

REGULACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y SUMINISTRO DE AGUA
POTABLE DE LA PLANTA DE POTABILIZACION DEL MUNICIPIO DE BETULIA-
ACUABE

MARÍA MERCEDES ÁLVAREZ SANTOS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2014

REGULACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y SUMINISTRO DE AGUA
POTABLE DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE BETULIA-
ACUABE

MARÍA MERCEDES ÁLVAREZ SANTOS

Trabajo de grado para optar por el título de

INGENIERA AMBIENTAL

DIRECTOR

ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERÓN

Ingeniero Sanitario

Msc. Ingeniería área con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

“Haz lo necesario para lograr tu más ardiente deseo, y acabarás lográndolo...”

Ludwig van Beethoven

A mis papitos Ramiro y Sonia

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me ha brindado una vida llena de aprendizaje, experiencia y felicidad, por ser mi guía en mis momentos de debilidad y por la fuerza que me brinda para seguir luchado para alcanzar las metas trazadas en mi proyecto de vida.

A mis padres Ramiro y Sonia por su amor, comprensión, apoyo incondicional, por los valores que me han inculcado, y por su esfuerzo por darme la oportunidad de tener una buena educación, pero sobre todo por ser para mí un ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Marilyn, Javier y Sonia por ser parte importante en mi vida, por llenarla de amor, sonrisas y esperanza cuando más lo he necesitado.

Al profe Álvaro Andrés Cajigas por brindarme la oportunidad de crecer a nivel profesional, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad. Gracias por creer en mis capacidades.

A la administración municipal de Betulia en cabeza del señor alcalde Ángel Miro Melo Orostegui y a Don Graliciano Plata por la oportunidad y confianza brindada en la realización de mi proyecto de grado, por todo el apoyo y facilidades otorgadas por la administración.

A Don Martin Plata y toda su Familia por su compañía, apoyo y palabras de aliento durante la realización de este proyecto, mil gracias este proyecto también es de ustedes.

A los profesores de la universidad pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, quienes fueron partícipes de mi formación, gracias por compartir sus conocimientos.

A mis queridos compañeros y amigos Ambientales: Mafe Quintero, Cris, Omar, Alba, Andre, Diana, Ingrid, Zuli y Mafe Angarita. Porque no solo compartimos una formación académica, también una amistad llena de alegrías y tristezas. Ustedes serán mi mejor recuerdo UPB.

A Jefferson por el apoyo, la amistad, el amor y la paciencia que me brindo durante toda mi carrera. Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
3. REVICION BIBLIOGRAFICA	4
3.1 Coagulación	4
3.1.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN	5
3.1.2 MECANISMO DE COAGULACIÓN	9
3.1.3 COAGULANTES UTILIZADOS.....	11
3.1.4 DIAGRAMAS DE COAGULACIÓN.....	13
3.1.5 MEZCLA RÁPIDA.....	13
3.2 FLOCULACIÓN.....	14
3.2.1 CINÉTICA DE LA FLOCULACIÓN	15
3.2.3 Comportamiento hidráulico	18
3.3 DESINFECCIÓN	24
3.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN	24
3.3.2 CLORACIÓN	26
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 FASE 1. DEMANDA DE AGUA DE LA POBLACIÓN, TIEMPOS DE OPERACIÓN Y FUENTES HÍDRICAS A UTILIZAR, PARA ESTABLECER CAPACIDAD INSTALADA EN PLANTA.	28
4.1.1 DEMANDA DE AGUA.....	28
4.1.2 TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA	28
4.2 FASE 2. DOSIS OPTIMAS DE COAGULANTES, DESINFECCION Y CORRECCION DE PH	29
4.2.1 DOSIS OPTIMAS DE COAGULANTE.....	29
4.2.2 DOSIS DESINFECTANTE.....	30
4.2.3 DOSIS CORRECCIÓN DE PH.	31
4.3 FASE 3. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE MEZCLA LENTA Y RÁPIDA, IDENTIFICACIÓN DE GRADIENTES.....	31
4.3.1 VERIFICACIÓN GRADIENTE MEZCLA RÁPIDA (VERTEDERO)....	31

4.3.2	DETERMINACIÓN GRADIENTES DE MEZCLA LENTA EXPERIMENTAL, APLICACIÓN ECUACIÓN DE LETTERMAN.....	33
4.3.3	ANÁLISIS COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ZONA MEZCLA RÁPIDA:	34
4.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PARA FACILITAR LABOR DEL OPERARIO.....	34
5	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	35
5.1	POBLACION ABASTECIDA Y DEMANDA	35
5.2	CALCULO DE LA DEMANDA TEORICO.....	35
5.3	DETERMINACION DE LA DEMANDA REAL DE AGUA EN LA POBLACIÓN.....	37
5.4	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA.....	44
5.4.1	CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN	44
5.4.2	DESARENADORES	45
5.4.3	COAGULACION	45
5.4.4	FLOCULACIÓN HIDRÁULICA.....	46
5.4.5	SISTEMA DE SEDIMENTACION CONVENCIONAL.....	47
5.4.6	SISTEMA DE FILTRACION RAPIDA	48
5.4.7	SISTEMA DE DESINFECCION (CLORACION)	49
5.4.8	TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DITRIBUCION.....	49
5.4.9	LABORATORIO.....	50
5.4.10	EQUIPO DE DOSIFCIACION Y PRODUCTOS QUIMICOS.....	50
5.4.11	TRABAJADORES.....	52
5.5	CALCULO INDICE DE RIESGO POR PERSONA PRESTADORA DE SERVICIO.....	52
5.6	DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE.....	54
5.7	54	
5.8	DOSIS OPTIMAS ALCALI Y COAGULANTE.....	60
5.9	DOSIFICACION DESINFECTANTE (CLORACIÓN).....	63
5.10	MEZCLA RÁPIDA	66
5.11	ECUACIÓN DE LETTEMAN	69
5.12	GRADIENTES REALES FLOCULADOR	74

