo de proceso industrial.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el nivel de automatización se refiere a la proporción en la cual influye el hombre y/o la maquina en la interacción de las actividades que se desarrollan dentro del proceso un productivo, por lo cual se podría calificar cualitativamente en 3 diferentes consideraciones, que son: Manual, donde el operario realiza todo dentro de una actividad específica, ya sea teniendo en cuenta o no las sugerencias que le pueda dar alguna maquinas (Humano). Semiautomático, refiriéndose al complemento que realizan el humano y la máquina, donde el humano determina la acción partiendo de su racionalidad y la maquina la ejecuta (Humano – Maquina); y por último el aspecto automático, donde el operario no interviene en las acciones y ordenes que ejecuta la máquina (Maquina). (Ordoñez Muñoz & Lara Guevara, 2016)

De Acuerdo a estos criterios, definidos anteriormente se realiza la evaluación y clasificación de las 44 fases del proceso en Automáticas, Semiautomáticas y Manuales (ver tabla 10).

Procedimiento de unidad	Fases	Nivel de Automatización
AIREACIÓN	Supervisión funcionamiento de cascada (E 1.1)	Manual
DOSIFICACIÓN DE QUIMICOS Y MEDICIÓN DE PARAMETROS AGUA CRUDA	Lectura de los sensores (E2.1.1)	Automático
	Registro de parámetros en reporte diario (E2.1.2)	Semiautomático
	Recoger muestra de agua cruda (E2.2.1)	Manual
	Realizar pruebas de laboratorio (E2.2.2)	Semiautomático
	Documentación de parámetros en reporte diario digital (E2.2.3)	Semiautomático
	Análisis de parámetros registrados (E2.3.1)	Manual
	Rotar motor prueba de jarras para sulfato solido (E2.3.2)	Semiautomático
	Rotar motor prueba de jarras para Cal primaria (E2.3.7)	Semiautomático
	Determinar dosis Sulfato de sodio (E2.3.3)	Semiautomático
	Depositar dosis de sulfato de sodio (E2.3.4)	Manual
	Abrir/Cerrar válvula de paso de agua (E2.3.5)	Manual
	Rotar motor máquina de sulfato (E2.3.6)	Semiautomático
	Determinar dosis Cal primaria (E2.3.8)	Semiautomático
	Depositar dosis de Cal primaria (E2.3.9)	Manual
Abrir/Cerrar válvula de paso de agua (E2.3.10)	Manual	
Rotar motor maquina dosificadora de Cal (E2.3.11)	Semiautomático	

PROCESOS DE PURIFICACIÓN AGUA CRUDA	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.1.1)	Manual
	Nivel tanques de floculación (E3.1.2)	Manual
	Supervisión aplicación homogénea del coagulante (E3.1.3)	Manual
	Rotar motor prueba de jarras (E3.1.4)	Semiautomático
	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.2.1)	Manual
	Nivel tanque Sedimentación (E3.2.2)	Manual
	Abrir/Cerrar compuertas neumáticas de entra y salida (E3.3.1)	Semiautomático
	Nivel tanques filtros rápidos (E3.3.2)	Manual
DESINFECCIÓN	Ensayo demanda de cloro (E4.1.1)	Semiautomático
	Determinar dosis de cloro (E4.1.2)	Semiautomático
	Dosificar cloro gaseoso en maquina Dosificadora de Cloro (E4.1.3)	Semiautomático
ALMACENAMIENTO	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.1)	Manual
	Nivel de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.2)	Manual
	lectura de los sensores (E5.2.1)	Automático
	Análisis de los parámetros (E5.2.2)	Manual
	Girar motor prueba de jarras (E5.2.3)	Semiautomático
	Determinar dosis de Cal secundaria (E5.2.4)	Semiautomático
	Abrir/Cerrar válvula control de paso de agua (E5.2.5)	Manual
	Llenar tanque de Cal secundaria (E5.2.6)	Manual
	Dosis de Cal en maquina dosificadora (E5.2.7)	Manual
	Rotar motor de maquina dosificadora de Cal secundaria (E5.2.8)	Semiautomático
	Documentación de parámetros en reporte diario (E5.2.9)	Semiautomático
	Recoger muestra de agua potable (E5.2.1)	Manual
	Realizar pruebas de laboratorio (E5.2.3)	Semiautomático

	Documentación de parámetros en reporte diario digital (E5.2.4)	Semiautomático
DISTRIBUCIÓN	Distribuir agua potable (E6.1.1)	Automático
	Lectura Macro medidores (E6.1.2)	Semiautomático

Tabla 10. Nivel de automatización de las fases del proceso - Fuente propia.

Obteniendo como resultado 20 fases Manuales correspondiente a un 45% de las fases totales, 21 fases Semiautomáticas equivalente a un 48% de las fases y por ultimo un 7% de las fases totales correspondiendo a un total de 3 fases clasificadas como automáticas. (ver figura 17).

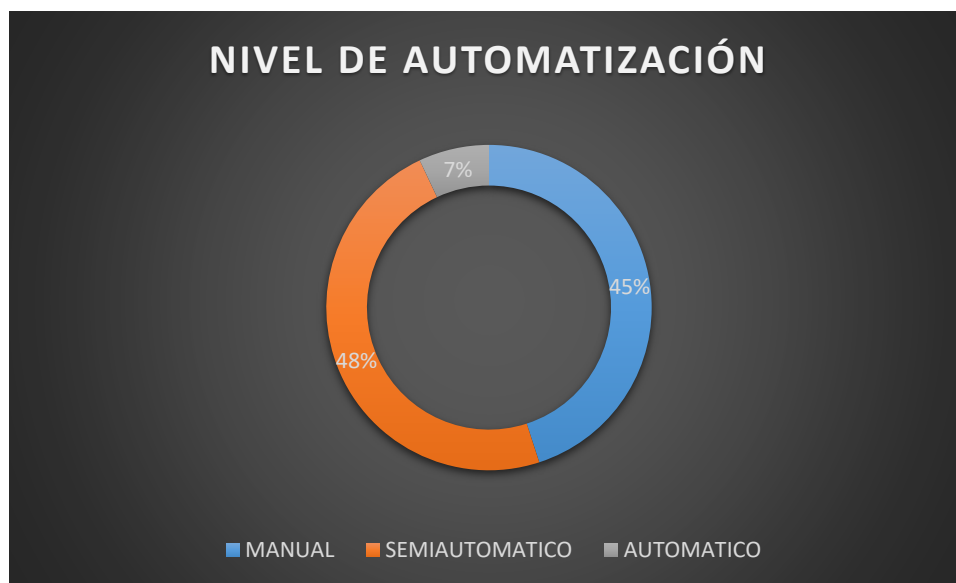


Ilustración 21. Grafica porcentual nivel de automatización – Fuente propia.

### **4.3 ANÁLISIS MODELOS ISA – 88.**

Teniendo en cuenta la información analizada anteriormente y la de los modelos presentados en el apéndice A, se determina que el proceso de producción de agua potable en la planta El Tablazo del Acueducto de Popayán, es de tipo Batch (se producen lotes de aproximadamente 620 litros de agua potable), con un tiempo aproximado de producción por lote de 2.5 a 3 horas máximo, durante las 24 horas del día. Durante la producción de agua potable hay tiempos demasiado extensos en algunas fases del proceso, como por ejemplo en la recolección de muestras de agua cruda y agua potable, para su posterior análisis el cual se realiza manualmente por el operario de turno, mediante pruebas fisicoquímicas en el laboratorio del acueducto. El tiempo aproximado que demanda la realización de este análisis para cada muestra de agua cruda y agua potable es de 35 a 40 minutos. Teniendo en cuenta que teóricamente se debería realizar este análisis 1 vez cada hora por cada muestra, para así poder tener un control constante de los parámetros de agua cruda y agua potable.

#### **4.3.1 ANÁLISIS GENERAL MODELO DE PROCESO**

Las etapas presentadas en el modelo de proceso (Aireación, Dosificación de químicos y medición de parámetros agua cruda, Procesos de purificación agua cruda, Desinfección, Almacenamiento y medición de parámetros agua potable y Distribución), estas etapas ejecutan sus operaciones una tras otra continuamente con flujo constante de materia prima, en este caso es agua cruda la cual será tratada con la finalidad de obtener agua potable.

Con relación a las operaciones de proceso, se encontró que en el control sistemático de parámetros de agua cruda (operación que pertenece a la etapa de “Dosificación de químicos y medición de parámetros agua cruda”) donde el valor de estos parámetros (PH, Alcalinidad, Turbiedad, Conductividad, Caudal) deben estar controlados permanentemente, cuya medición es de vital importancia para determinar las acciones que se deben realizar en la aplicación de químicos, ya sea la aplicación de Cal primaria si el (PH<7) y también determinar la dosis de Sulfato de aluminio que se debe aplicar al agua cruda dependiendo de los rangos con los que entra el agua. Este sistema de medición está presentando fallas, midiendo parámetros no confiables, por lo cual no le sirve como referencia ni ayuda al operario para determinar con que parámetros está llegando el agua cruda, por ende el operario debe tomar muestras de agua cruda y realizarle los respectivos análisis fisicoquímicos, los cuales demandan un tiempo determinado, estos análisis se deben realizar una vez por hora, se debe tener en cuenta que el tiempo es un factor



determinante en el proceso y a su vez los operarios también deben realizar otras tareas dentro del desarrollo del proceso.

Por otro lado, también ocurre lo mismo en la operación de medición sistemática de parámetros de agua potable (operación que pertenece a la etapa de “Almacenamiento y medición de parámetros agua potable”) Donde los parámetros (PH, Cloro, Turbiedad y caudal de salida) deben estar controlados permanentemente, ya que si el valor del (PH<7) se debe poner en marcha el plan de aplicación de cal secundaria, a su vez el valor del cloro de estar referenciado siempre, ya que el cloro refiere a la desinfección del agua y debe estar en un rango determinado; este sistema de medición no está cumpliendo con su finalidad, debido a que no está siendo útil como referencia para el operario, ya que no mide los valores correctos con los que entra y sale el agua de la planta, aumentando el esfuerzo físico del operario, aumento en tiempos y costos, riesgo en la distribución del agua presuntamente con otros parámetros. El operario encargado debe determinar el valor estos parámetros, para ellos debe recoger muestras del tanque de agua potable, llevarlas al laboratorio y hacerles las respectivas pruebas fisicoquímicas, lo cual demanda un tiempo determinado, el tiempo es fundamental en esta etapa del proceso ya que el agua almacenada se encuentra muy próxima a ser distribuida por gravedad hacia la ciudad. En repetidas oportunidades los operarios me manifestaron que el sistema de medición había sido implementado hace unos años, pero que, en todo ese tiempo, el sistema de medición no les había servido como referencia, también me comentaron que no sabían manipular ni utilizar este sistema, solo sabían que en el HMI salía la referencia de los parámetros y que tampoco se tenía un plan de mantenimiento del mismo. Por lo cual se evidencia una falta de capacitación con respecto a ese nivel de tecnología y de planificación en su mantenimiento.

#### **4.3.2 ANÁLISIS GENERAL MODELO FÍSICO.**

En la etapa de Dosificación de químicos y medición de parámetros de agua cruda, cuentan con 2 máquinas dosificadoras de cal, una de estas máquinas se utiliza para la dosificación de un químico llamado sulfato de aluminio tipo B (Sólido), este químico es fundamental ya que es un coagulante utilizado en la Floculación del agua cruda, esta máquina no cuenta con las características adecuadas para esta función ya que en teórica esta máquina debería usarse para la dosificación de la Cal. Estas 2 máquinas presentan fallos muy frecuentes, en repetidas ocasiones estas máquinas presentan fallos eléctricos y mecánicos, lo cual representa un riesgo preventivo ya que son de la única manera que se puede aplicar estos químicos al agua cruda; dentro de esta etapa también se cuenta con el equipo de prueba de jarras, este equipo es muy antiguo, lo que lo vuelve un poco tedioso de usar, ya que su forma de operar, requiere la graduación de las revoluciones por minuto

manualmente, en diferentes intervalos de tiempo, lo que demanda un tiempo determinado en la realización de esta prueba. En esta etapa se cuenta con un equipo demasiado antiguo y obsoleto, una balanza tipo manual, la cual se gradúa por pesos, este equipo es importante a la hora de pesar y medir cantidades, pero ya se hace difícil a la hora de usar por su estado y su método de operación tan antiguo.

En la etapa de Procesos de purificación del agua, en la operación de Floculación se cuenta con unas compuertas manuales de entrada y salida de los tanques, las cuales son muy antiguas y se hacen tediosas a la hora de operar por su peso y tamaño, lo cual hace dificultoso la operación de estas compuertas; en la operación de Sedimentación se cuenta con unas válvulas manuales de vástago tipo mariposa, el vástago de estas válvulas es aproximado de 1.50 metros, lo que hace complicada su operación, aumentado riesgos físicos, tiempos de operación, entre otras cosas.

En la operación de filtros rápidos se cuenta con 8 válvulas neumáticas, las cuales son activadas o desactivadas a través de una serie de perillas manuales, manipuladas por el operario respecto a la necesidad del proceso en el momento.

En la etapa de Desinfección, cuenta con una máquina dosificadora de cloro gaseoso, la cual está compuesta por Rotámetros, válvulas de presión y manómetros; dosificando la cantidad requerida para la desinfección del agua, en estos momentos los rotámetros están presentando fallas en la manipulación de los mismos, lo que podría complicar la regulación del paso de cloro gaseoso. Teniendo en cuenta que esto debe estar regulado precisamente ya que la cantidad de cloro debe ser exacta ni más ni menos del rango establecido.

Para realizar el análisis de las muestras de agua cruda y agua potable, se cuentan con equipos altamente especializados permitiendo tener de manera oportuna y con un alto porcentaje de certeza los parámetros con los que entra el agua y con los que sale el agua tratada, esta operación demanda de un tiempo alto de ejecución ya que se debe realizar manualmente paso por paso. Al momento de tomar la muestra y de realizar los análisis de las muestras se cuenta con el riesgo de contaminación microbiológica debido a la alta manipulación manual por parte del operario.

### **4.3.3 ANÁLISIS GENERAL MODELO DE CONTROL PROCEDIMENTAL**

En el Modelo de control procedimental, presenta una ejecución secuencial jerárquica de las fases del proceso de purificación de agua potable, lo que quiere decir que para producir un lote de agua potable se deben ejecutar obligatoriamente un orden de fases, una tras otra, una vez completada una fase, continúa ejecutándose todas y cada una de las fases siguientes hasta llegar a la última,

traduciéndose al final en la producción de agua potable para consumo humano (ver apéndice A). Lo que permite hacer un seguimiento de todas las acciones y variables necesarias dentro del desarrollo del proceso. Ayudando a la identificación de cada acción operativa, la identificación de posibles fallos y detección preventiva de puntos críticos en el proceso.

#### **4.4 ASPECTOS GENERALES RELACIONADOS CON LAS NECESIDADES DEL PROCESO**

Con la intención de ampliar el panorama con respecto a un diagnóstico más completo también se estudian las necesidades que se encuentran presentes en el proceso de producción de agua potable, se analiza la documentación del proceso, la necesidad de automatización y el mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso, con la finalidad de encontrar aspectos fundamentales del proceso que puedan mejorar en beneficio del mismo. (Ver Apéndice B.)

##### **4.4.1 DOCUMENTACIÓN**

Es necesario conocer qué documentación es diligenciada, usada y requerida durante la ejecución del proceso. Para ellos se realizó una encuesta respecto a la documentación relacionada, para mayor detalle ver apéndice B sección B. Determinando según el análisis de la encuesta que se cuenta con la documentación necesaria en la ejecución del proceso. De acuerdo a las necesidades de documentación se requiere un formato para el seguimiento y control del mantenimiento de equipos, también un formato donde se consignen los tiempos de ejecución del proceso. (RG4).

##### **4.4.2 NECESIDAD DE AUTOMATIZACIÓN EN LAS FASES DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.**

Habiendo previamente analizado el nivel de automatización (ver Tabla 10), presente en cada una de las fases del proceso y toda la información correspondiente a la operatividad de la planta; se plantea una encuesta al operario referencia, teniendo en cuenta su larga experiencia, debido a que ha operado la planta durante muchos años, conociendo bien donde podría existir la necesidad, con la finalidad de determinar en qué puntos es necesario la implementación de técnicas o prácticas de automatización de procesos que permitan una ayuda en términos de disminución de esfuerzo físico y tiempos de ejecución a la hora del desarrollo del proceso; como

conclusión de esta encuesta se considera de manera oportuna la implementación de técnicas o prácticas de automatización en la operación de abrir o cerrar compuertas manuales de entrada y salida en las etapas de Floculación y Sedimentación.

#### **4.4.3 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE AGUA POTABLE.**

Para la parte de mantenimiento de equipos, es necesario contar con la información pertinente para la operación de los equipos y conocer las acciones que se realizan en línea de producción (ver Apéndice B). Después del análisis respectivo se determina que la planta cuenta con manuales de operación y fichas técnicas de los equipos. No se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo a los equipos y tampoco se cuenta con formatos de registro de mantenimiento de los equipos.

#### **LISTA DE REQUERIMIENTOS**

Posteriormente de haber hecho todo el análisis anterior, se consolida una lista de requerimientos como se muestra en la tabla 11.

<b>ID</b>	<b>Listado requerimientos</b>
RG1	Garantizar el funcionamiento del Sistema de Medición de Parámetros Automático instalado en la planta.
RG2	Proponer válvulas de compuerta neumática para la apertura y cierre de las compuertas manuales que se encuentran presentes en la etapa de Floculación y Sedimentación. Garantizando que dicha instrumentación se ajuste a las resoluciones 4143 del 2012 y 4142 del 2012 del ministerio de salud.
RG3	Plantear una actualización de tecnología preventiva, sobre los equipos que se encuentren propensos a fallar, los que estén fallando y los equipos obsoletos por su antigüedad.
RG4	Desarrollar un formato de consigna, programación, registro y seguimiento sobre el mantenimiento de los equipos del proceso.
RG5	Garantizar un constante mejoramiento e innovación del proceso, con la finalidad de trabajar para el proceso, buscando estrategias que permitan una evolución, actualización y mejoramiento del mismo.

*Tabla 11. Lista de requerimientos consolidada - Fuente propia.*

De acuerdo al diagnóstico que se realizó anteriormente, se da cumplimiento al objetivo 2 del proyecto.