5.13 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA FLOCULACIÓN.....	77
5.14 ÍNDICE DE MORRILL	79
6 CONCLUSIONES	81
7 RECOMENDACIONES.....	83
8 BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXOS	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de la curva de tendencia del trazador	22
Tabla 2. Ecuaciones para verificación de gradiente de mezcla en vertederos	31
Tabla 3. Parámetros para determinar Dotación bruta y Demanda de agua.	36
Tabla 4. Dotación bruta y Demanda de agua.	36
Tabla 5. Resumen QMH y Qmd para los días de la semana.	38
Tabla 6. Resumen Qmd para los días de la semana con tiempos de operación de la planta de 24 y 13 horas.	41
Tabla 7. Resumen Caudal de operación.	43
Tabla 8. Parámetros iniciales de las fuentes de agua en el afluente de la PTAP-ACUABE.....	43
Tabla 9. Datos calibración de caudal bomba EMEC 0340	51
Tabla 10. Datos y cálculo IRABApp	53
Tabla 11. Parámetros iniciales, muestras de agua para test de jarras diagramas de coagulación y color.....	54
Tabla 12. Parámetros iniciales, muestras de agua para test de jarras diagramas de coagulación y color.....	60
Tabla 13. Resumen parámetros como pH, turbiedad, color y dosis de los coagulantes PAC 15 y sales de aluminio tipo Ay B	60
Tabla 14. Parámetro determinación costo de coagulante	61
Tabla 15. Costo coagulante.....	62
Tabla 16. Parámetros evaluación de selección de coagulante.....	62
Tabla 17. Datos para determinación de tiempo de contacto de desinfección en la PTAP—ACUABE.....	63
Tabla 18. Verificación del funcionamiento del vertedero-coagulación.....	67
Tabla 19. Datos gradientes y tiempos de retención para el PAC 15	70
Tabla 20. Datos gradientes y tiempos de retención para Sulfato de Aluminio tipo A	71
Tabla 21. Datos gradientes y tiempos de retención para Sulfato de Aluminio tipo B	73
Tabla 22. Condiciones hidráulicas iniciales del Floculador	74
Tabla 23. Gradientes en condiciones iniciales de la zona de floculación PTAP-ACUABE.....	74
Tabla 24. Parámetros y cálculo de gradiente de la zona de floculación de la PTAP-ACUABE.....	76
Tabla 25. Resultado análisis línea de tendencia floculadores PTAP-AUABE	78
Tabla 26. Resultados índice de Morrill Floculador PTAP-ACUABE	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua.	4
Figura 2. Comportamiento del trazador cuando la aplicación es instantánea.	21
Figura 3. Concentración del trazador en el efluente de un reactor.....	22
Figura 4 Índice de Morril.....	23
Figura 5. Curva del punto de quiebre	26
Figura 6. Vertedero como mezclador	66

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Curvas de variación horaria semana de muestreo_____	37
Gráfica 2. Curva de volumen acumulado obtenida de la curva de variaciones horarias del consumo de la semana_____	39
Gráfica 3. Curva de consumo acumulado para hallar caudal de operación. ____	41
Grafica 4. Calibración de caudales bomba EMEC 0340 _____	51
Gráfica 5. Diagrama de turbiedad con coagulante PAC 15 _____	55
Grafica 6. Diagrama de color con coagulante PAC 15_____	55
Grafica 7. Diagrama de turbiedad coagulante sulfato de aluminio tipo A _____	57
Grafica 8. Diagrama de color coagulante sulfato de aluminio tipo A _____	57
Grafica 9. Diagrama de turbiedad coagulante sulfato de aluminio tipo B _____	58
Gráfica 10. Diagrama de color coagulante sulfato de aluminio tipo B _____	59
Gráfica 11. Cloro residual total en función de la dosis aplicada, para un tiempo de contacto de 17 min. _____	64
Gráfica 12. Cloro residual total en función de la dosis aplicada, para un tiempo de contacto de 30 min. _____	65
Gráfica 13. Relación óptima entre Tiempo y Gradiente para el coagulante PAC 15. _____	69
Grafica 14. Valores óptimos de G y T para el PAC 15 _____	70
Grafica 15. Relación optima entre Tiempo y Gradiente para el Sulfato de Aluminio tipo A _____	71
Grafica 16. Valores óptimos de G y T para Sulfato de Aluminio tipo A _____	72
Gráfica 17. Relación óptima entre Tiempo y Gradiente para el Sulfato de Aluminio tipo B _____	73
Grafica 18. Valores óptimos de G y T para el Sulfato de Aluminio tipo B_____	73
Gráfica 19. Gráfica de trazadores del floculador hidráulico de la PTAP-ACUABE	78
Gráfica 20. Índice de Morrill floculador PTAP-ACUABE _____	79

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Zona de Coagulación PTAP-ACUABE	46
Ilustración 2. Zona de Floculación PTAP-ACUABE.....	47
Ilustración 3. Zona de Sedimentación PTAP-ACUABE	48
Ilustración 4. Zona de Filtración PTAP-ACUABE	49
Ilustración 5. Compuerta implementa a la salida del floculador.....	76

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	88
ANEXO B.	92
ANEXO C.	98
ANEXO D.	102
ANEXO E.	107
ANEXO F.	109

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Regulación del sistema de tratamiento y suministro de agua potable de la planta de potabilización del municipio de Betulia - ACUABE

AUTOR(ES): María Mercedes Álvarez Santos

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Álvaro Andrés Cajigas Cerón.

RESUMEN

El siguiente documento presenta la regulación del sistema de tratamiento y suministro de agua potable del municipio de Betulia (Santander), con el fin de mejorar la calidad de agua potable con la que se abastece a la población. El estudio consistió en determinar la capacidad instalada de la planta, así como las dosis óptimas de desinfectante y coagulantes, seguido del análisis del comportamiento hidráulico e identificación de gradientes en las zonas de mezcla rápida y lenta, para finalmente diseñar un manual que facilite la operación de la planta. Los resultados obtenidos sugieren que dado el caudal de consumo medio y el caudal de abastecimiento de las fuentes hídricas, la planta puede satisfacer la demanda diaria de agua con 13 horas de operación. Por otro lado las dosis óptimas halladas para tres coagulantes (Policloruro de aluminio 15, alumbre tipo A y B), al ser probadas en planta presentaron resultados eficientes de calidad de agua, siendo el coagulante más viable, económicamente, el sulfato de aluminio tipo A. Para el proceso de desinfección la dosis óptima sugerida es de 6 ppm con un tiempo de contacto de 30 minutos, haciéndose necesarias adaptaciones en la unidad de desinfección. Adicionalmente el análisis de comportamiento hidráulico del floculador, presentó un comportamiento con predominio de flujo a pistón, con bajas probabilidades de cortos circuitos. Por otra parte, la verificación de gradientes en zona rápida y lenta, mostro que se generan gradientes aceptables, sin embargo, para en proceso de floculación se hizo necesaria una modificación en la unidad que permitiera aumentar el tiempo de retención, para propiciar una adecuada formación de floc.

PALABRAS CLAVES:

Demanda de agua, tiempo de retención, coagulación, floculación, desinfección, gradientes.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Regulation of the drinking water treatment and supply system for the treatment plant of the municipality of Betulia - ACUABE.

AUTHOR(S): María Mercedes Álvarez Santos

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Álvaro Andrés Cajigas Cerón.

ABSTRACT

This document presents the regulation of the drinking water treatment and supply system of the municipality of Betulia (Santander), aiming to improve the quality of drinking water supplied to the population. The study consisted of determination of the plant's installed capacity, as well as its optimal disinfectant and coagulant dosage, hydraulic behavior analysis, and identification of gradients in the quick and slow mix areas, to finally produce a manual that facilitates the plant's operation. The results obtained suggest that 13 operation hours suffice to meet daily water demand, given volume of the hydric supply sources and average consumption. On the other hand, and upon testing in the plant showing efficient water quality results, optimal dosages were determined for three coagulants (aluminum polychloride, A and B type alum), with type-A aluminum identified as the most economically viable coagulant. For disinfection process, optimal doses suggested is 6 ppm, with 30-minute contact time; also, the need was determined for the disinfection unit to undergo adequacy adaptations. Additionally, flocculator hydraulic behavior analysis showed behavior with piston flow predominance, with low probability level of short circuit. On the other hand, gradient verification in quick and slow areas showed generation of acceptable gradients, although flocculation process called for modification of flocculation unit, so as to enhance retention time, in order to allow adequate floc formation.

KEYWORDS:

water demand, retention time, coagulation, flocculation, disinfection, gradients.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de vida de los seres humanos depende del acceso a los bienes necesarios para su supervivencia, el agua es uno de estos bienes. La importancia del agua y su incidencia sobre la salud y el desarrollo de la población están plenamente reconocidos en la constitución política colombiana así como en los instrumentos internacionales ratificados por el país, pero aunque sea un derecho de todos los colombianos, la baja cobertura y calidad de agua, es evidente y en algunas regiones del país está estrechamente ligada a la morbilidad y mortalidad infantil.[1]

El municipio de Betulia, Santander se encuentra ubicado aproximadamente a 94 km de la ciudad de Bucaramanga. Este cuenta con una planta convencional para el tratamiento del agua, abasteciendo al 96% de la población urbana. A pesar de la cobertura y la infraestructura física con la cual cuenta, la calidad de agua suministrada a la población se cataloga, de acuerdo al IRCA, en nivel de riesgo medio[2], debiéndose principalmente a condiciones fisicoquímicas, bacteriológicas e hidráulicas que aportan variaciones causando la baja eficiencia en los procedimientos de tratamiento implementado, repercutiendo así en la calidad del agua y salud de los consumidores.[3]

Este trabajo contempla la caracterización del agua observando el comportamiento de la turbiedad, pH, color y temperatura en las fuentes que abastecen la planta, además de procedimientos viables que conlleven a la identificación de parámetros óptimos de operación del sistema como la demanda de agua de la población, dosis óptimas de coagulantes y desinfectante, gradientes y tiempos de retención hidráulicos, permitiendo así, la regulación del sistema de tratamiento de agua y con ello, el acceso de la población al servicio de agua potable de calidad. Siendo este último, el punto de partida para avanzar hacia una sociedad con mejores condiciones de salud, bienestar y oportunidades para el desarrollo humano, económico y social.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Regular el sistema de operación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Betulia ACUABE, con el propósito de mejorar la calidad del agua suministrada a los habitantes del municipio.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la demanda de agua en la población estableciendo tiempos de operación de la planta y tipo de fuentes hídricas a utilizar.
- Establecer dosis óptima de los químicos empleados en los procesos de coagulación y desinfección.
- Realizar ajustes locativos en la planta en la zona de mezcla rápida y mezcla lenta, mediante la determinación de gradientes, re-diseño de vertedero y chequeo de tiempos de retención hidráulico.
- Formular un manual de operación de la planta que garanticen condiciones adecuadas de operación.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