# CAPITULO V

En este capítulo se estructura una propuesta integral de mejora, con relación a las necesidades presentes en el proceso, las cuales fueron diagnosticadas previamente. La propuesta integral está compuesta por 4 diferentes puntos, los cuales pretenden dar alternativas de solución a las ya mencionadas necesidades del proceso.

## 5. PROPUESTA INTEGRAL DE MEJORA

Después de haber estudiado y diagnosticado el proceso, se tienen los fundamentos o requisitos necesarios para poder estructurar una propuesta integral de mejoramiento, la cual estará enfocada a la optimización del proceso. Integrando una serie de alternativas de solución, con lo que se pretende dar solución a las necesidades que fueron descubiertas en el transcurso del desarrollo del proyecto.

### 5.1 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS Y PROPUESTA IoT:

El diagnóstico desarrollado en capítulo 4, permitió evidenciar una problemática que existe en el Sistema de medición de los parámetros de entrada del agua cruda y de salida del agua potable, ya que es una necesidad tener una referencia en tiempo real de los parámetros con los que está entrando y saliendo el agua de la planta. Vale resaltar que esta referencia es importante para el operario a la hora de tomar decisión de operación.

La problemática que se evidencio es la inconsistencia de los valores recolectados por el Sistema de medición automático, ya que los valores medidos no son precisos, ni reales en comparación a los parámetros con los que realmente está entrando y saliendo el agua de la planta, este asunto es muy importante, ya que el apoyo de la tecnología para el proceso y para las personas que se encargan de la operación del mismo es de gran ayuda, porque al tener un constante monitoreo, en tiempo real y con datos confiables, se pueden tomar acciones preventivas, rápidas y eficaces en un menor tiempo para garantizar una producción de alta calidad del agua potable.

Al momento de estudiar cuales eran las fallas que presentaba el sistema, se identificó la falta de mantenimiento y calibración del sistema, debido a que no existe un plan de mantenimiento del mismo y estos sensores instalados requieren un

mantenimiento constante ya que por estar inmersos en el agua 24 horas al día, recogen suciedad que se va acumulando y al no realizarle mantenimiento por mucho tiempo, van perdiendo su capacidad de medir los parámetros.

Para dar solución a esta problemática, se diseñó una estrategia de mantenimiento programado del Sistema de medición, el cual estará soportado bajo formatos de planeación y ejecución del mantenimiento, los cuales serán de fundamental ayuda para la programación de los mantenimientos y se llevará un control de la ejecución del mismo, garantizando que el mantenimiento sea constante, permanente y efectivo, lo que se traducirá a la larga en beneficio para el proceso, ya que se tendrá un Sistema de medición automático, funcional y confiable en la medición de los parámetros.

El plan de mantenimiento consta de garantizar un mantenimiento por semana de los sensores en campo, Se diseñan dos formatos, uno de programación y otro de mantenimiento, el primer formato A, hace referencia a la planeación de mantenimiento mensual, se programa 4 mantenimientos mensuales, correspondientes a los 4 lunes de cada mes, donde se llevará una consigna de si se realizó o no el mantenimiento semanal, marcando con un (X) la respuesta, llevando el registro de Fecha, hora de inicio y fin del mantenimiento, complementando con un espacio de observaciones, a continuación se muestra un ejemplo de cómo se debe diligenciar el formato.

FORMATO PLANEACIÓN MANTENIMIENTO SISTEMA AUTOMÁTICO				Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P	
PLAN MENSUAL DE MANTENIMIENTO					
Nombre Encargado:					
¿SE REALIZÓ EL MANTENIMIENTO SEMANAL?					
SEPTIEMBRE	LUNES 1	¿SI?	X	FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
	LUNES 2	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
	LUNES 3	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
	LUNES 4	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
OCTUBRE	LUNES 1	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
	LUNES 2	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
	LUNES 3	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
	LUNES 4	¿SI?		FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA DE FIN:
		¿NO?			
Observaciones:					

Tabla 12. Formato A Plan mantenimiento mensual - Fuente propia.

En el formato B, será el encargado de guardar las consignas correspondientes al manteniendo semanal de los sensores, en donde el encargado de realizar el mantenimiento debe registrar la fecha y hora de inicio y fin del mantenimiento, debe seguir las recomendaciones de seguridad, debe tener todos los implementos de protección y contar con los insumos necesarios para el mantenimiento, una vez esté listo debe seguir los pasos guías para la realización del mantenimiento, en donde tiene una casilla correspondientes que deberá marcar con un check (ok) cuando haya sido realizada, este proceso debe repetirse tanto en los sensores instalados en la entrada del agua cruda como los sensores instalados en el tanque de almacenamiento de agua potable. El mantenimiento puede tener una duración de 35 minutos aproximadamente. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se debe diligenciar el formato.

FORMATO SEMANAL DE MANTENIMIENTO SISTEMA AUTOMÁTICO		Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P	
MANTENIMIENTO SEMANAL	FECHA Y HORA DE INICIO:	FECHA Y HORA FIN:	
Nombre Encargado:		Tiempo estimado 35 min	
<b>HERRAMIENTAS</b>		<b>EQUIPO DE PROTECCION</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cepillo especial</li> <li>- Solución alcalina de surfactantes y polifosfatos.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botas de protección</li> <li>- Guantes</li> <li>- Casco</li> </ul>	
<b>MEDIDAS PREVENTIVAS:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Des energizar el Sistema de medición.</li> </ul>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>Sistema medición entrada</b>	<b>Sistema de medición salida</b>
Verificar que el sistema de medición este apagado.		ok	
Realizar el desmonte de las sondas y los sensores.		ok	
Realizar limpieza de los sensores dejándolo 15 minutos en 250ml de la solución, después limpiándolo con agua y un cepillo.		ok	
Realizar montaje de las sondas y sensores.		ok	
Energizar el sistema de medición.			
Verificar calibración de los sensores.			
Verificar que los sensores estén midiendo correctamente los parámetros.			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<b>FIRMA</b>			

Tabla 13. Formato B mantenimiento semanal - Fuente propia.

### 5.1.1 PROPUESTA IoT

Una vez se tiene la certeza que los datos que recolecta el Sistema de medición de la planta, son confiables, es necesario que estos parámetros sean utilizados como referencia tanto a nivel de campo como a nivel administrativo, ya que si tenemos un control permanente de ellos es posible que se puedan tomar decisiones rápidas, acertadas y preventivas con respecto a la calidad del producto y al desarrollo del proceso.

Para ello se diseña una solución de industria 4.0, la cual permita extraer los datos que están siendo medidos por el sensor y llevarlos a la nube, para que cualquier dispositivo con acceso a internet pueda tener en tiempo real los parámetros que están siendo medidos en la planta.



El sistema de medición está diseñado de la siguiente manera, para el agua cruda se instalaron 5 sensores tipo sonda (PH, Oxígeno, Conductividad, Turbidez y Caudal), los cuales permiten medir el valor de estas variables, estos valores son recolectados por un controlador HACH SC 1000, el cual tiene una conexión tipo PROFIBUS con el PLC Siemens S7-1200 que se encuentra instalado en la sala de control, donde a su vez se encuentra el ordenador en el cual se puede visualizar el HMI, el cual permite ver todos los parámetros tanto para el agua cruda como para el agua que ya ha sido tratada y está próxima a ser distribuida.

Con respecto al agua potable tratada por la planta, se instalaron 3 sensores tipo sonda (PH, Cloro y Turbidez), los cuales están instalados en el tanque de almacenamiento grande de agua potable, agua que será distribuida próximamente a la ciudad y deberá contar con los valores correctos de un agua óptima para el consumo humano. Estos sensores están conectados a otro controlador HACH SC 1000, el cual a su vez tiene una conexión tipo PROFIBUS con el PLC Siemens S7-1200 que se encuentra en la sala de control.

Para extraer estos datos que han sido recolectados por el PLC S7 – 1200, se debe establecer una comunicación entre un Broucker y el PLC, para ello fue seleccionado la tarjeta Raspberry Pi 4, la cual estará configurada para hacer las veces de Broucker, para ello se debe instalar en la tarjeta Pi 4 el programa Broucker mosquito para que la tarjeta pueda recibir todas las señales que envíe el publicador (PLC), también se debe actualizar el Node-Red el cual ya viene instalado por defecto en la tarjeta, para posteriormente compartir dicha información a los suscriptores que están adheridos a él; La conexión a internet se debe contar con un Router el cual tenga conexión permanente a internet. Con relación a la comunicación entre estos dispositivos se debe conectar el PLC con el Router que tiene acceso a internet, esto se sugiere que sea realizado vía Ethernet, con la ayuda de un Switch, el cual irá conectado vía BusEthernet con la tarjeta Raspberry Pi 4 (Broucker), se debe tener en cuenta que las direcciones IP tanto del Wifi como del PLC y también la IP del Broucker deben estar en la misma Subred, para poder tener una comunicación óptima entre ellos.

A continuación, se muestra la posible estructura donde se articula el Sistema de medición con la propuesta IoT (Ver imagen 22):

ESTRUCTURA IOT PARA EL SISTEMA DE MEDICIÓN  
PLANTA EL TABLAZO

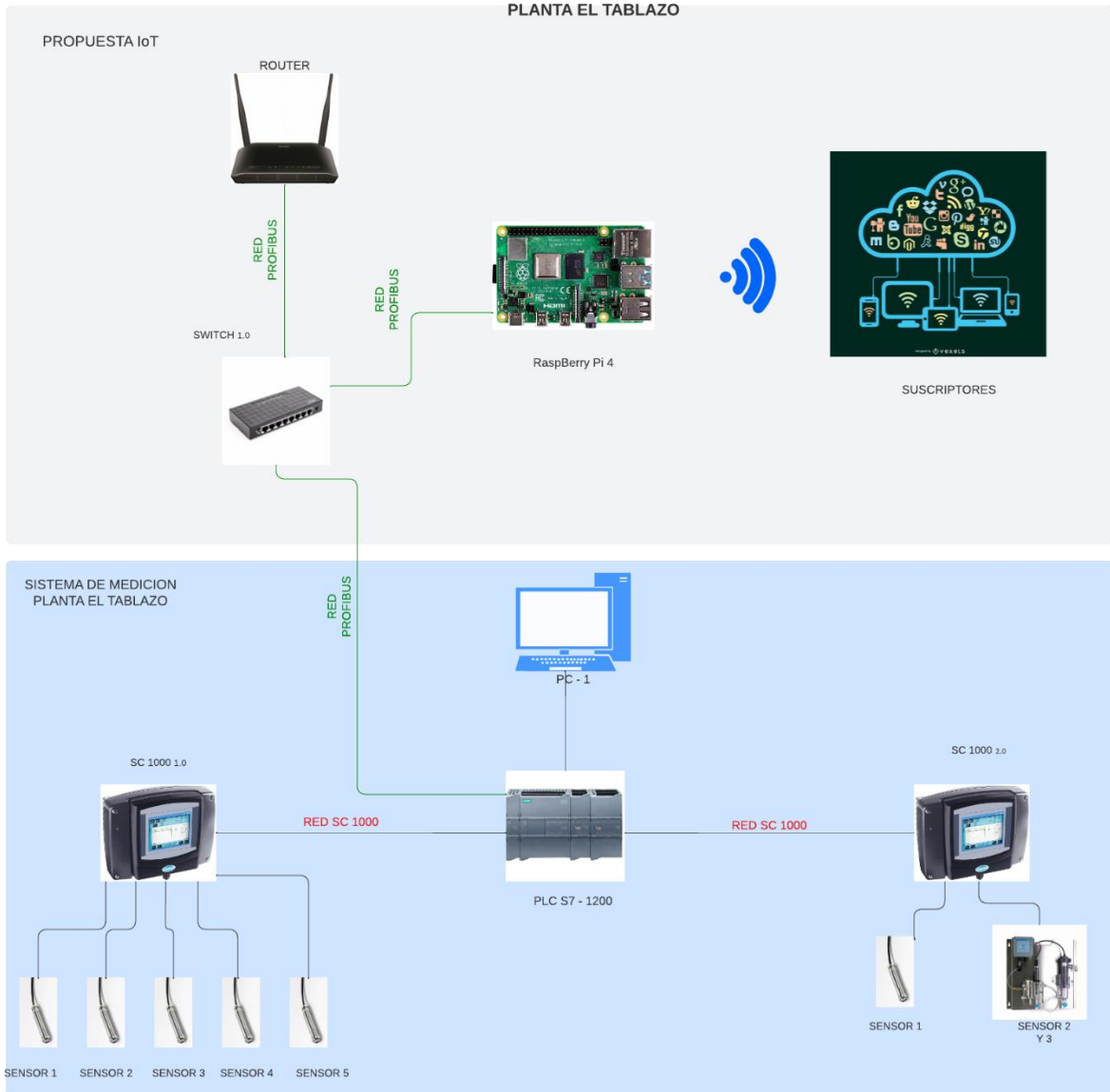


Ilustración 22. Estructura IoT Planta el Tablazo - Fuente propia.

<b>INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICION IoT</b>		
<b>ENTRADA DE LA PLANTA</b>		
SENSOR 1:	SENSOR PH	Sensor diferencial PH HACH
SENSOR 2:	SENSOR CONDUCTIVIDAD	HACH 3433
SENSOR 3:	SENSOR OXIGENO DISULETO	Electrodo HACH LDO
SENSOR 4:	SENSOR TURBIDEZ	Sonda HACH SOLITAX
SENSOR 5:	SENSOR CAUDAL	Sensor ultrasonido
	CONTROLADOR	SC 1000 HACH 1.0
<b>SALIDA DE LA PLANTA</b>		
SENSOR 2 Y 3:	SENSOR CLORO Y PH	HACH CLF10
SENSOR 1:	SENSOR TURBIDEZ	HACH TU5300
	CONTROLADOR	SC 1000 HACH 2.0
<b>GABINETE DE CONTROL</b>		
	PLC	S7 – 1200 SIEMENS
	PC - 1	PC INDUSTRIAL

Tabla 14. Instrumentación Sistema de Medición Planta El Tablazo - Fuente propia.

Instrumentación necesaria para implementación de propuesta IoT, al Sistema de medición automático:

<b>INSTRUMENTACION PROPUESTA IoT</b>	
<b>GABINETE DE CONTROL</b>	
1 TARJETA IoT	RaspBerry Pi 4
SWITCH	Switch Industrial
CABLEADO ETHERNET	# Metros necesarios
ROUTER	Acceso permanente a internet; Velocidad sugerida aproximada (60-70)MB

Tabla 15. Instrumentación necesaria IoT - Fuente propia.

Ventajas de la implementación IoT:

- Agilidad en la toma de decisiones preventivas, administrativas y operacionales.
- Bajo costo y fácil implementación.
- Control permanente de los parámetros del agua cruda y tratada desde dispositivos permitidos con acceso a internet.
- Optimización del proceso.
- Mejoramiento en la calidad del producto.
- Reducción de tiempos y esfuerzo físico.
- Reducción de costes en la producción.

## 5.2 VÁLVULAS DE COMPUERTA NEUMÁTICA

El diagnóstico del capítulo anterior, permitió identificar una problemática en la operación de apertura y cierre de las compuertas manuales de las etapas de Floculación y Sedimentación, la cual afecta de manera directa al esfuerzo físico de los operarios de la planta, al desarrollo del proceso y tiempos de ejecución. La causa de esta problemática radica en la antigüedad de dichas compuertas, las cuales han estado presentes desde la apertura de la planta, debido su estado y metodología de funcionamiento se hacen tediosas a la hora de operar, poniendo en riesgo la salud física de los operarios que son los encargados de manipular dichas compuertas, a su vez se ve un incremento en los tiempos de operación y más aún cuando la compuerta es de tipo mariposa, ya que cada una de estas válvulas tienen un vástago de 1.20 metros, el cual a la hora de operar la mariposa se puede tardar entre 15 – 20 minutos por válvula, teniendo en cuenta que el tanque de Sedimentación cuenta con 10 válvulas de este tipo, se podría gastar un total de 150 minutos en la apertura o cierre de las válvulas manuales tipo mariposa de salida del tanque, tiempo que podría ser aprovechado en otras funciones dentro del proceso. Este incremento en tiempos de ejecución que podría jugar en contra a la hora de tomar acciones preventivas u de operación. En total se cuenta que para la etapa de Floculación se tienen 4 compuertas manuales de salida, 4 compuerta manuales de entrada y para la etapa de Sedimentación se tiene 10 compuertas manuales de entrada y 10 válvulas de compuerta tipo mariposa manual.

Para dar solución a esta problemática referente a la apertura y cierre de dichas compuertas, existen herramientas como las Válvulas de compuerta automáticas, las cuales son fabricadas a la medida, según la necesidad del cliente y son construidas con materiales especiales para el tratamiento de agua. Estas válvulas pueden clasificarse como simples, no es necesario la implementación de un control, prácticas de usar e instalar, de fácil mantenimiento y limpieza.

### **Especificaciones técnicas de la válvula de compuerta automática:**

La válvula de compuerta automática que se sugiere está diseñada para orificios por donde pase el fluido, el orificio puede ser redondo, cuadrado u rectangular y la compuerta puede tener un sello de 3 o 4 lados según las especificaciones del cliente, estas son especiales para trabajar con líquidos limpios, es utilizada principalmente en plantas de tratamiento de agua y centrales hidroeléctricas, esta compuerta es de elevación vertical y está diseñada especialmente para estancamientos u orificios en paredes de concreto. Son diseñadas especialmente a la medida de los orificios y su instalación debe ser apoyada en una pared de concreto, las válvulas de compuerta son fabricadas unidireccional (favorable o desfavorable) o bidireccional, en este caso se recomienda unidireccional favorable debido a que la dirección del líquido va a presionar la compuerta contra el muro donde fue instalada.

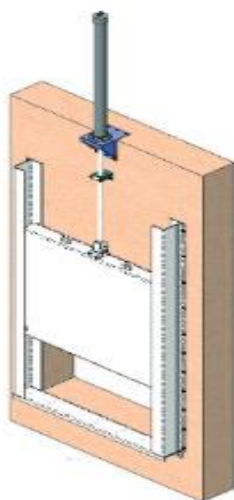


Ilustración 23. Modelo de compuerta neumática - Fuente cmovalves.com

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Modelo	Serie VM neumática
Fluido	Agua
Material	Acero Inoxidable AISI 304
Operación	O/I
Red neumática	(6 $kg/m^2$ - 10 $kg/m^2$ )
Dimensión	(150mm * 150mm) - ( 5000mm * 5000mm)
Presión	(PED) ART 4.3 /CAT.1.
Temperatura fluido	-20°C hasta 90°C
Materiales de las juntas	EPDM(E)
Precio	700 USD
Garantía	12 Meses
Proveedor	CMO VALVES
País de origen	GUIPUZCOA - ESPAÑA Barrio Amategi, 142 20268 ALTZO

Tabla 16. Características de la compuerta neumática - Fuente propia.

Las válvulas de compuerta automáticas son construidas con acero inoxidable, se adaptan a trabajos de producción continuo por lotes, fue seleccionada según las características del proceso (620 litros/ segundo, 37.200 litros/minuto, 2.232.000 litros/hora). Los elementos principales de estas compuertas son el cuerpo o bastidor, en el cual se instala un tablero mecano-soldado con ruedas laterales, facilitando la manobra de apertura y cierre de la misma, el movimiento de dicha compuerta es ascendente y descendente y cuenta con 2 opciones, sellado ya se por 3 lados o por 4 lados, esto con la finalidad de evitar fugas del líquido. Para el anclaje de las compuertas se diseña el amarre a la pared donde se encuentra el orificio, las dimensiones de la compuerta deben coincidir perfectamente con las del orificio, para así garantizar el paso del fluido sin ningún tipo de obstrucción, debido a que a la

hora de la apertura total de la compuerta permite el paso continuo y total del fluido. También se debe tener en cuenta que en el muro donde se va a instalar debe estar liso, ya que si tiene algunas mal formaciones puede que esto afecte el cuerpo de la compuerta deformándola provocando daños irreparables y afectando el desempeño de la compuerta.

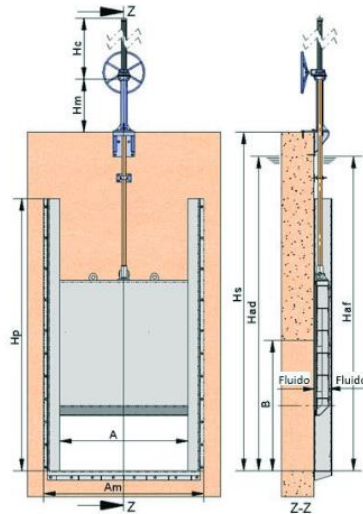


Ilustración 24. Mediciones necesarias para la fabricación de la compuerta – Fuente cmovalves.com

LISTADO DE COMPONENTES					
POS.	COMPONENTE	POS.	COMPONENTE	POS.	COMPONENTE
1	CUERPO	7	EJE RUEDA	13	PLACA ANTIGIRO
2	TABLERO	8	BRIDA TOPE	14	CHARNELA
3	JUNTA DE CIERRE	9	RUEDA	15	CASQUILLO CHARNELA
4	BRIDA JUNTA	10	CASQUILLO RUEDA	16	VASTAGO
5	DESGLIZADERAS	11	ARANDELA TOPE	17	SOPORTE GUIA
6	CUNAS	12	BULON CHARNELA	18	TORNILLERIA

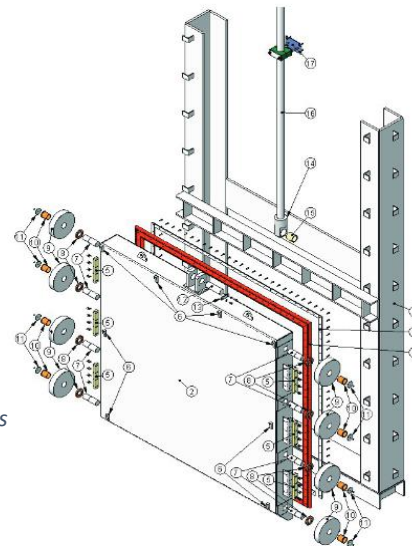


Ilustración 25. Tabla de componentes e ilustración de los componentes de la compuerta - Fuente cmovalves.com

## 5.3 ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA

Durante el desarrollo del diagnóstico, también se analizó el funcionamiento y desempeño de la instrumentación usada a diario para el desarrollo del proceso de potabilización del agua en la planta El Tablazo, donde se identificó una problemática en algunos equipos, los cuales están presentando fallos constantes e incluso no están funcionando al 100% de sus facultades, esto podría representar un riesgo preventivo, debido a que si alguna de esta instrumentación fallase irreversiblemente, no se tendrían otros equipos los cuales realicen las mismas funciones de los instrumentos, poniendo en riesgo el desarrollo del proceso y la calidad del producto.

### EQUIPOS DIAGNOSTICADOS:

- Dosificadora de Sulfato:



*Ilustración 26. Dosificadora de Sulfato - Fuente propia.*

La dosificadora de Sulfato solido tipo B, está ubicada en la etapa 2 (Dosificación de químicos) del proceso, esta máquina presenta fallos eléctricos y mecánicos continuos, debido a su antigüedad y que la máquina que está instalada fue diseñada para la dosificación de Cal y no para dosificación de Sulfato. En repetidas ocasiones el eléctrico de la planta debe estar pendiente las 24 horas del día, ya que en la noche también opera el proceso.

- Dosificadora de Cal:



*Ilustración 27. Dosificadora de Cal - Fuente propia.*

En la etapa 2 (Dosificación de químicos) del proceso, también se encuentra instalada la maquina Dosificadora de Cal, esta máquina presenta fallos eléctricos como mecánicos. A pesar que esta máquina si es para la dosificación de cal presenta fallos reiterados.

Para dar solución a esta problemática se sugiere la instalación de una nueva máquina dosificadora en tolva con tornillo sin fin de Sulfato solido tipo B y de Cal. Esta máquina es construida en lámina y perfiles de acero especial para ambientes industriales, cuenta con un calefactor en la parte de la tolva, con la finalidad de acabar la humedad del producto químico seco, la tolva de la maquina es capaz de almacenar 75kgs de Sulfato de aluminio solido tipo B y 50kgs de cal. Teniendo como principal virtud, la versatilidad, siendo capaz de dosificar los dos químicos, en diferentes periodos de tiempo, estos químicos serán dosificación con mucha presión, gracias a su capacidad de dosificación ya que cuenta con un sistema eficaz el cual permite dosificar la cantidad exacta, mediante una perilla instalada en la parte superior del dosificador, es regulada la compuerta que se encuentra en la parte inferior de la tolva, abriendo o cerrando dicha compuerta por medio de un tornillo esta compuerta esta encima de un plato de vaivén, permitiendo que pase la cantidad exacta a dosificar, esto trae beneficios al proceso como el aumentando de la efectividad del químico y la reducción de desperdicio del insumo.





*Ilustración 28. Dosificadora de Sulfato y Cal - Fuente fadipartes.com.*

Esta máquina tiene la capacidad de dosificar de 0 a 200 kg/hora, cuenta con un moto reductor que ya está acoplado de fábrica, tanto el tornillo de control como la compuerta y el platillo basculante son construidos en acero inoxidable, también tiene protección anti corrosión. Cuenta con aditamento para mezcla hidráulica con agua de presión minia 15 PSI, también cuenta con las conexiones necesarias para la entrada de agua, rebose, desagüe y salida de la solución. Esta máquina tiene un variador de velocidad tipo potenciómetro, permitiendo la graduación de la velocidad de forma precisa, fácil y rápida.

#### **OPERACIÓN MANUAL Y OPERACIÓN CON VARIADOR DE VELOCIDAD**



*Ilustración 29. Variador de velocidad maquina Dosificadora – Fuente fadipartes.com.*

### Características técnicas:

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Modelo	POC - 1
Insumo	Sulfato aluminio tipo B, Cal
Material	Acero Inoxidable AISI 304
Motor	Monofásico 120 V – HP 1800RPM
Energía	110 Voltios – 60 Hz
Tolva	Capacidad 75kg
Precio	
Garantía	12 Meses
Proveedor	A&A FABIPARTES
País de origen	Colombia, Bogotá.

Tabla 17. Características técnicas maquina dosificadora de Sulfato y Cal - Fuente propia.

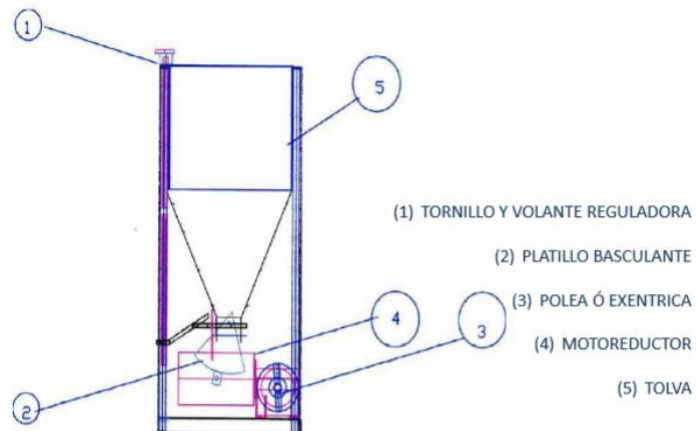


Ilustración 30. Partes del Dosificador de químicos – Fuente fadipartes.com.

- Rotámetro dosificador de cloro:



*Ilustración 31. Rotámetro dosificador de cloro - Fuente propia.*

Estos rotámetros son determinantes para la dosificación exacta del cloro gaseoso al agua que se encuentra en tratamiento, estos rotámetros cuentan con una perilla tipo potenciómetro el cual permite graduar el paso del cloro, ya sea aumentando la dosis o disminuyéndola, por su antigüedad y desgaste debido a que es operado permanentemente, no se encuentran en buenas condiciones, dificultando la graduación de la dosis, esto puede traer repercusiones, ya que puede ser que se le aplique un poco más o un poco menos de la cantidad requerida para la desinfección del agua cruda.

Para ello se sugiere la implementación de nuevos rotámetros “HYDRO Series 700”, los cuales pueden instalarse directamente al cilindro de cloro, sin necesidad de tuberías de presión, el cloro gaseoso es transportado mediante vacío hasta el punto de eyección. Este rotámetro cuenta con un indicador de operación el cual indica si la fuente de cloro se encuentra con insumo o si se encuentra vacío. Con respecto a la seguridad cuenta una válvula de seguridad de entrada con un resorte contrapuesto el cual permite sellar la salida del cloro del cilindro, para que si se llegase a presentar una pérdida de vacío el cloro gaseoso no se escape del cilindro. Esta válvula de seguridad es de tipo encapsulada, lo que permite un fácil desmonte y mantenimiento sin necesidad de herramientas especiales. También cuenta con una válvula selladora de entrada, cuando el suministro de cloro gaseoso se acaba, permite sellar todo el sistema de vacío, así garantiza que no entren impurezas ni humedad al sistema. El diafragma regulador permite mantener constante dentro del dosificador el nivel de vacío el cual es sellado internamente y externamente, lo que

evita fugas y posibles deformaciones de los componentes debido a la manipulación del mismo. Este dosificador tiene la capacidad de dosificar 500 PPD (10.000 gramos/hora). Lo que cumple con las características del proceso y del dosificador instalado en la planta.



Ilustración 32. Dosificador de Cloro gaseoso – Fuente hydroinstruments.com.

### Características técnicas:

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Modelo	Hydro Serie 700
Insumo	Cloro Gaseoso
Alimentación	110 Voltios – 60 Hz
Capacidad dosificación	500 PPD – 10 Kg/hr
Control	Semiautomático
Garantía	12 Meses
Proveedor	Hydro instruments
País de origen	EEUU

Tabla 18. Características técnicas dosificador de cloro - Fuente propia.

### VENTAJAS DE IMPLEMENTAR ESTOS EQUIPOS:

- Ahorro de costos e insumos.
- Reducción esfuerzo físico.
- Reducción de tiempos.
- Optimización de procesos.
- Eficiente aplicación de químicos.

## 5.4 DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN

El proceso de la planta el tablazo cuenta con múltiples inconsistencias a lo largo del proceso productivo, debido a la falta de mantenimiento, estudio y evolución del proceso, para ello se plantea la articulación de un nuevo departamento de Automatización, el cual tenga como principal función, gestionar el mejoramiento constate de la calidad el proceso mediante el planteamiento y desarrollo de estrategias basadas en prácticas o técnicas de automatización, enfocadas a la evaluación y mejoramiento del proceso, lo que permita tener un estudio permanente del proceso, logrando la identificación de deficiencias y necesidades que estén inmersas en el proceso, con la finalidad de dar solución a las problemáticas que se encuentren y que a la larga esto se traduzca todo lo anterior en progreso, mejoramiento y trabajo enfocado al proceso, lo que a su vez permite un mejoramiento constante en la calidad del producto.

A su vez este departamento estará enfocado en apoyar la labor que realizan los operarios de la planta el tablazo, buscando alternativas que permitan un mejor desempeño del operario, implementando técnicas o prácticas de automatización que sean de ayuda para él, buscando la disminución del esfuerzo físico realizado, cuidado de su salud integral y emocional, a su vez aportando al conocimiento del mismo, mediante capacitaciones e información que sea necesaria a la hora de manipular equipos de alta tecnología y consejos de operación del proceso.

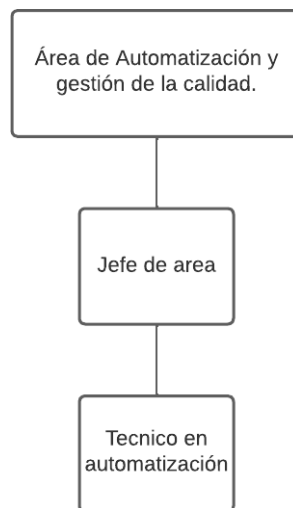
**Objetivo:** Establecer estrategias que permitan mantener en una evaluación constante el proceso, en búsqueda de diagnosticar problemáticas inmersas en el mismo, planteando posibles soluciones a dichas problemáticas mediante técnicas o prácticas en automatización de procesos, que a la larga se traduzca en un mejoramiento operacional y de calidad para el desarrollo del proceso.

### **Funciones:**

- Diseño de estrategias: Plantear estrategias que permitan garantizar un constante estudio del proceso.
- Realizar investigaciones del proceso: Desarrollar estrategias de recolección de información inmersa en el proceso.
- Análisis y toma de decisiones: Analizar las problemáticas encontradas, planteando soluciones efectivas para el mejoramiento del desarrollo del proceso.
- Estar en una constante búsqueda del mejoramiento de la calidad del proceso.
- Enfocarse en las necesidades del proceso.
- Garantizar una constante innovación y búsqueda de mejoramiento del proceso.

- Evaluar las necesidades de capacitación que tiene los operarios de la planta, con la finalidad de poder brindar conocimiento necesario para la operación de instrumentación y del proceso.

Organigrama Área Automatización y gestión de la calidad:



*Ilustración 33. Organigrama Área de automatización y gestión de la calidad - Fuente Propia.*

Se sugiere la contratación de un Ingeniero Automático o afines, para el cargo de Jefe de área.

Ventajas:

- Mejoramiento del desempeño del proceso.
- Constante mejoramiento de la calidad del proceso y del producto.
- Aumento de la productividad.
- Detección preventiva de fallos.
- Estudio permanente del proceso y su instrumentación.
- Optimización de tiempos y costos.

# CAPITULO VI

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- El estudio detallado del proceso, permitió la identificación de características e información relevante del mismo, algo muy importante ya que se debe tener total conocimiento de lo que se va a trabajar, lo que permite a su vez tener una visión más amplia del panorama, un mejor enfoque del análisis y de la propuesta de mejora; Lo que facilita la recolección completa y verídica de la información del proceso, con el objetivo de poder estudiar y estructurar jerárquicamente esta información. Además, gracias a la metodología de diagnóstico de la información recolectada (que ya ha sido implementada en trabajos anteriores) facilito la identificación de las necesidades de automatización del proceso, para lo cual se proponen alternativas de solución acotadas a las problemáticas identificadas.
- La estructuración de la información de la planta en los modelos de la herramienta ISA 88, permitió conocer la situación real de operación de la misma, modelando los procesos de operación, las acciones de proceso y la instrumentación necesaria, estructurando un modelo estándar del desarrollo del proceso.
- La propuesta integral planteada está orientada al fortalecimiento del desarrollo del proceso, con el correcto funcionamiento del sistema de medición de parámetros, reducción de esfuerzo físico, sugerencia de equipos adecuados para el proceso y que se encuentren en óptimas condiciones de operación; Contribuyendo así al mejoramiento de la calidad del proceso, la calidad del producto, la salud física y emocional de los operadores.
- La implementación de la metodología en cascada para el desarrollo del proyecto, permitió tener una división por etapas del mismo, garantizando el cumplimiento total de las actividades planteadas para cada fase del proyecto, facilitando el cumplimiento de los objetivos planteados y la obtención de los resultados.
- Se propone la apertura de un Área de Automatización y Gestión de la calidad, la cual este enfocada al mejoramiento de la calidad del proceso, con el desarrollo de estrategias que estudien el proceso permanentemente y ejecuten alternativas de solución que contribuyan al mejoramiento constante del proceso y de la calidad del producto. Ya que, si se quiere que la empresa sea competitiva y actualizada, es necesario que su área de operación y en el

desarrollo de los procesos, cuenten con prácticas de automatización, convirtiéndose en una herramienta que la larga se traduzca en optimización de tiempos, supervisión de información necesaria, disminución de actividades del operario en el proceso, potenciamiento en el desempeño del proceso y aumento en la calidad del producto.

- El proceso productivo la planta El Tablazo de Popayán, es un proceso susceptible al mejoramiento constante, debido a su antigüedad, deficiente programación de mantenimiento y su falta de innovación.
- El diseño e implementación de esta estrategia de diagnóstico permite tener un modelo estándar, con el cual se pueda estudiar, diagnosticar y proponer mejoras a cualquier proceso continuo de tipo Batch.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- El correcto funcionamiento de la instrumentación y los equipos del proceso, obedecen a un correcto mantenimiento e instalación de los mismos y más aún cuando se trata de equipos tan sensibles y que recogen mucha suciedad como los sensores, lo que requiere un mantenimiento constante y periódico con la finalidad de garantizar un buen funcionamiento.
- Se recomienda la instalación de sensores medidores de PH y Turbidez, en las etapas que no cuentan con estos sensores, con la finalidad de tener una supervisión más amplia de los parámetros exigidos por ley en todo el proceso. También la instalación de sensores de nivel, en los tanques de Sedimentación, Floculación y Almacenamiento.
- Se recomienda la actualización tecnológica de herramientas necesarias en la etapa 2 del proceso, como por ejemplo la balanza manual y la máquina de prueba de jarras.
- Se sugiere realizar el diseño de un sistema de succión, que permita llevar agua cruda desde la entra de la planta y traer agua potable desde los tanques de almacenamiento, directamente al laboratorio, lo que reduciría el tiempo en toma de muestras y agilizaría la realización de pruebas fisicoquímicas al agua de entrada y al agua que esta lista para ser distribuida.



# BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo. (2015). La importancia de la optimización en la industria. *Virtual pro*, nn.
- Allison, G. (17 de Julio de 2020). Manufactura y construcción, entre los sectores que más utiliza la automatización. *La Republica*.
- Anonimo. (s.f de s.f de s.f). *Departamento de Ingeniera electronica, electrica y de control Uned*. Obtenido de Portal archivos:  
[http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE2\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE2_1_1.pdf)
- Cauqueva, J. R. (2007). *Guia de elaboracion de diagnosticos*.
- Chacon, R. Q. (2009). Aplicación del Estándar ISA88 en el Modelado del Proceso de. *Energy and Technology for the Americas: Education, Innovation, Technology and Practice*. San Cristobal.
- E.Chacon, C. G. (2008). Metodología para la automatizacion integrada de procesos de produccion en el enfoque holonico. *Memorias del XIII Latin American Congress on*. Merida, Venezuela.
- F.Ebel, S. G. (2008). *Fundamentos de la técnica de automatización*. Alemania: Festo Didactic GmbH & Co. KG, 73770 Denkendorf, Alemania, 2007.
- Laine, P. P. (1999). OPERating diagnostics on a flocculator-settling tank using fluent CFD software. *Elsevier Science lid*, 155-162.
- Laoyan, S. (29 de 09 de 22). *¿Que es la metodologia FireWall y cuando usarla?* Obtenido de asana: <https://asana.com/es/resources/waterfall-project-management-methodology>
- Ordoñez Muñoz, R., & Lara Guevara, B. (2016). *Propuesta de Escalamiento Industrial del Proceso de Extrusión de Espumado Biodegradable bajo el marco del proyecto "Investigación y desarrollo de empaques biodegradables"*. Popayán: Autor.
- Peña. (2010). *Modelizacion ISA-88 y diagnostico de fallos de sistemas control de riego*. CATALUÑA: Tesis de maestria.
- Piri, H. &. (2010). Investigation of oPtimization of conventional drinking water treatment Plant. *2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering (ICBEE 2010)* (págs. 304-310). Iran: nn.
- Quilindo, V. &. (2011). Procedimiento de modelado ISA S88 para ejecucion de ordenes de produccion basadas en recetas. *CIENCIA E INGENIERIA NEOGRANADINA* , 107-129.
- Sorlini, C. C. (2015). Methodological approach for the optimization of drinking. *Water Scieencie & Technology*, 597- 604.

- Soto, J. C. (2018). *Diagnostico del sistema operativo de la planta de tratamiento de agua potable (ptap) Guacavia en el municio de Cumaral, departamento del Meta* . Villavivencio : nn.
- Valero, Y. O. (2008). *Diagnostico a la planta potabilizadora de la UCLV con vistas a mejorar a la calidad del agua*. Cuba: (Tesis de diplomado).

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

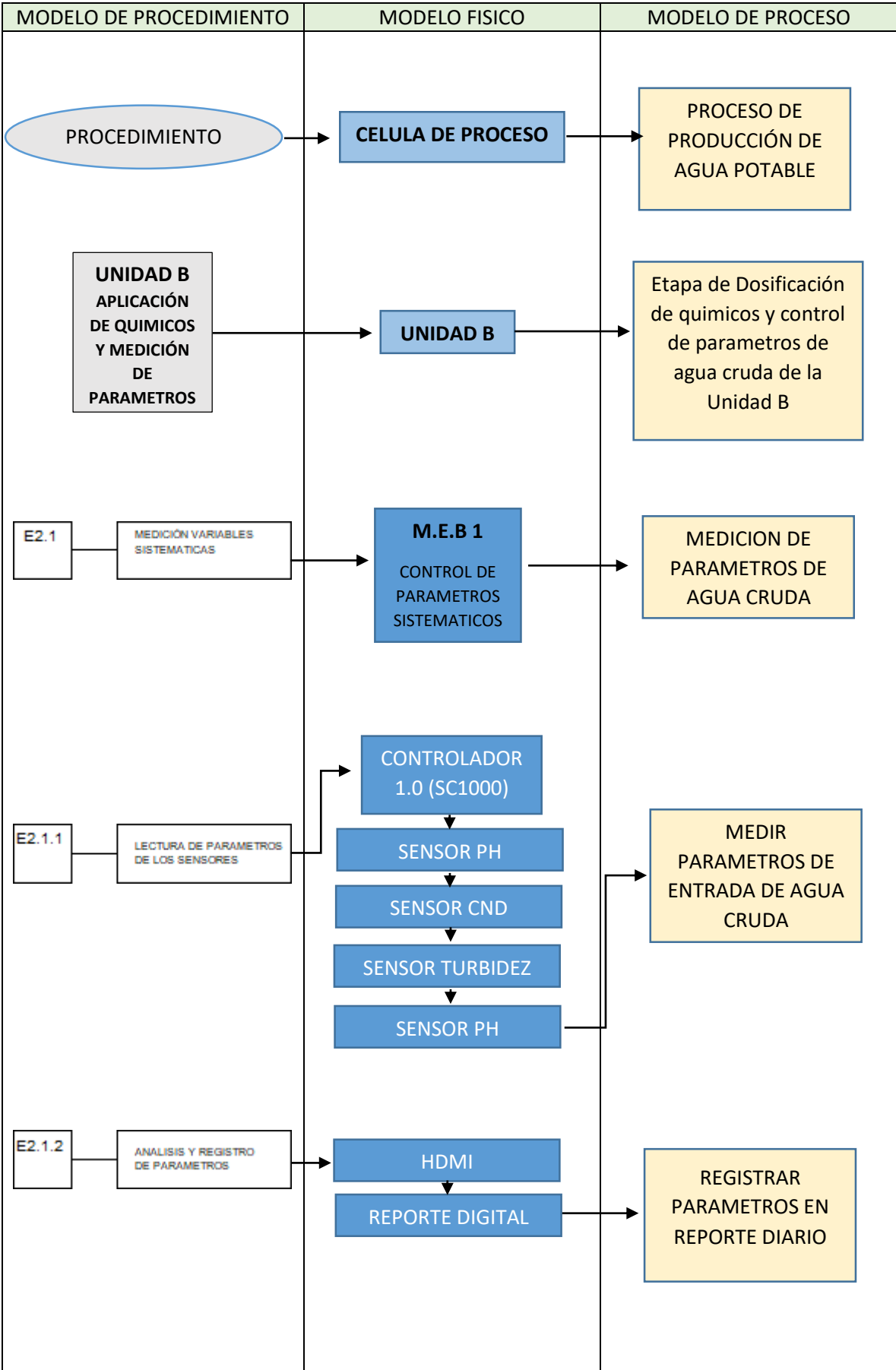
Modelados ISA 88 del proceso productivo de la planta Agua Potable El Tablazo del acueducto de Popayán.

La finalidad del estándar internacional ISA 88, es jerarquizar el proceso en 3 diferentes modelos, (Modelo de proceso, Modelo de control procedimental y Modelo físico) que en pocas palabras podríamos resumir su significado en ¿Qué se hace?, ¿Cómo se hace? ¿Y Dónde se hace? Respectivamente, permitiendo separar detalladamente de forma muy clara y concisa lo que es la planta y el proceso. El Modelo de proceso es prácticamente la articulación de los dos modelos restantes, ya que de forma general se puede decir que este modelo es una descripción del “¿Qué? Se obtiene como resultado del proceso, dando una definición del proceso, el Modelo de Control procedimental dirige acciones a la instrumentación de la planta, permitiendo realizar operaciones del proceso, indicando en pocas palabras “¿Cómo? Se hace el proceso y el Modelo físico, permite organizar la instrumentación del proceso, indicando el “¿Dónde? se ejecuta el proceso.

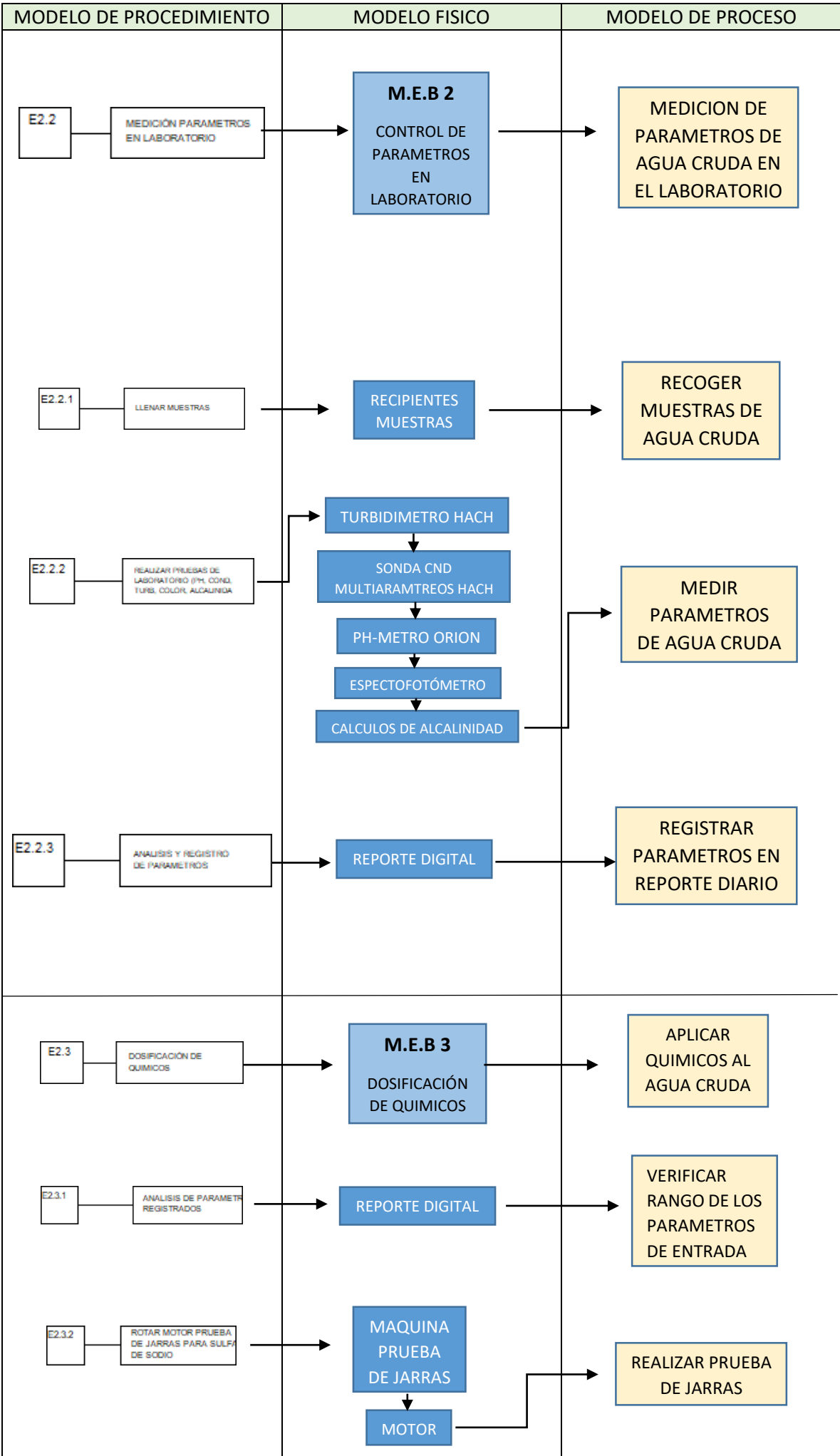
### A.1 MODELO DE PROCESO

El Modelo de proceso permite de forma ordenada ver detalladamente la estructura del proceso y la ejecución secuencial que se debe realizar sobre los equipos del proceso. Lo que permite al final tener como resultado un proceso determinado. Este modelo está compuesto por siguiente estructura, **Procedimiento**: Que se refiere al conjunto de acciones o tareas necesarias para la ejecución del proceso Batch; **Procedimiento de Unidad**: Se refiere a las operaciones que se deben ejecutar dentro de una unidad del proceso; **Operaciones**: se refiere a un conjunto de fases ordenado que genera cambios en el estado de la materia; **Fases**: Habla sobre las acciones en campo y su característica, las cuales deben ser ejecutadas de manera ordenada.

**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD B)



**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD B)



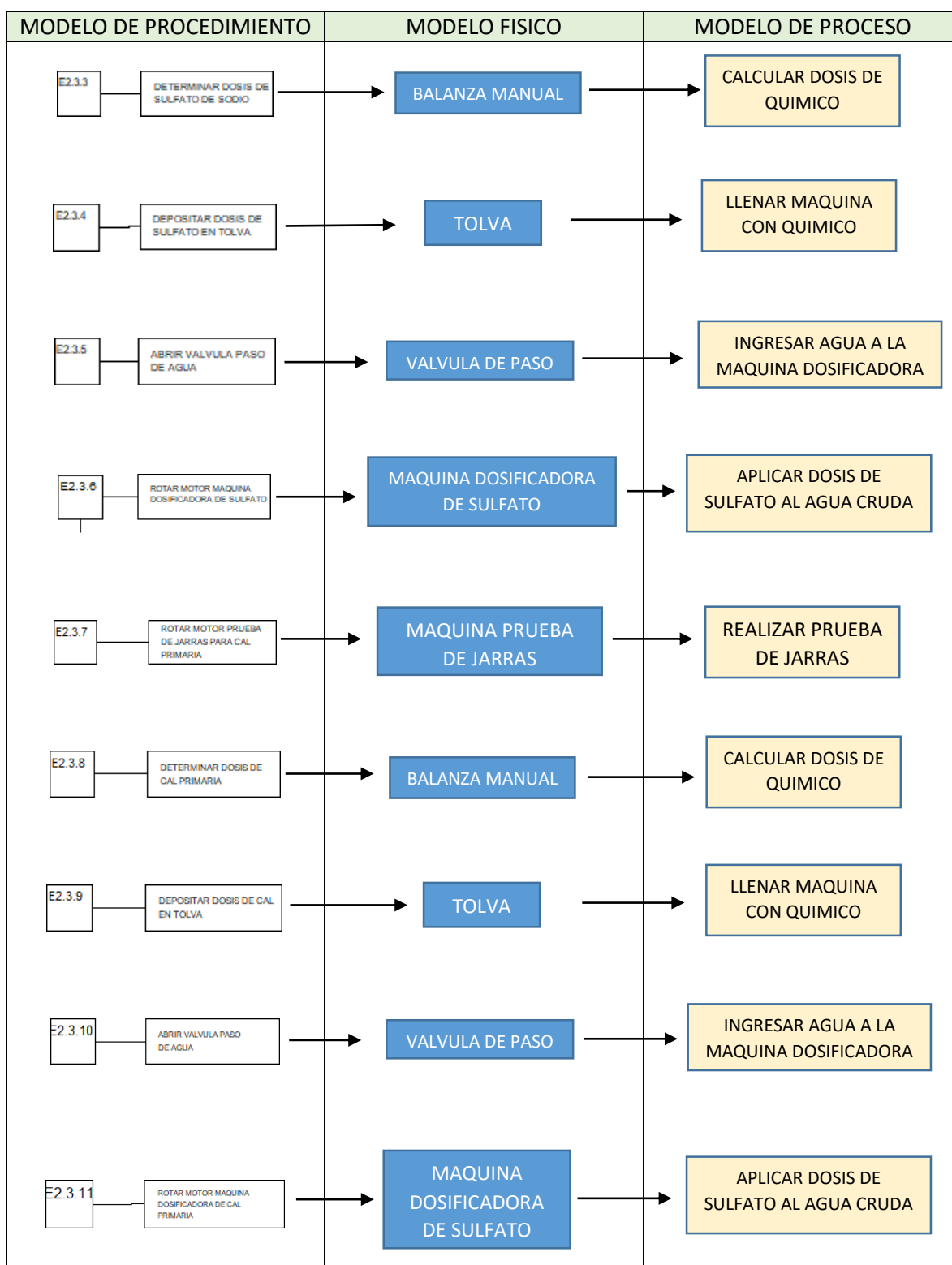
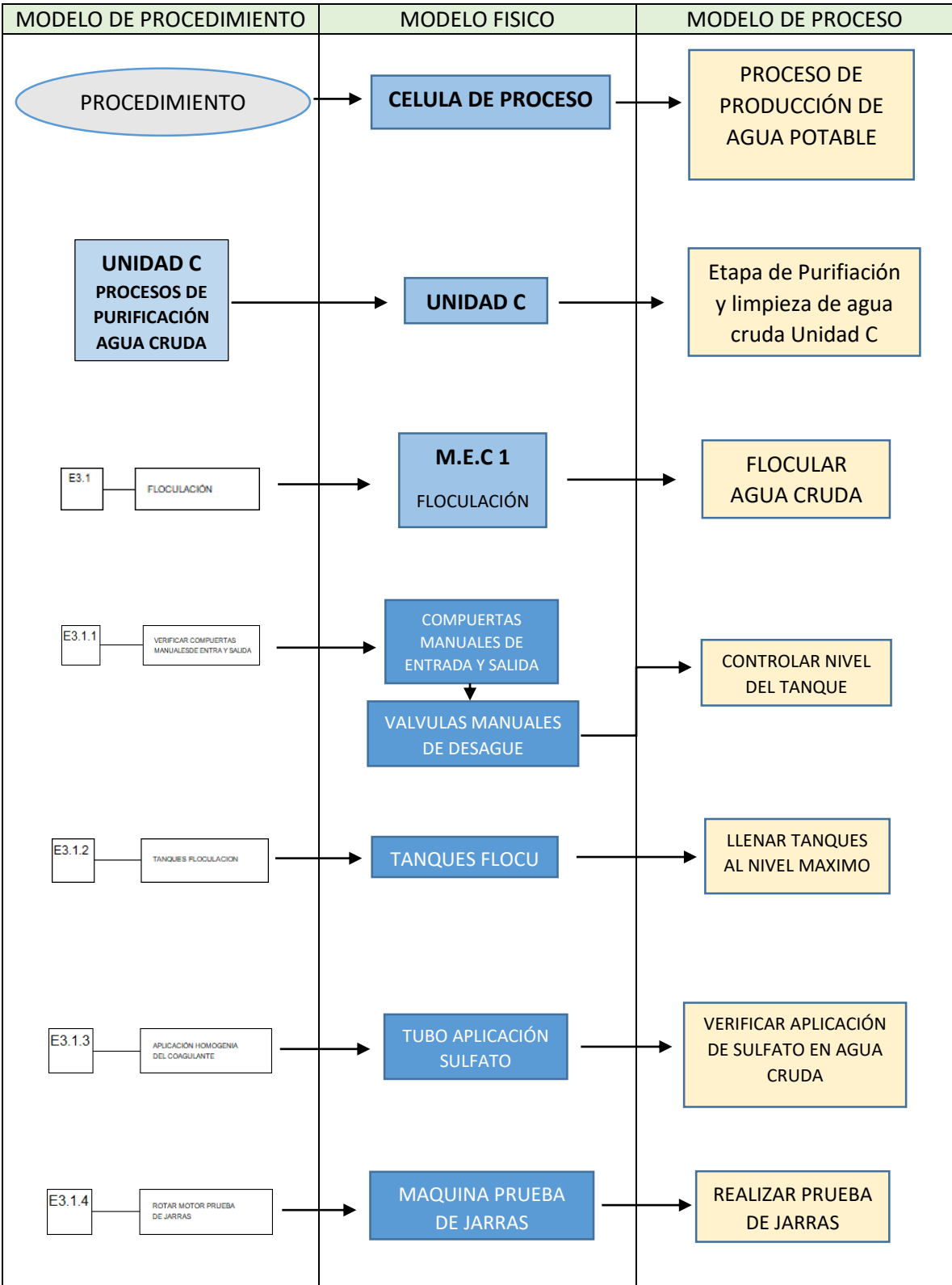


Tabla 19. Modelo de Proceso Unidad B -Fuente propia.