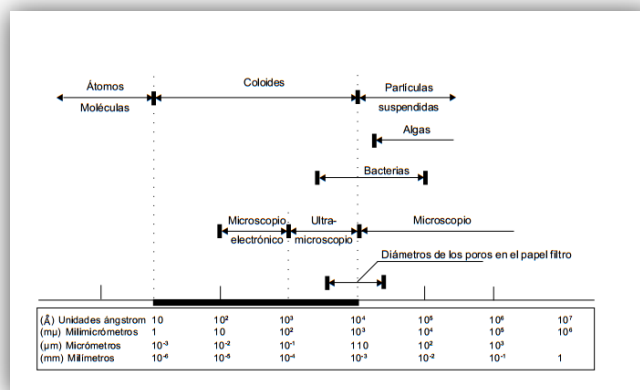
3.1 COAGULACIÓN

La coagulación tiene como objeto desestabilizar las partículas en suspensión, es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos [4]

Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible.[5]

La coagulación está fundamentalmente en función de las características del agua y por la carga de las partículas coloidales, las partículas coloidales en el agua presentan un diámetro entre 1 y 1.000 mili micrómetros, los coloides presenta un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión, su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad. [6]

Figura 1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua.



FUENTE: Ada Barrenechea Martel, 2004

3.1.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

Para optimizar el proceso de coagulación es necesario tener en cuenta los siguientes factores

3.1.1.1 pH

El pH es una de las variables más importantes a tener en cuenta en el proceso de la coagulación, ya que para cada agua existe un rango de pH óptimo en el cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El pH afecta la solubilidad de los precipitados que son formados por el aluminio, que es utilizado como coagulante, la zona óptima de pH para el coagulante se encuentra en los valores que logran la mínima solubilidad de los productos de hidrólisis, en caso contrario en el que la coagulación no se lleve a cabo en zonas óptimas de pH, la cantidad de producto químico requerido será mayor, afectando la calidad del agua tratada. Además afecta el tiempo requerido para la formación de los floculos y la carga sobre las partículas de coloides. [7]

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades. [3]

3.1.1.2 Temperatura

La variación de un grado centígrado en la temperatura del agua conduce a la variación de la densidad que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se ve afectada. [4]

Hay dos regiones de variaciones de temperatura en el agua muy marcadas, una entre 0 y 10°C y la segunda entre 10 y 40°C.

A temperaturas de 0 a 10 °C los mecanismos dominantes son la viscosidad del agua y del pH, a medida que la temperatura del agua se acerca a 0°C, la remoción de turbiedad se dificulta, al aproximarse el agua a la temperatura de congelación se produce un efecto de ordenamiento de su estructura, previo a su solidificación, este fenómeno puede impedir el acercamiento de las partículas para su desestabilización, al anularse el movimiento browniano, además la viscosidad aumenta a disminuir la temperatura y el pH óptimo varía con la temperatura ya que los valores decrecen al disminuir esta. [6]

Cuando la temperatura varía entre de 10 a 40 °C la eficiencia es mejor al aumentar la temperatura, ya que se incrementa la tasa de colisiones entre las partículas, dentro de este rango, son importantes parámetros como la turbiedad y la alcalinidad. [6]

3.1.1.3 ALCALINIDAD

La alcalinidad tiene una relación con el pH y es por lo tanto de gran importancia en el proceso de coagulación [3]

Cuando la concentración de coloides es alta y la alcalinidad en el agua es baja, son aguas con facilidad de tratamiento, ya que solo se determina un parámetro óptimo que es la dosis de coagulante, la desestabilización de las partículas se hace por adsorción de especies hidrolíticas de carga positiva y se produce con niveles de pH ácidos entre 4 y 6 unidades, dependiendo también del coagulante. [5]

A altas concentraciones de coloides y de alcalinidad, la desestabilización se realiza también por adsorción y neutralización de cargas a niveles de pH ácidos o neutros. La neutralización de la carga es más fácil, debido a que el pH permanece generalmente en la región neutral, donde los polímeros de hidróxidos metálicos no tienen carga muy alta. [8]

A bajas concentraciones de coloides y alta alcalinidad la coagulación suele hacerse con dosis de coagulantes relativamente altas para capturar las partículas coloidales, en estos casos se sugiere aumentar la concentración de coloides

adicionando arcilla. La desestabilización se realiza mediante la adsorción y neutralización de la carga.[5]

Cuando se presenta concentraciones de coloides y alcalinidad baja son sistemas de coagulación difíciles, la coagulación por medio de barrido se dificulta ya que el pH disminuye al agregar coagulante y no permite la formación de hidróxidos. La coagulación por medio de adsorción también es difícil ya que la concentración de coloides es demasiado baja para permitir el contacto entre partículas, para una coagulación efectiva se sugiere adicionar alcalinidad o arcilla al agua.[9]

3.1.1.4 TURBIEDAD

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de potabilización, pero es uno de los parámetros que influyen en los costos de producción, ya que requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación etc. [7]

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas. [3]

Para cada turbiedad existe una dosis óptima, con la que se obtiene la turbiedad residual más baja.[10]

Cuando la turbiedad aumenta en general la dosis de coagulante suele ser pequeña debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la dosis de coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta, es necesaria una gran cantidad de coagulante para la formación de floculos de barrido y así estos puedan arrastrar las partículas.[5]