**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD C)



**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD C)

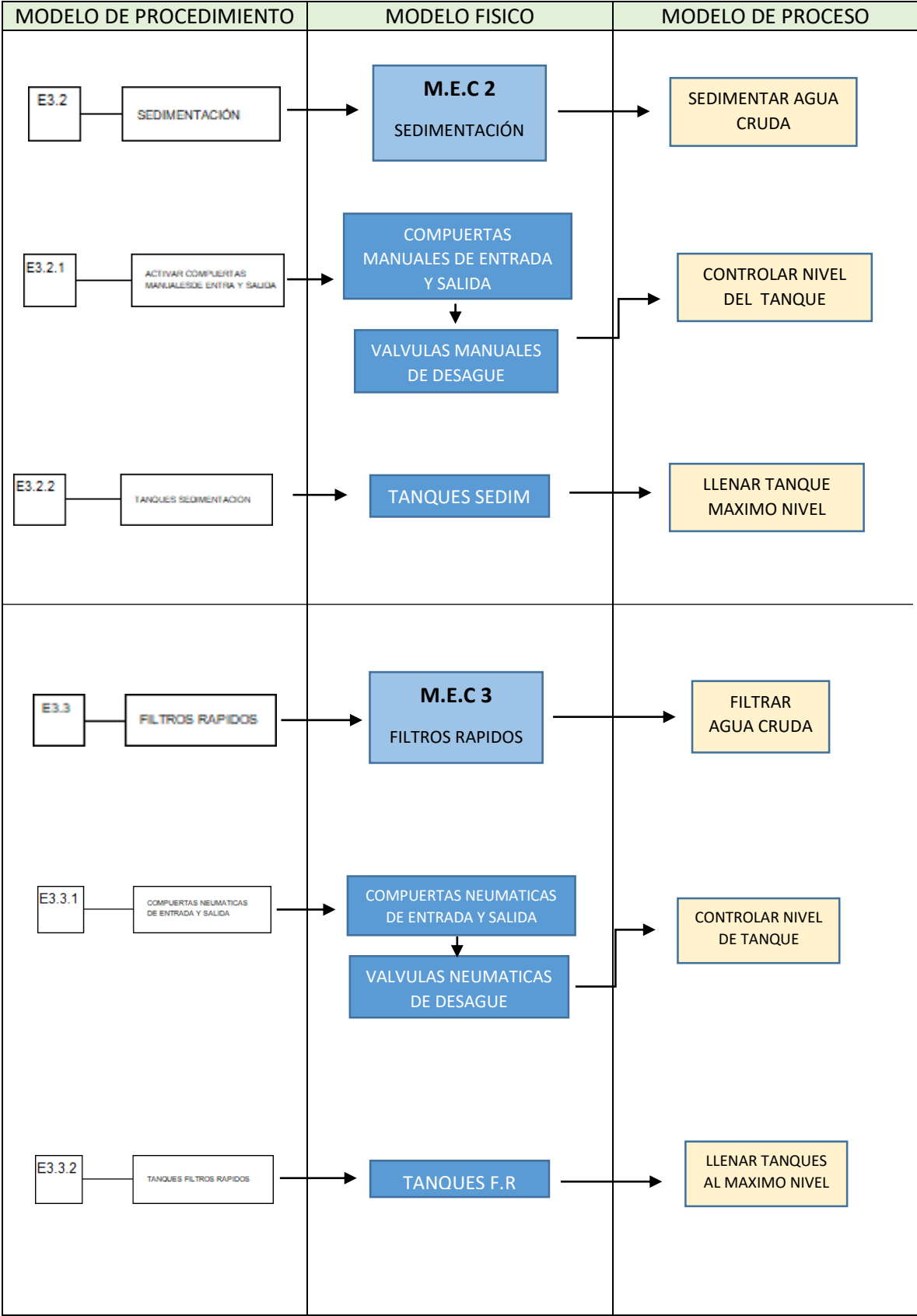
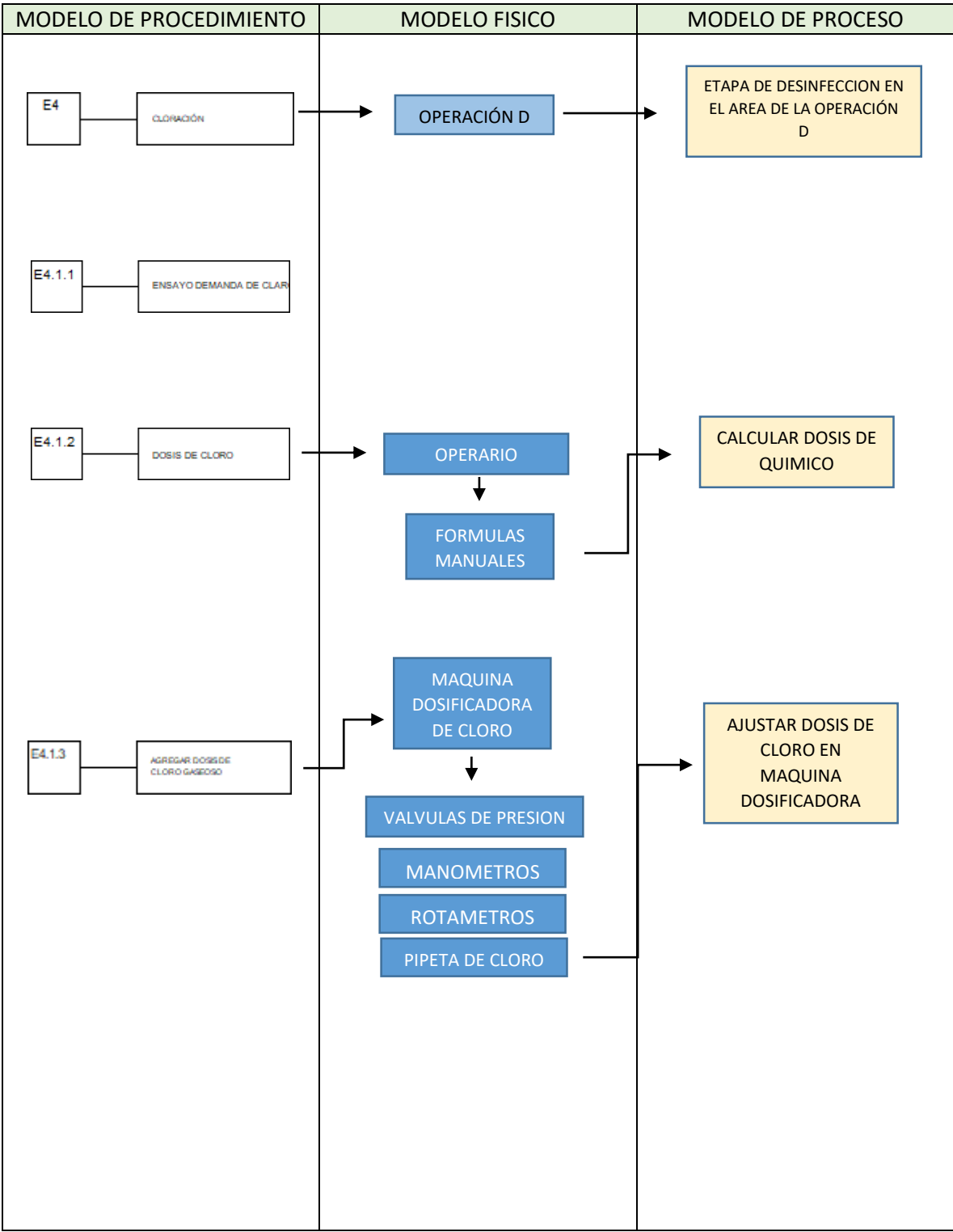


Tabla 20. Modelo de proceso Unidad C - Fuente propia.

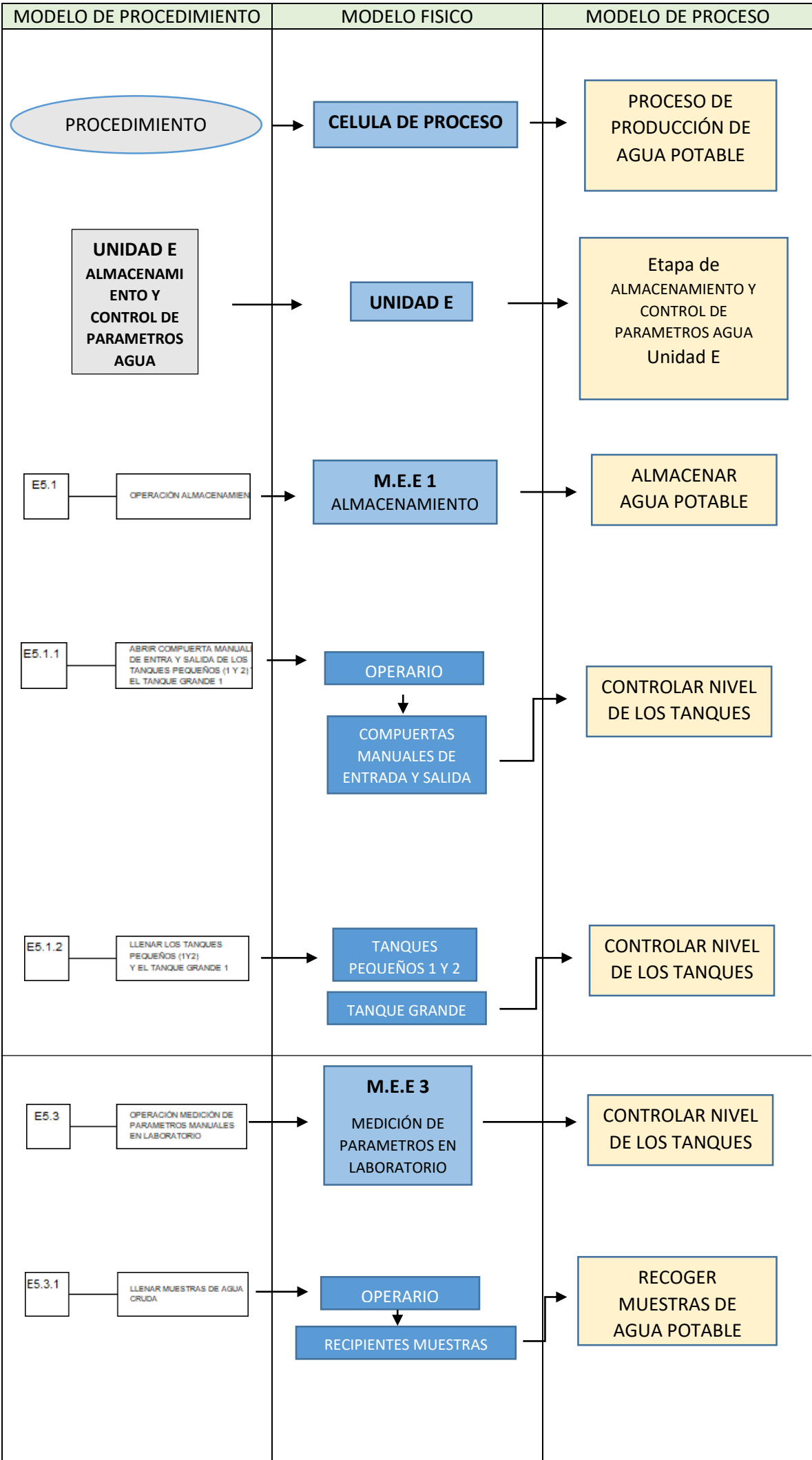


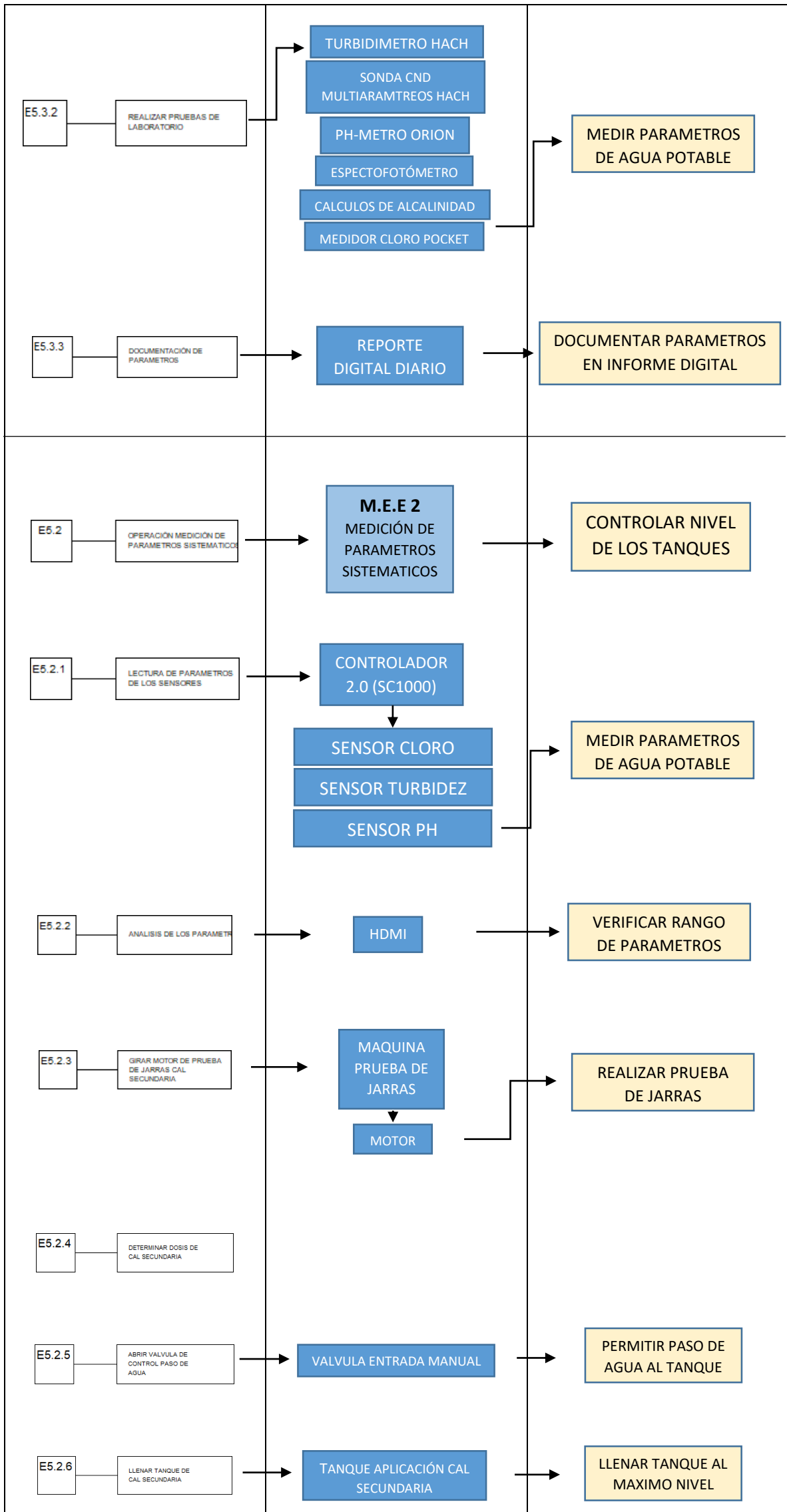
**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD D)



*Tabla 21. Modelo de proceso Unidad D - Fuente propia.*

**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD E)





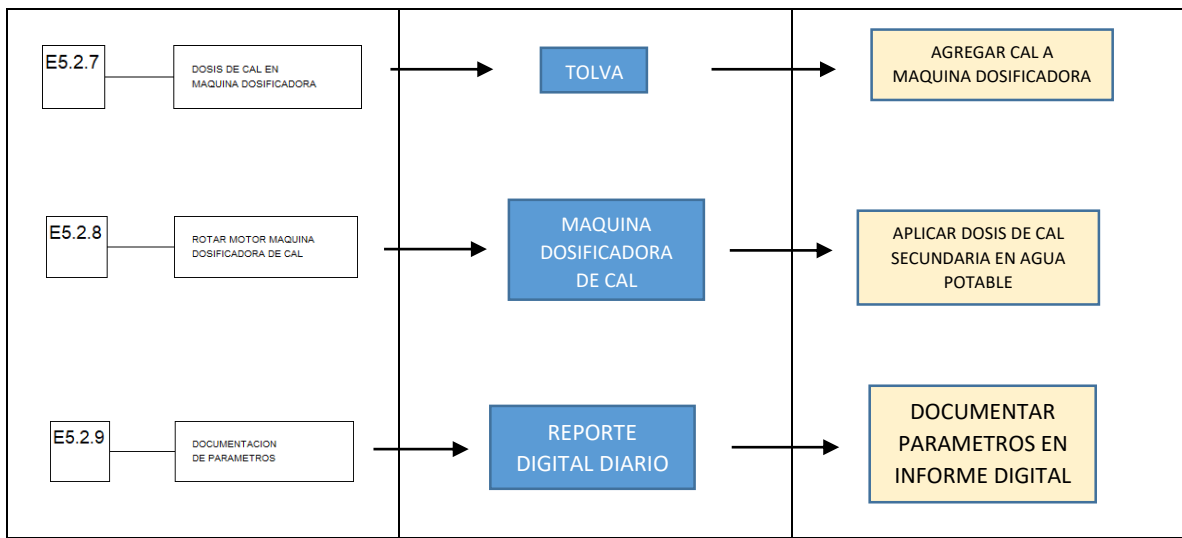


Tabla 22. Modelo de proceso Unidad E - Fuente propia.

**MODELO DE PROCESO**  
(UNIDAD F)

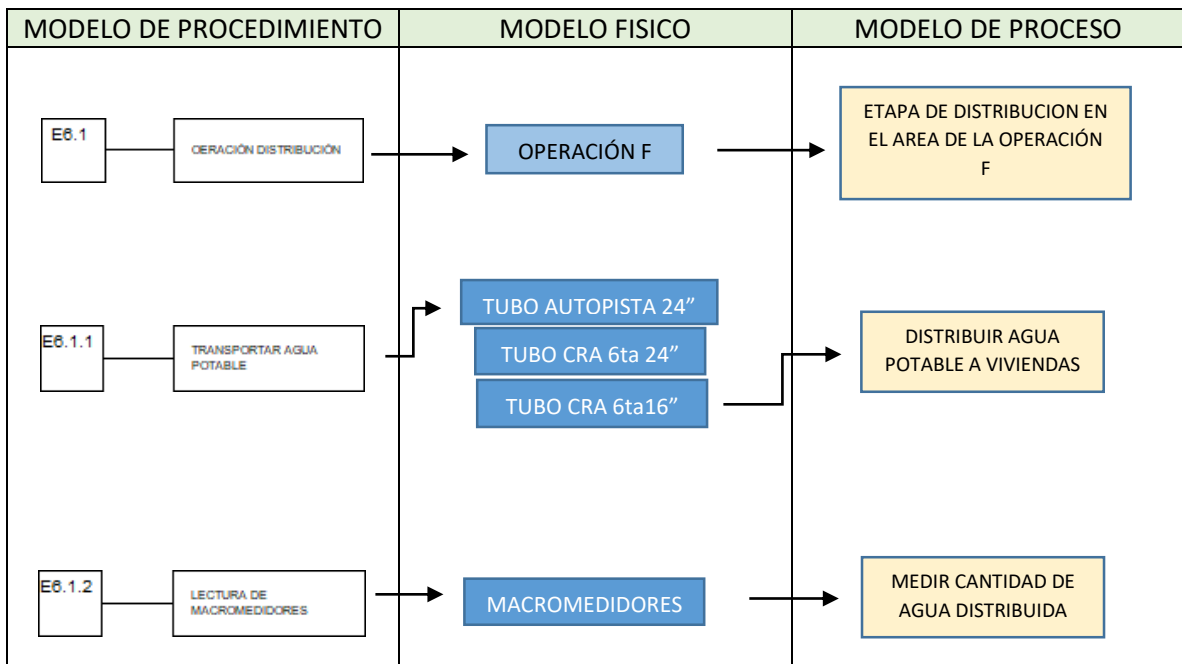


Tabla 22. Modelo de proceso Unidad F - Fuente propia.

## A.2 MODELO FISICO

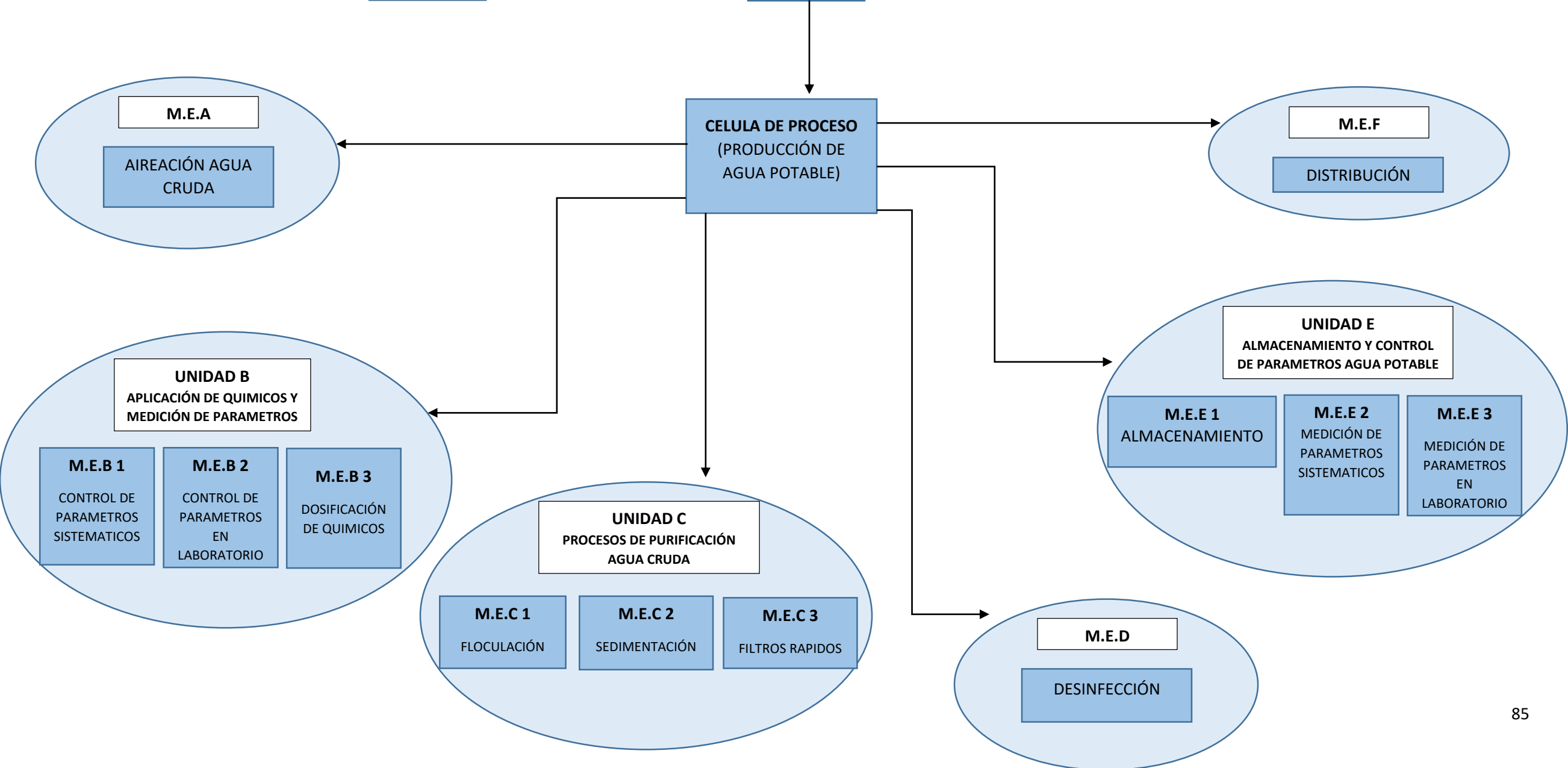
El Modelo Físico, jerarquiza los activos físicos de un proceso Batch, este modelo está estructurado de la siguiente manera Áreas, Sitios, Células del proceso, Unidades, Módulos de equipo y Módulos de control, yendo del nivel más alto al nivel más bajo respectivamente. Esta estructura esta jerarquizada así debido a que se deben articular los niveles más bajos empezando desde el Modulo de control, hasta formar los niveles superiores hasta el nivel de Área. Teniendo en cuenta que los 4 niveles inferiores corresponden al proceso de la planta, fueron detallados en este proyecto, mientras los 3 niveles superiores corresponden a un estudio más administrativo.

**MODELO FISICO**  
(Área, Sitio, Unidades, Modulo de equipo)

**Área:** Planta de agua potable

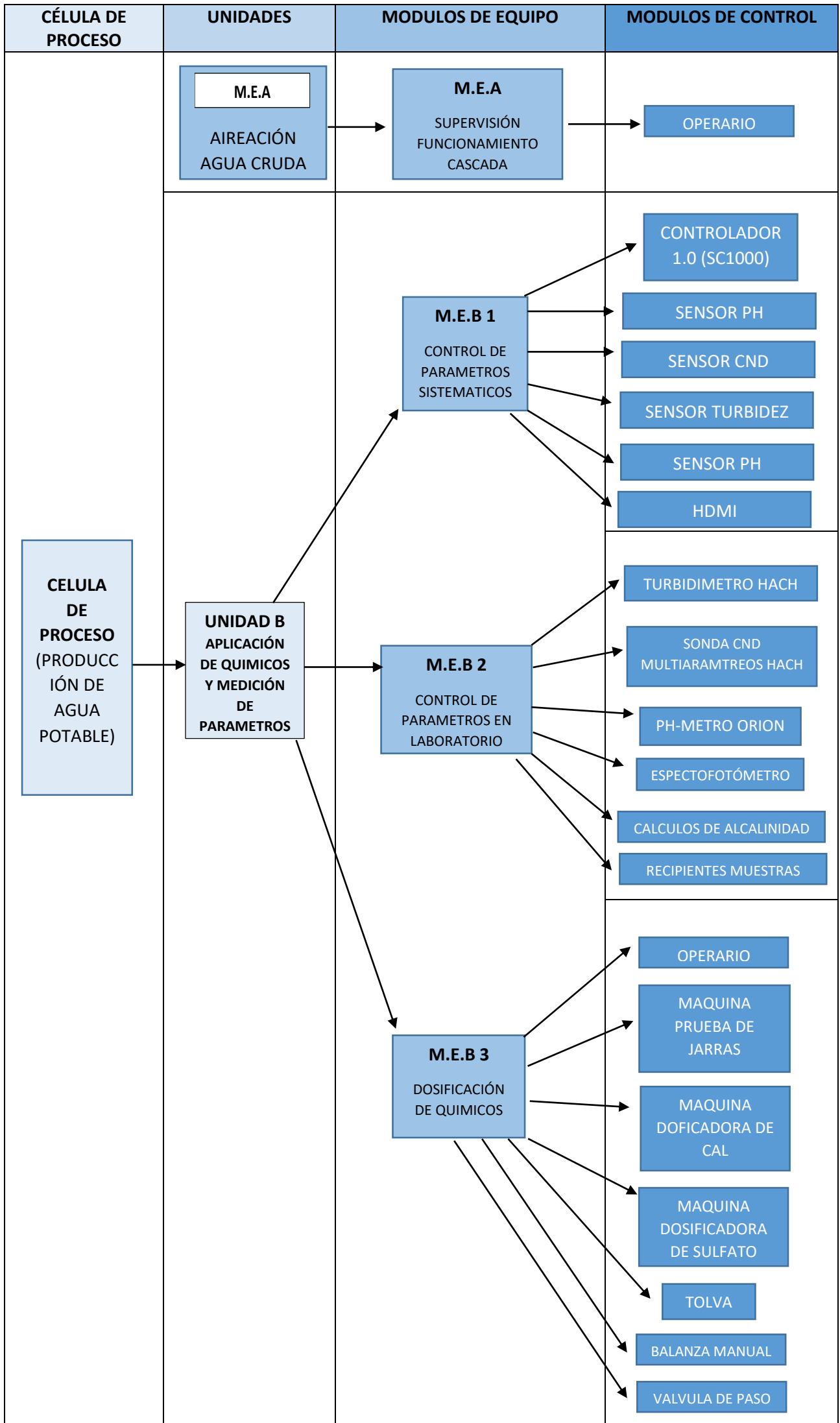
**Sitio:** Planta el Tablazo

Ilustración 34. Modelo Físico (Área, Sitio, Unidad, Modulo de control) - Fuente propia.



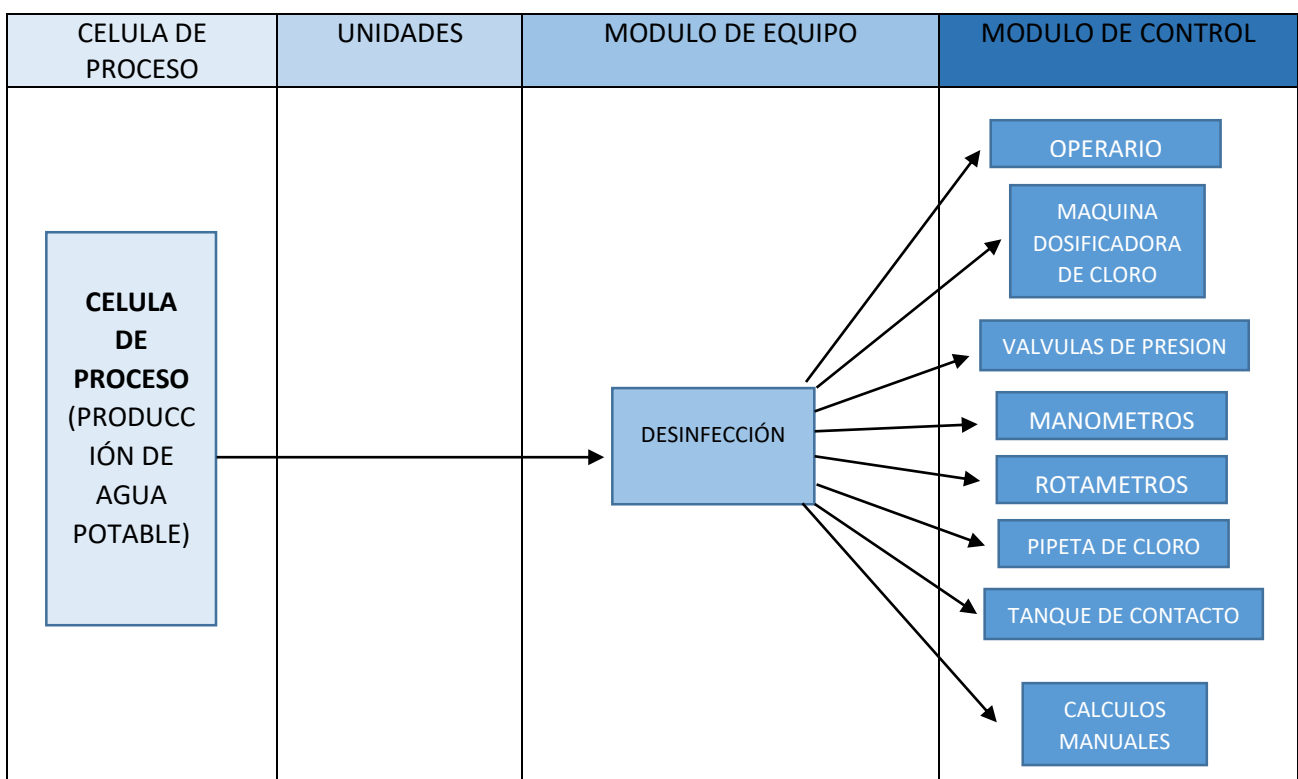
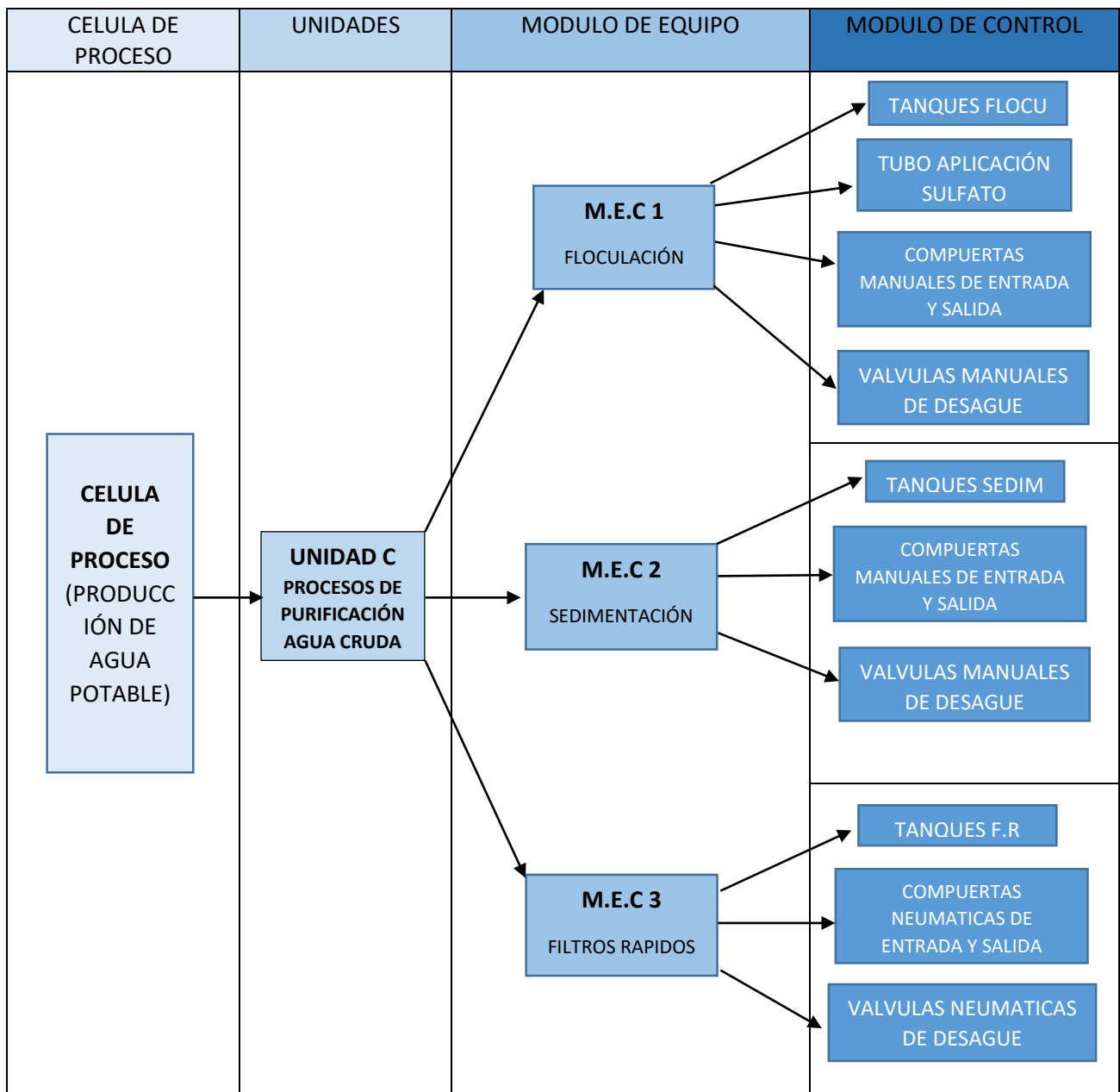
**MODELO FISICO**