La interacción de partículas coloidales y de ácidos húmicos al disolverse con el aluminio, reduce de manera significativa el efecto del coagulante, limitando la polimerización del aluminio por tal motivo aumenta la turbiedad residual con respecto a la turbiedad inicial. [11]

3.1.1.5 COLOR

En general el color de un agua es debido a la descomposición de la materias orgánica que contienen los humos de los suelos; esto depende de una gran variedad de compuestos orgánicos como las sustancias húmicas que son de masa molecular variada de 800 a 50000 gr/mol. [4]

Según estudios, a medida que el pH disminuye, el color también disminuye su intensidad, y también hay una relación directa entre la remoción de color, el pH y la dosis optima, es decir a bajos niveles de pH y dosis bajas se obtienen bajos niveles de color.[3] Los niveles de pH para una remoción óptima de color están entre 4 a 7 unidades en el proceso de coagulación. [12]

3.1.1.6 CONCENTRACIÓN DE COAGULANTE

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, por lo general la dosis del químico, depende del tipo de mecanismo de desestabilización, mecanismo de barrido o de adsorción-neutralización.[9]

Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada. Por otra parte, alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, aumentando de esta manera la turbiedad del agua en comparación con la inicial.[4]

En el proceso de coagulación es de gran importancia la selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; la cual se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

3.1.2 MECANISMO DE COAGULACIÓN

Se considera la coagulación como el resultado de la acción de cuatro mecanismos:

- Compresión de capa difusa
- Adsorción y neutralización
- Barrido
- Adsorción y formación del puente.[11]

3.1.2.1 COMPRESIÓN DE CAPA DIFUSA

Este mecanismo puede explicar el fenómeno de desestabilización de un coloide por un coagulante, en el fenómeno de desestabilización la curva de atracción de Van der Waals es fija mientras que la de repulsión eléctrica disminuye si se incrementan en la solución los iones de carga opuesta.[3]

Al aumentar la concentración del electrolito, se incorporan contra iones en la capa difusa, con lo cual esta se represa y se disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía.

Si se reduce el potencial repulsivo decrece también la curva resultante de interacción, por tanto las partículas pueden acercarse lo suficiente para ser desestabilizadas por la energía atractiva de Van der Waals.[11]

La adición de una sal neutra (electrolito indiferente) no cambia el potencial del coloide pero altera la forma de la curva de las fuerzas coulombicas, disminuyendo la distancia hasta la cual son efectivas. [3]

Se ha demostrado que la desestabilización de un coloide por un electrolito indiferente (que no reacciona con el agua) ocurre debido a interacciones electrostáticas, es decir iones de la misma carga son repelidos y los de carga contraria son atraídos por los coloides.

Este mecanismo presenta limitaciones para explicar el fenómeno de coagulación, dado que no es válido para la acción de Aluminio, porque este no es un electrolito indiferente, sino que reacciona con el agua como con la alcalinidad. [11]

3.1.2.2 ADSORCIÓN Y NEUTRALIZACIÓN

El efecto de adsorción neutralización de la carga se encuentra estrechamente ligada a la compresión de la doble capa. La desestabilización de una dispersión coloidal consiste en las interacciones entre coagulante-coloide, coagulante-solvente y coloide- solvente. [13]

Cuando predomina este mecanismo, el coagulante debe ser dispersado de manera inmediata en el agua, cuando se utilizan sales de aluminio o hierro como coagulantes, puesto que no se logra la desestabilización completa, porque no se cumple la hidrólisis del coagulante[3]

3.1.2.3 BARRIDO

La coagulación por barrido se produce cuando se agrega una concentración de coagulante tan alta, que se excede el límite de solubilidad de este compuesto en el agua, produciendo la precipitación de los hidróxidos que se forman por reacción de la alcalinidad y el agua misma con los coagulantes; las partículas coloidales son envueltas por los precipitados de hidróxido las cuales se ven obligadas a decantar incorporando dentro del precipitado que desciende. [13]

Este mecanismo es ampliamente utilizado en plantas de tratamiento convencional, en las que los procesos de floculación y sedimentación anteceden a la filtración, pues los floculos resultantes son de mayor tamaño y presentan velocidades de

sedimentación relativamente altas, en comparación con lo que se obtienen con la coagulación por adsorción- neutralización. [11]

El tipo de remoción de turbiedad que se da con este mecanismo, no es una verdadera coagulación, pero es el que más frecuentemente se presenta, debido a que en la práctica, las dosis de coagulante utilizadas suelen estar por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio o hierro en el agua, a los pH y temperaturas normales de trabajo. [3]

3.1.2.4 ADSORCIÓN Y FORMACIÓN DE PUENTES

En este mecanismo la coagulación se realiza usando compuestos orgánicos sintéticos y naturales (polímeros) caracterizados por grandes cadenas moleculares, que gozan de las propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de la cadena y pueden actuar como coagulante. [11]

En este caso la coagulación no está mayormente influenciada por las fuerzas electroestáticas, si no por el fenómeno coloide en uno o más puntos fijos de adsorción, dejando el resto de la cadena del polímero libre, de tal forma que puede flotar en el agua y adherirse a su vez a otros coloides, formando así un puente molecular que une una partícula con otra. La repetición de este fenómeno es lo que permite la aglutinación de ellas en masas llamadas floc. [3]

3.1.3 COAGULANTES UTILIZADOS

La función de los coagulantes es realizar la desestabilización de las partículas para facilitar su precipitación estos se pueden clasificar en dos grupos: los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos.[6]