(Módulo de equipo, Modulo de control)



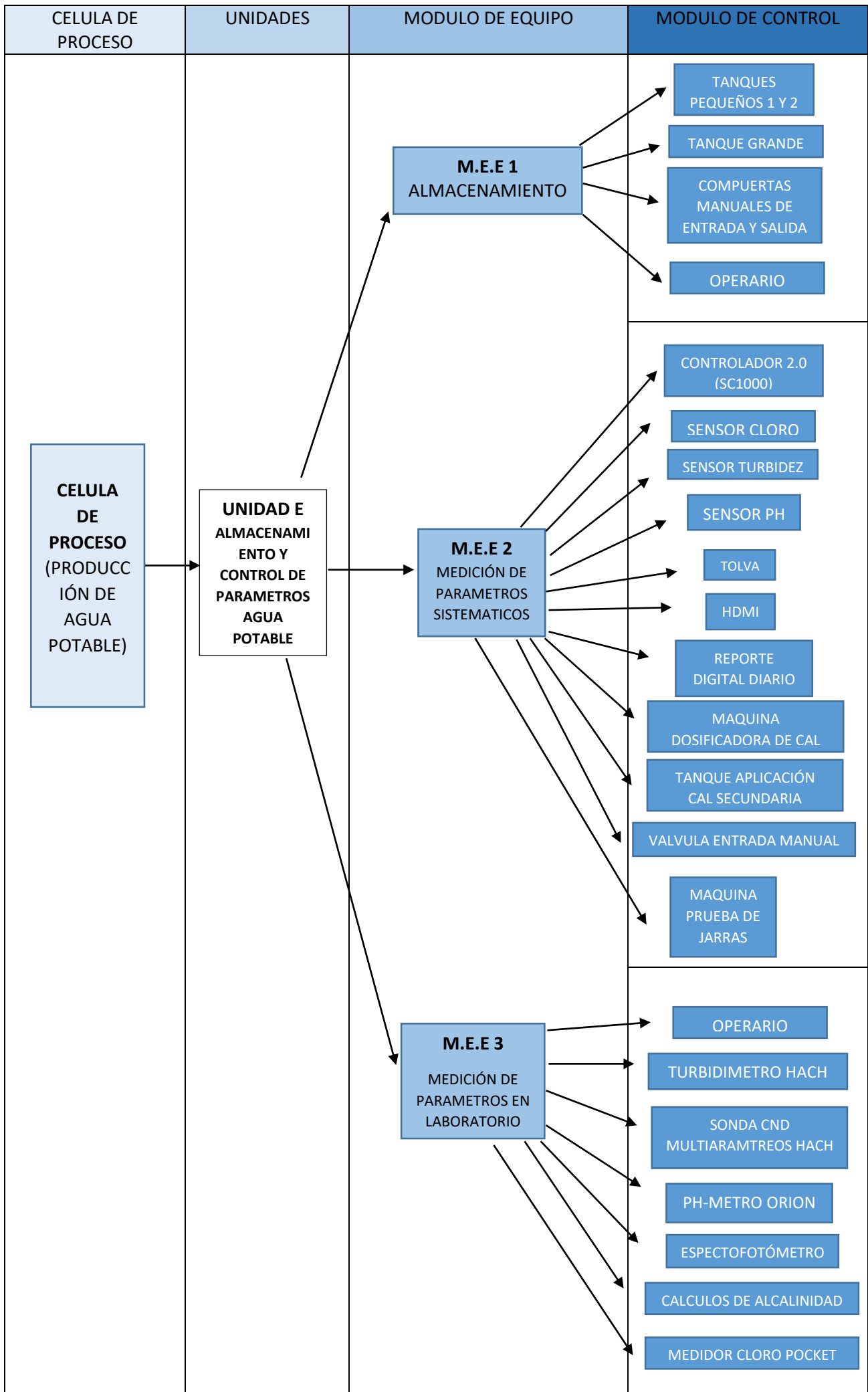
**MODELO FISICO**

(Módulo de equipo, Modulo de control)



**MODELO FISICO**

(Módulo de equipo, Modulo de control)





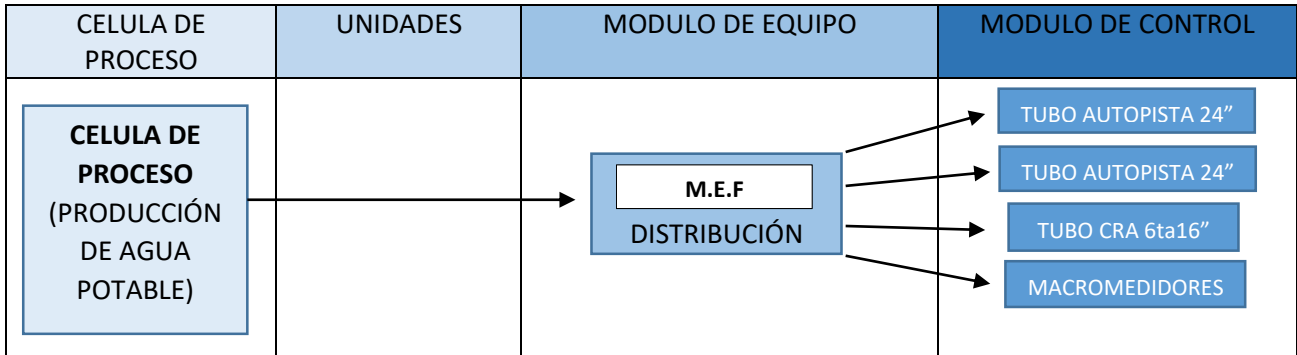
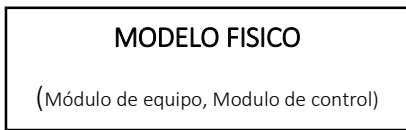


Tabla 23. Modelo Físico (Células de proceso, Unidades, Modulo de equipo, Modulo de control) - Fuente propia.

### A.3 MODELO DE CONTROL PROCEDIMENTAL

Este modelo lo que permite es jerarquizar las acciones que se deben ejecutar ordenadamente de un proceso. Este modelo está estructurado bajo la metodología Grafset de nivel básico, lo que permite identificar fácilmente y de manera didáctica las acciones que se deben ejecutar cronológicamente y las especificaciones que interfieren en estas acciones, permitiendo el cumplimiento de las mismas y la obtención de un proceso completo. Este Modelo se estructura por los niveles de Procedimiento de Unidad, Operación fases y sus características de fase.

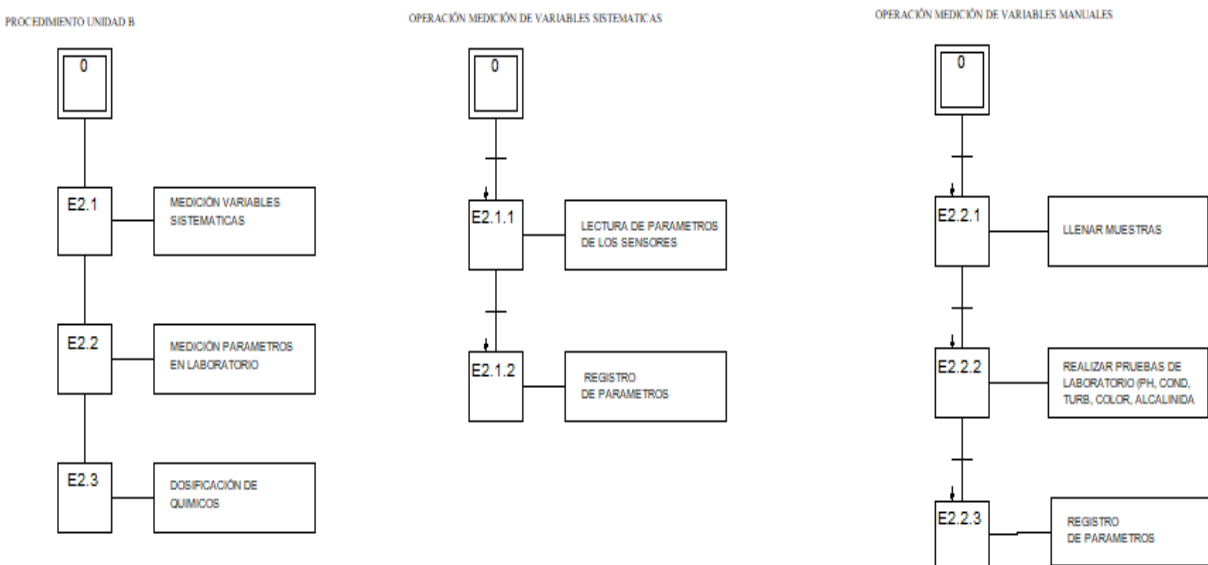


Ilustración 35. Modelo Control Procedimental Unidad B - Fuente Propia.

OPERACION  
DOSIFICACION DE  
QUIMICOS

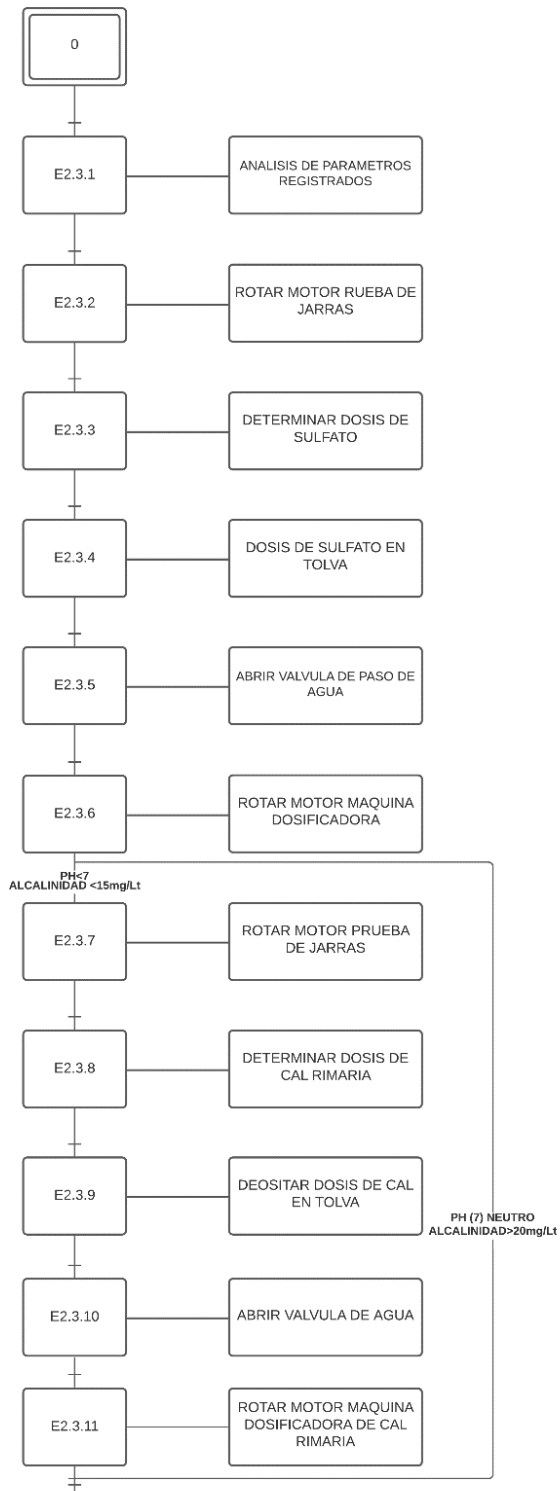


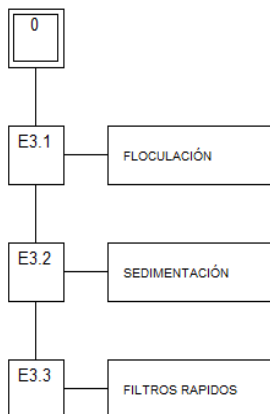
Ilustración 36. Modelo Control Procedimental Unidad B - Fuente Propia.

<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN MEDICIÓN DE VARIABLES SISTEMATICAS E2.1</b>	
<b>FASE</b>	<b>PARAMETROS</b>
Lectura de los sensores (E2.1.1)	CAUDAL 620 LT/SEG
	TURBIEDAD < 2000NTU
	PH: Neutro (7)
	CONDUVTIVIDAD
OXIGENO DISUELTO	
Registro de parámetros en reporte diario (E2.1.2)	OPEN/CLOSE; Reporte diario en Excel. Fecha reporte Hora reporte Parámetros por hora.
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN MEDICIÓN DE VARIABLES MANUALES E2.2</b>	
Recoger muestra de agua cruda (E2.2.1)	500ml agua cruda
Realizar pruebas de laboratorio (E2.2.2)	PH Neutro (7)
	CONDUCTIVIDAD
	TURBIDEZ< 2000 NTU
	COLOR: Sin definir
ALCALINIDAD > 15	
Documentación de parámetros en reporte diario digital (E2.2.3)	OPEN/CLOSE; Del reporte diario en Excel. Fecha reporte Hora reporte Parámetros por hora.
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN DOSIFICACION DE QUIMICOS E2.3</b>	
Análisis de parámetros registrados (E2.3.1)	
Rotar motor prueba de jarras para sulfato solido (E2.3.2)	37-225 RPM
Rotar motor prueba de jarras para Cal primaria (E2.3.7)	37-225 RPM
Determinar dosis Sulfato de sodio (E2.3.3)	Analizar resultados prueba de jarras Aplicar formula (D=Q*P)
Depositar dosis de sulfato de sodio (E2.3.4)	Operario
Abrir válvula de paso de agua (E2.3.5)	ON/OFF
Rotar motor máquina de sulfato (E2.3.6)	37-45 RPM
Determinar dosis Cal primaria (E2.3.8)	Analizar resultados prueba de jarras Aplicar formula (D=Q*P)
Depositar dosis de Cal primaria (E2.3.9)	Operario
Abrir válvula de paso de agua (E2.3.10)	ON/OFF
Rotar motor maquina dosificadora de Cal (E2.3.11)	37-45 RPM

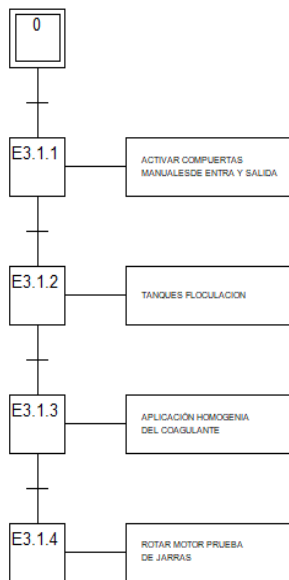
Tabla 24. Especificaciones C.P Unidad B - Fuente propia.

**MODELO CONTROL  
PROCEDIMENTAL**  
(UNIDAD C)

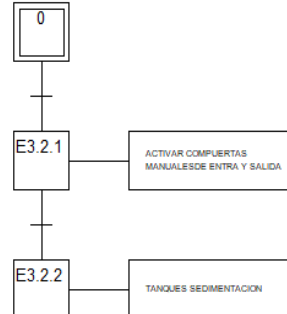
PROCEDIMIENTO UNIDAD C



OPERACIÓN FLOCULACIÓN



OPERACIÓN SEDIMENTACIÓN



OPERACIÓN FILTROS RAPIDOS

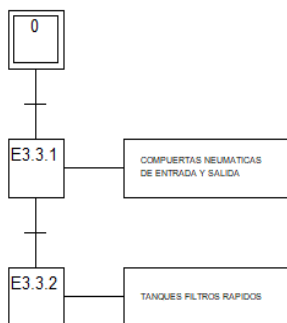
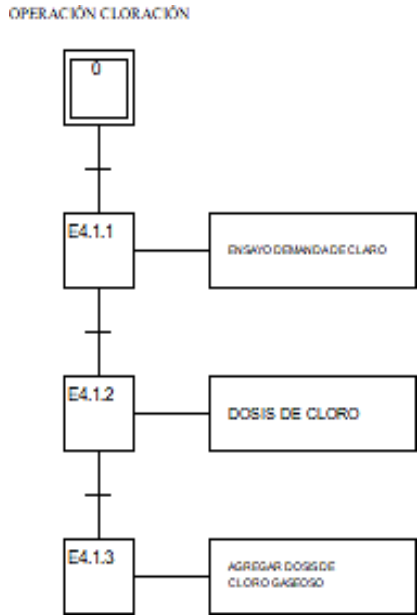


Ilustración 37. Modelo Control Procedimental Unidad C - Fuente Propia.

<b>ESPECIFICACIONES DE FASES FLOCULACION E3.1</b>	
<b>FASE</b>	<b>PARAMETROS</b>
Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.1.1)	Abiertas/Cerradas
Nivel tanques de floculación (E3.1.2)	Máximo nivel
Supervisión aplicación homogénea del coagulante (E3.1.3)	Operario
Rotar motor prueba de jarras (E3.1.4)	37-225 RPM
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES SEDIMENTACIÓN E3.2</b>	
Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.2.1)	Abiertas/Cerradas
Nivel Tanque Sedimentación (E3.2.2)	Máximo nivel
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES SEDIMENTACIÓN E3.3</b>	
Abrir/Cerrar compuertas neumáticas de entrada y salida (E3.3.1)	Abiertas/Cerradas
Nivel tanques filtros rápidos (E3.3.2)	Máximo nivel

Tabla 25. Especificaciones C.P Unidad C - Fuente propia.