3.1.3.1 POLIELECTROLITOS O AYUDANTES DE COAGULACIÓN

Un polímero puede definirse como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeras, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Su grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica. [3]

La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable.[11]

3.1.3.2 COAGULANTES METÁLICOS

Existen una variedad de coagulantes metálicos que los podemos clasificar en dos tipos: sales de aluminio y sales de hierro

3.1.3.2.1 SALES DE ALUMINIO

Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: Sulfato de Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_3) \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, que en la práctica se le denomina Alumbre; Sulfato de Aluminio Amoniacal y Aluminato Sódico. El sulfato de aluminio es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo.[3]

3.1.3.2.2 SALES DE HIERRO

En algunos casos las sales de hierro tienen su ventaja sobre las sales de aluminio, porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y pueden trabajar con un rango de pH más amplio. Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.[4]

Se utiliza el Cloruro Férrico, FeCl_3 , y los Sulfatos de Hierro: Férrico $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ y Ferroso FeSO_4 . [3]

3.1.4 DIAGRAMAS DE COAGULACIÓN

Los diagramas de coagulación son una herramienta muy efectiva para indicar las condiciones de dosis químicas y pH en que ocurre una efectiva coagulación. [4]

Los diagramas de coagulación muestran la relación del pH en la abscisa, la dosis de coagulante en la ordenada, y se muestran las diversas especies complejas de aluminio y la eficiencia de remoción de turbiedad y color. [3]

Los diagramas de coagulación pueden obtenerse a través de ensayos de coagulación, floculación y sedimentación o de ensayos de coagulación filtración, dependiendo del tipo de tratamiento a efectuar. [14]

Estos diagramas posibilitan la toma de decisiones, ya que pueden ser usados para predecir las condiciones de coagulación como:

1. Remoción de turbiedad
2. Remoción de color
3. Filtración directa
4. Selección de unidades de mezcla rápida.[4]

3.1.5 MEZCLA RÁPIDA

La dispersión de los coagulantes en el agua es de gran importancia, para todo el proceso de clarificación posterior. Una vez desestabilizados los coloides empiezan a unirse formando primero microfloculos o partículas con diámetro inferior a una micra, luego estos se aglutinan en partículas mayores y por último se hidratan aumentando su volumen. [3]

La desestabilización de las partículas es mediante la mezcla rápida, la cual consiste en las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento que se dosifica el coagulante; de tal manera que las reacciones de coagulación se den en condiciones óptimas de acuerdo al mecanismo de coagulación predominante. [4]

La mezcla para la coagulación por barrido es indiferente a las características de la mezcla rápida, lo cual no quiere decir que no se necesite, sino que es menos importante. [3]

El estudio de Letterman y colaboradores señala que la etapa de floculación es más importante que la sola desestabilización en condiciones químicas de coagulación de barrido. Las etapas iniciales de floculación están influenciadas por las operaciones de mezcla rápida y hallaron tiempos óptimos para la precipitación de aluminio que está entre 1-7 segundos.[3][4]

Sugiriendo la siguiente fórmula para optimizar la mezcla rápida:

$$G * T * C^{1,46} = (5,9)(10^6)[15] \text{ Ecuación 1}$$

Para que se produzca la desestabilización de las partículas en la coagulación por adsorción-desestabilización, tiene que haber transporte o colisión entre los coloides y los productos de las reacciones hidrolíticas en incipiente formación. [4]

Con la adecuada mezcla rápida la velocidad de aglutinación de las partículas puede aumentar hasta 3.5 veces, por lo cual es de gran importancia el punto que se escoja para la aplicación del coagulante y debe seleccionarse siempre el lugar donde se produzca una mayor turbulencia. [16]

3.2 FLOCULACIÓN

La floculación es el proceso de unir partículas coaguladas y desestabilizadas para formar mayores masas o flóculos, de modo que se facilite su separación por sedimentación y/o filtración del agua tratada.[17]

En la floculación se persiguen dos objetivos que son:

- Reunir los microflóculos para formar partículas mayores con peso específico superior al del agua.
- Compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación, para producir una baja concentración volumétrica, que permita una eficiencia en las fases de sedimentación y filtración. [3]

3.2.1 CINÉTICA DE LA FLOCULACIÓN

Existen dos tipos de floculación para promover el crecimiento de los flóculos, siendo necesarias la actuación de ambas para el cumplimiento de los objetivos de la floculación. Estos son:

3.2.1.1 FLOCULACIÓN PERI CINÉTICA O BROWNIANA:

Se basa en las colisiones debidas al movimiento de las moléculas e inducidas por la energía térmica del fluido. A este movimiento se le denomina normalmente movimiento Browniano.[4]

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microflóculo.[11]

3.2.1.2 FLOCULACIÓN ORTO CINÉTICA:

Se basa en las colisiones de las partículas debidas al movimiento del agua. Este movimiento es inducido por una energía exterior a la masa de agua y puede ser de origen mecánico o hidráulico.[8]

Ocurre en un tiempo mínimo, poco tiempo después de la desestabilización, donde se agitan las partículas contenidas en la solución coagulada, hasta que las partículas tenga un tamaño adecuado para aglutinarse. [11]

3.2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- La naturaleza del agua
- Variación de caudal
- Tiempo de floculación
- Gradiente de velocidad
- Numero de compartimientos de la unidad[3]

3.2.2.1 NATURALEZA DEL AGUA

La floculación, es sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad.

Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que puede afectar el tiempo de floculación.[8]

La concentración y la naturaleza de las partículas, presentes en el agua tienen una notable influencia en el proceso de floculación. La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de las partículas.