**MODELO CONTROL  
PROCEDIMENTAL**  
(UNIDAD D)

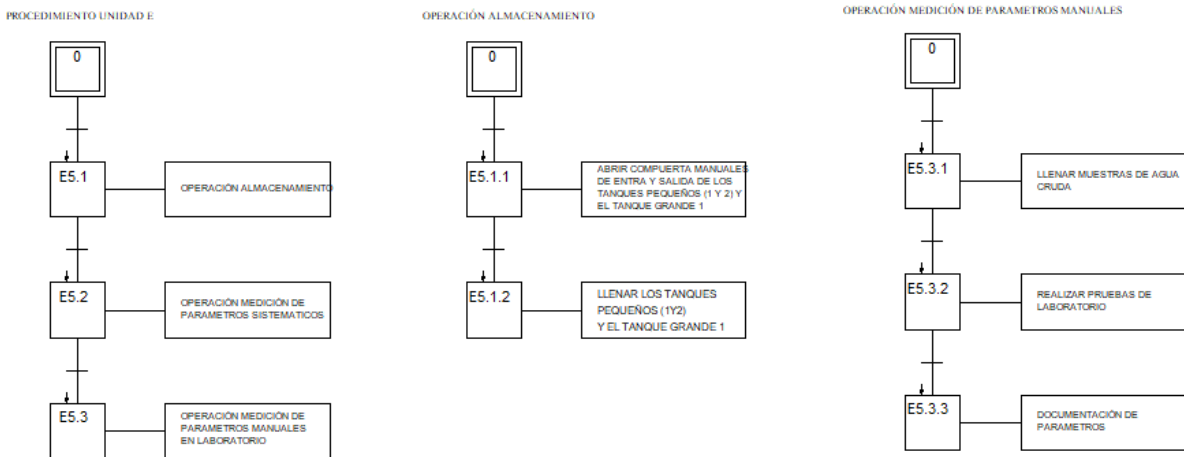


*Ilustración 38. Modelo Control Procedimental Unidad D - Fuente Propia.*

<b>ESPECIFICACIONES DE FASES FLOCULACION E4.1</b>	
<b>FASE</b>	<b>PARAMETROS</b>
Ensayo demanda de cloro (E4.1.1)	Operario
Determinar dosis de cloro (E4.1.2)	Analizar resultados demanda de cloro Aplicar formula (D=Q*d)
Dosificar cloro gaseoso en maquina Dosificadora de Cloro (E4.1.3)	Agua tratada con dosis de cloro entre 1.3 – 1.5 kg/h

*Tabla 26. Especificaciones C.P Unidad D - Fuente propia.*

**MODELO CONTROL  
PROCEDIMENTAL**  
(UNIDAD E)



*Ilustración 39. Modelo Control Procedimental Unidad E - Fuente Propia.*

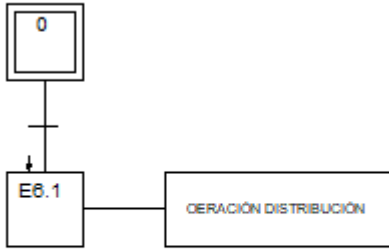


<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN MEDICIÓN DE VARIABLES SISTEMATICAS E5.1</b>	
<b>FASE</b>	<b>PARAMETROS</b>
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE E5.1</b>	
Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.1)	Abierto/Cerrado
Nivel de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.2)	Tanques pequeños: 150m <sup>3</sup> Tanque grande: 400m <sup>3</sup>
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN MEDICIÓN DE VARIABLES SISTEMATICAS E5.2</b>	
lectura de los sensores (E5.2.1)	CAUDAL 620 LT/SEG
	TURBIEDAD < 2000NTU
	PH: Neutro (7)
	CONDUVTIVIDAD
	OXIGENO DISUELTO
Análisis de los parámetros (E5.2.2)	PH < 6.5 (bajo)
Girar motor prueba de jarras (E5.2.3)	37-225 RPM
Determinar dosis de Cal secundaria (E5.2.4)	Analizar resultados prueba de jarras
	Aplicar formula (D=Q*P)
Abrir/Cerrar válvula control de paso de agua (E5.2.5)	Abierta/Cerrada
Llenar tanque de Cal secundaria (E5.2.6)	Nivel máximo
Dosis de Cal en maquina dosificadora (E5.2.7)	Operario
Rotar motor de maquina dosificadora de Cal secundaria (E5.2.8)	37-225 RPM
Documentación de parámetros en reporte diario (E5.2.9)	Fecha reporte Hora reporte Parámetros por hora.
<b>ESPECIFICACIONES DE FASES</b>	
<b>OPERACIÓN MEDICIÓN DE VARIABLES MANUALES E5.3</b>	
Recoger muestra de agua cruda (E5.2.1)	500ml agua cruda
Realizar pruebas de laboratorio (E5.2.3)	PH Neutro (7)
	CONDUCTIVIDAD
	TURBIDEZ< 2000 NTU
	COLOR: Sin definir
	ALCALINIDAD > 15
Documentación de parámetros en reporte diario digital (E5.2.4)	OPEN/CLOSE; Del reporte diario en Excel. Fecha reporte Hora reporte Parámetros por hora.

Tabla 27. Especificaciones C.P Unidad E - Fuente propia.

**MODELO CONTROL  
PROCEDIMENTAL**  
(UNIDAD F)

PROCEDIMIENTO UNIDAD E



SALIDA CRA 6 Y AUTOPISTA

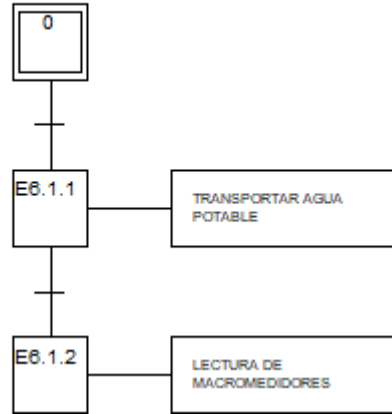


Ilustración 41. Modelo Control Procedimental Unidad F - Fuente Propia.

<b>ESPECIFICACIONES DE FASES OPERACIÓN DISTRIBUCIÓN E6.1</b>	
<b>FASE</b>	<b>PARAMETROS</b>
Distribuir agua potable (E6.1.1)	Tubo Autopista 24" Tubo CRA 6ta 24" Tubo CRA 6ta 16"
Lectura Macro medidores (E6.1.2)	Macro medidor Autopista 24": 270lt/7sg
	Macro medidor CRA 6ta 24": 270lt/7sg
	Macro medidor CRA 6ta 16": 200lt/sg

Tabla 28. Especificaciones C.P Unidad F - Fuente propia.



# **APÉNDICE B**

## **ENCUESTAS PARA REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN**

Las encuestas fueron la documentación, de una información aportada por personas que conocen y trabajan con el proceso constantemente, en este caso los operarios, para ello se seleccionó un operario el cual fuese una especie de representante de conocimientos entre sus compañeros, ya que se busca que aporten a la ejecución del proyecto por su alto nivel de experiencia y conocimiento del proceso.

### **B.1 NIVEL DE DIFICULTAD DEL PROCESO**

Con la finalidad de determinar el nivel de dificultad que presenta el desarrollo del proceso, donde se evalúa cada fase del proceso en 3 diferentes criterios (Riesgo Físico, Esfuerzo Físico y Conocimiento), calificando cualitativamente con valores de Bajo (B), Medio (A) y Alto (A), el nivel que requiere cada uno de estos criterios para cada una de las fases. (Ver Tabla).

Procedimiento de unidad	Fases	Nivel de dificultad								
		Riesgo			E. Físico			Conoc		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A
AIREACIÓN	Supervisión funcionamiento de cascada (E 1.1)	X			X			X		
APLICACIÓN DE QUIMICOS Y MEDICIÓN DE PARAMETROS	Lectura de los sensores (E2.1.1)	X			X				X	
	Registro de parámetros en reporte diario (E2.1.2)	X			X				X	
	Recoger muestra de agua cruda (E2.2.1)		X			X		X		
	Realizar pruebas de laboratorio (E2.2.2)	X			X					X
	Documentación de parámetros en reporte diario digital (E2.2.3)	X			X				X	
	Análisis de parámetros registrados (E2.3.1)	X			X				X	
	Rotar motor prueba de jarras para sulfato solido (E2.3.2)	X			X				X	
	Rotar motor prueba de jarras para Cal primaria (E2.3.7)	X			X				X	
	Determinar dosis Sulfato de sodio (E2.3.3)	X			X				X	
	Depositar dosis de sulfato de sodio (E2.3.4)	X				X		X		
	Abrir/Cerrar válvula de paso de agua (E2.3.5)	X			X			X		
	Rotar motor máquina de sulfato (E2.3.6)		X		X			X		
	Determinar dosis Cal primaria (E2.3.8)	X			X				X	
	Depositar dosis de Cal primaria (E2.3.9)	X				X		X		
	Abrir/Cerrar válvula de paso de agua (E2.3.10)	X			X			X		
	Rotar motor maquina dosificadora de Cal (E2.3.11)		X		X			X		
PROCESOS DE PURIFICACIÓN AGUA CRUDA	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.1.1)		X				X	X		
	Nivel tanques de floculación (E3.1.2)	X			X			X		
	Supervisión aplicación homogénea del coagulante (E3.1.3)	X			X			X		
	Rotar motor prueba de jarras (E3.1.4)		X		X			X		
	Abrir/Cerrar válvulas manuales de entrada y salida (E3.2.1)		X				X	X		
	Nivel tanque Sedimentación (E3.2.2)	X			X			X		
	Abrir/Cerrar compuertas neumáticas de entra y salida (E3.3.1)	X			X				X	
	Nivel tanques filtros rápidos (E3.3.2)	X			X			X		
DESINFECCIÓN	Ensayo demanda de cloro (E4.1.1)	X			X				X	
	Determinar dosis de cloro (E4.1.2)	X			X				X	
	Dosificar cloro gaseoso en maquina Dosificadora de Cloro (E4.1.3)	X			X			X		
	Abrir/Cerrar válvulas manuales de entrada y salida de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.1)		X				X	X		
	Nivel de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.2)	X			X			X		
	lectura de los sensores (E5.2.1)	X			X				X	
	Análisis de los parámetros (E5.2.2)	X			X				X	
	Girar motor prueba de jarras (E5.2.3)	X			X				X	
	Determinar dosis de Cal secundaria (E5.2.4)	X			X				X	

ALMACENAMIENTO	Abrir/Cerrar válvula control de paso de agua (E5.2.5)	X				X		X		
	Llenar tanque de Cal secundaria (E5.2.6)	X			X			X		
	Dosis de Cal en maquina dosificadora (E5.2.7)	X				X		X		
	Rotar motor de maquina dosificadora de Cal secundaria (E5.2.8)		X		X			X		
	Documentación de parámetros en reporte diario (E5.2.9)	X			X				X	
	Recoger muestra de agua potable (E5.2.1)		X			X		X		
	Realizar pruebas de laboratorio (E5.2.3)	X			X					X
	Documentación de parámetros en reporte diario digital (E5.2.4)	X			X				X	
DISTRIBUCIÓN	Distribuir agua potable (E6.1.1)	X			X			X		
	Lectura Macro medidores (E6.1.2)	X			X				X	

Tabla 29. Encuesta Nivel de dificultad del proceso –Fuente propia.

## B.2 ENCUESTAS REQUERIMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN

Estas encuestas se hacen como complemento a la investigación realizada al proceso productivo, donde permite con esto ampliar el panorama de investigación y estudiar a su vez la documentación, necesidades de automatización y mantenimiento de equipos.

### DOCUMENTACIÓN

En cuanto a la documentación, es necesario conocer la documentación que existe del proceso y documentación diligenciada que se obtiene al momento de realizar el proceso. Para ello el operario encargado aporó la siguiente información, gracias a su experiencia podrá aportar información valiosa para la investigación.

Pregunta	Respuesta		Observación
	SI	NO	
¿Realiza en algún formato físico o digital el seguimiento del control de los parámetros del agua cruda y el agua potable producida?	X		Existe un formato digital, en el cual se registra diariamente cada hora los parámetros con los cuales entra el agua cruda y sale el agua potable de la planta.
¿Existe un formato para consignar anomalías en el proceso?	X		
¿Existe documentación formal de la ejecución del proceso?	X		
¿Existe un formato para consignar los tiempos de ejecución del proceso?		X	No existe un formato, donde se consignen los tiempos de ejecución del proceso.
¿Documenta la producción de cada lote y lleva seguimiento?	X		
¿Existe algún formato en el cual se lleve el seguimiento y la planeación de mantenimiento de equipos?		X	

Tabla 30. Encuesta sobre Documentación - Fuente propia.

## NECESIDAD DE AUTOMATIZACIÓN DE FASES DEL PROCESO PRODUCTIVO

Con respecto al alto porcentaje de operación manual de las fases de la producción de agua potable, a su vez teniendo en cuenta sobre el estado actual de la planta, se hace una pregunta al operario representante, **¿Considera necesaria la automatización de la fase correspondiente?**, con la finalidad de determinar en donde existe la necesidad de automatización en el proceso.

Procedimiento de unidad	Fases	Respuesta	
		Si	No
AIREACIÓN	Supervisión funcionamiento de cascada (E 1.1)		X
APLICACIÓN DE QUIMICOS Y MEDICIÓN DE PARAMETROS	Lectura de los sensores (E2.1.1)		X
	Registro de parámetros en reporte diario (E2.1.2)		X
	Recoger muestra de agua cruda (E2.2.1)		X
	Realizar pruebas de laboratorio (E2.2.2)		X
	Documentación de parámetros en reporte diario digital (E2.2.3)		X
	Análisis de parámetros registrados (E2.3.1)		X
	Rotar motor prueba de jarras para sulfato solido (E2.3.2)	X	
	Rotar motor prueba de jarras para Cal primaria (E2.3.7)	X	
	Determinar dosis Sulfato de sodio (E2.3.3)		X
	Depositar dosis de sulfato de sodio (E2.3.4)		X
	Abrir/Cerrar válvula de paso de agua (E2.3.5)		X
	Rotar motor máquina de sulfato (E2.3.6)		X
	Determinar dosis Cal primaria (E2.3.8)		X
	Depositar dosis de Cal primaria (E2.3.9)		X
	Abrir/Cerrar válvula de paso de agua (E2.3.10)		X
Rotar motor maquina dosificadora de Cal (E2.3.11)	X		
PROCESOS DE PURIFICACIÓN AGUA CRUDA	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.1.1)	X	
	Nivel tanques de floculación (E3.1.2)		X
	Supervisión aplicación homogénea del coagulante (E3.1.3)		X
	Rotar motor prueba de jarras (E3.1.4)		X
	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida (E3.2.1)	X	
	Nivel tanque Sedimentación (E3.2.2)		X
	Abrir/Cerrar compuertas neumáticas de entra y salida (E3.3.1)	X	
	Nivel tanques filtros rápidos (E3.3.2)		X
DESINFECCIÓN	Ensayo demanda de cloro (E4.1.1)		X
	Determinar dosis de cloro (E4.1.2)		X

	Dosificar cloro gaseoso en maquina Dosificadora de Cloro (E4.1.3)		X
ALMACENAMIENTO	Abrir/Cerrar compuertas manuales de entrada y salida de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.1)		X
	Nivel de los tanques pequeños (T1,T2) y el tanque grande T3 (E5.1.2)		X
	lectura de los sensores (E5.2.1)		X
	Análisis de los parámetros (E5.2.2)		X
	Girar motor prueba de jarras (E5.2.3)		X
	Determinar dosis de Cal secundaria (E5.2.4)		X
	Abrir/Cerrar válvula control de paso de agua (E5.2.5)		X
	Llenar tanque de Cal secundaria (E5.2.6)		X
	Dosis de Cal en maquina dosificadora (E5.2.7)		X
	Rotar motor de maquina dosificadora de Cal secundaria (E5.2.8)		X
	Documentación de parámetros en reporte diario (E5.2.9)		X
	Recoger muestra de agua potable (E5.2.1)		X
	Realizar pruebas de laboratorio (E5.2.3)		X
	Documentación de parámetros en reporte diario digital (E5.2.4)		X
DISTRIBUCIÓN	Distribuir agua potable (E6.1.1)		X
	Lectura Macro medidores (E6.1.2)		X

Tabla 31. Necesidad de automatización de las fases - Fuente propia.

**Nota del encuestado:** Podría sugerir, la automatización o semi-automización de las compuertas manuales en los tanques de Floculación y Sedimentación, debemos hacer mucho esfuerzo y nos quema mucho tiempo.

## NECESIDAD DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS.

También se tuvo en cuenta sobre la documentación técnica que se tiene de los equipos y del proceso. Respondiendo Si o No, las siguientes preguntas.

Pregunta	Respuesta		Observación
	SI	NO	
¿Posee los manuales de información técnica de los equipos?	X		Si los manuales entregados por el proveedor.
¿Recurre a los manuales en caso de falla del equipo?	X		
¿Califican los equipos según su tendencia de fallar?		X	
¿Se tiene un plan de mantenimiento para la línea de producción?		X	
¿Documenta cada mantenimiento y lleva seguimiento?		X	

¿Se cuenta con la herramienta necesaria para realizar el mantenimiento?	X		
---	---	--	--

*Tabla 32. Encuesta sobre Mantenimiento - Fuente propia.*

# ANEXOS

## ANEXO A: FORMATO DE REGISTRO Y MANTENIMIENTO.

Al evidenciar una falta de mantenimiento de la instrumentación usada en el desarrollo del proceso se plantea un formato de consignas el cual permita tener un mantenimiento preventivo programado, en la búsqueda de detectar fallos tempranamente y reducir su probabilidad de fallo. Este formato permite realizar un mantenimiento preventivo cada 15 días, evaluando el estado en el que se encuentra el equipo, y si es necesario solicitar un mantenimiento correctivo de las fallas que sean diagnosticadas.

FORMATO PLANEACIÓN MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA INSTRUMENTACIÓN PLANTA EL TABLAZO			Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P	
PLAN MENSUAL DE MANTENIMIENTO				
Nombre Encargado:				
Fecha de mantenimiento preventivo:			Código mantenimiento 100000000	
Etapa Ubicación del equipo	Nombre y modelo del equipo	Estado del funcionamiento actual del equipo	Solicitud mantenimiento correctivo, ¿SI O NO?	
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
			SI	NO
Observaciones:				
FIRMA-----				

Tabla 33. Formato mantenimiento preventivo - Fuente propia.