3.2.2.2 VARIACIÓN DE CAUDAL

El caudal de operación de la planta es de gran influencia en el proceso de floculación ya que este puede modificar los tiempos de residencia y el gradiente de velocidad del floculador.

Los floculadores hidráulicos principalmente, no son muy flexibles a las variaciones de caudal, al disminuir aumenta los tiempos de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención disminuye y el gradiente de velocidad aumenta.[8]

3.2.2.3 TIEMPO DE FLOCULACIÓN

La permanencia del agua en el floculador es de gran importancia para la formación de floc, una permanencia del agua en el floculador inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores a medida que se aleja del tiempo óptimo de operación de floculación. [16]

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo, bajo determinadas condiciones existe tiempos óptimos para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos. Mediante ensayos de pruebas de jarras (jar tests), se puede determinar el tiempo óptimo de floculación de acuerdo a las características del agua a tratar. [11]

3.2.2.4 GRADIENTE DE VELOCIDAD

Cuanto mayor es el gradiente de velocidad más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas, a medida que los floculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad, los floculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores. [11]

La velocidad de la mezcla influye en la fuerza de las partículas para permanecer unidas. Si la velocidad de mezcla es muy alta, los floculos pueden romperse, haciendo esporádica la frecuencia en la que se vuelven a unir y conservar la fuerza inicial.[11][3]

La resistencia de los flóculos depende de los siguientes factores:

- De su tamaño, forma y compactación.
- Del tamaño, forma y naturaleza de las microparticulas
- Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para la floculación se encuentran dentro de una rango de 100 a 10 s^{-1} . Conviene realizar una compartimentalización con gradientes escalonados en forma decreciente. Los gradientes de velocidad en los canales, compuertas o cualquier otra estructura de paso de agua floculada no deben ser mayores a 20 s^{-1} . [3]

3.2.2.5 NUMERO DE COMPARTIMIENTOS DE LA UNIDAD

Cuanto mayor es el número de compartimientos en la unidad, menores serán los cortocircuitos del agua, en tanques de un solo compartimiento cerca del 40% del agua suele escaparse del tanque en un tiempo menor que la mitad de tiempo teórico. Con la compartimentalización y la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad, se aumenta la eficiencia del proceso de floculación y se reduce el tiempo de floculación. [11]

Gradientes elevados en los primeros compartimiento promueven una aglomeración de los floculos, gradientes más bajos en la últimas cámaras reducen la fragmentación de estos.[3]

3.2.3 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

La baja eficiencia en las plantas de tratamiento de agua potable, se debe principalmente a falencias en la parte hidráulica a causa de un diseño u operación inadecuada, lo cual influye en las características de flujo en la unidad y en el periodo de retención del agua en el sistema. Para la evaluación de las características hidráulicas de un reactor se pueden utilizar modelos matemáticos como el análisis de la curva de Gauss que consiste en graficar la concentración del trazador a la salida en función del tiempo [18]

3.2.3.1 MODELOS DE FLUJO

3.2.3.1.1 INTERMITENTE

Radica en llenar la unidad y dejar un tiempo el líquido en esta, mientras ocurre el proceso, luego vaciarla y repetir el procedimiento; por ejemplo, cuando se realiza prueba de jarras en donde hay que llenarlas esperar que ocurra el proceso de sedimentación luego desocuparlas y realizarlo nuevamente.

3.2.3.1.2 CONTINUO

El flujo continuo puede ser de tres tipos: pistón, no ideal y mezclado, cualquiera de los anteriores se puede presentar en un sedimentador ya que estos se comportan como un reactor.

- **Flujo pistón**

En el flujo pistón la totalidad de las partículas del fluido que ingresan al sistema permanecen dentro de ella el mismo tiempo.

- **Flujo mezclado**

En este flujo toda partícula que entra a la unidad se dispersa instantáneamente dentro del tanque y la concentración dentro del reactor será igual a la que se mida en la salida.

- Flujo no ideal

Este atañe a todo grado intermedio entre el flujo a pistón y mezcla completa con variaciones, tales como, la presencia de cortocircuito, recirculación y zonas muertas. El cortocircuito es cuando parte del volumen de agua que entra atraviesa el tanque rápidamente y sale instantáneamente del mismo. Las zonas muertas suceden cuando el trazador queda retenido por un tiempo y luego sale lentamente de la unidad.[18]

3.2.3.2 TIEMPO DE RETENCIÓN

Es el tiempo que gasta una partícula cualquiera del fluido en ingresar y salir de toda estructura hidráulica.

$$t = \frac{V}{Q} \text{[18]Ecuación 2}$$

Donde

t= tiempo de retención

Q = caudal del sedimentador m³/s

V = volumen del sedimentador m³

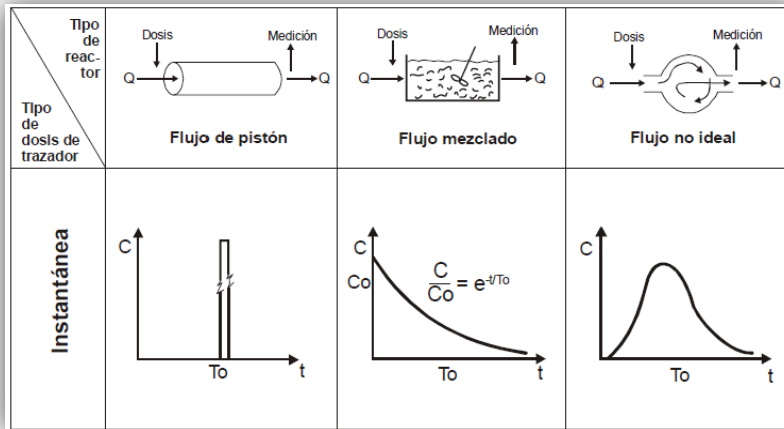
3.2.3.3 TRAZADORES

Para apreciar el funcionamiento hidráulico de una unidad, es oportuno realizar una prueba de trazadores, estas sustancias pueden ser:

- Colorantes como fluoresceína o rodamina.
- Iones como cloruro, especialmente de sodio o potasio, fluoruros o nitratos, especialmente de sodio.
- Elementos radioactivos como isótopos.
- Ácidos: clorhídrico, benzoico.
- Otras sustancias químicas: alizarim, sapirol, naptol.[19][18]

La aplicación de la sustancia trazadora puede realizarse de forma instantánea o de manera continua, se inyecta en la zona de entrada del sedimentador y se toma muestras consecutivas a la salida.[19]

Figura 2. Comportamiento del trazador cuando la aplicación es instantánea.

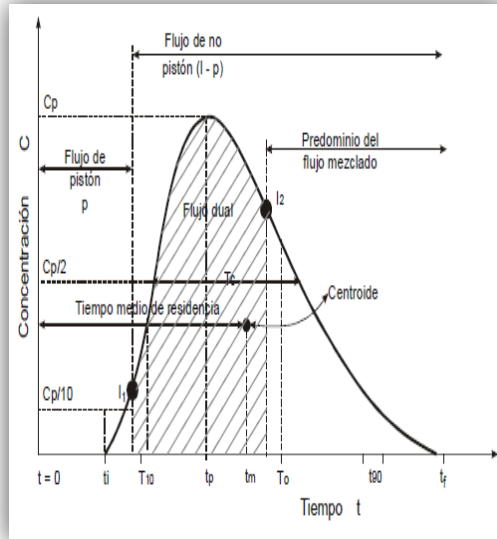


FUENTE:J. M. Perez Carrión, 1992

3.2.3.4 ANÁLISIS DE LA CURVA DE TENDENCIA

Una forma de analizar el comportamiento hidráulico de los floculadores es por medio de la curva de tendencia, que se genera con la concentración y el tiempo en el que se realizó la prueba, esta curva permite establecer la eficiencia hidráulica del floculador y analizando la tendencia de la curva de concentración de trazador y relacionando sus diferentes parámetros con condiciones de flujo, se determinan los tiempos de retención hidráulico. (ver figura 3 y 4)[18]

Figura 3. Concentración del trazador en el efluente de un reactor



FUENTE: J. M. Perez Carrión, 1992

El análisis de la curva se realiza por medio de la siguiente tabla.

Tabla 1. Análisis de la curva de tendencia del trazador

Análisis de la curva de tendencia del trazador	
$t_p/t_o \approx 0$	Predominio flujo mezcla completa
$t_p/t_o \approx 1$ y $t_i/t_o > 0.5$	Predominio flujo pistón
$t_i/t_o = 0$	Flujo mezcla completa
$t_i/t_o = 1$	Flujo pistón
$t_i/t_o < 0.3$	Corto circuito
$t_o/t_o = 0.693$	Flujo mezcla completa
$t_b/t_o \approx 2.3$	Flujo mezcla completa
$t_m/t_o < 1$	Cortos circuitos y/o zonas muertas
$t_m/t_o > 1$	Acumulación indeseada de trazador o error de ensayo
$e \geq 2.3$	Flujo mezcla completa
$e = 0$	Flujo pistón
t_p	Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración
t_i	Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
t_o	Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención
t_c	$t_p/2$ o tiempo en que la concentración es mayor que $C_p/2$
t_b	Tiempo en que la concentración es mayor que $C_p/10$

Análisis de la curva de tendencia del trazador	
C_p	Concentración máxima a la salida
t_m	Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad de trazador.
e	Excentricidad

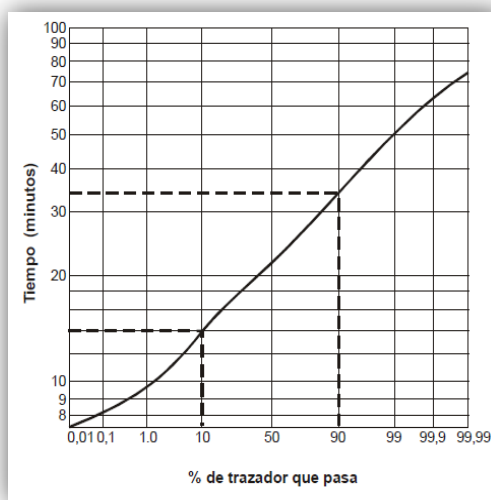
FUENTE: J. M. Perez Carrión, 1992

3.2.3.5 ÍNDICE DE MORRILL

Al ir acumulando los datos de la cantidad de trazador que pasa, expresado en porcentajes, e ilustrados en papel a escala de probabilidades en las abscisas y escala logarítmica en las ordenadas para diferentes tiempos, se produce aproximadamente una línea recta, si todo el flujo se comportara como pistón, la curva sería una línea horizontal y el índice de Morrill sería igual a 1, pues todo el trazador saldría en el tiempo ($t = t_0$). En contraste, a mayor cantidad de flujo mezclado, existe una distribución más amplia del tiempo de retención y del mismo modo se incrementa el ángulo que la curva hace con la horizontal.[18]

$$\text{índice de Morrill} = \frac{\text{tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{tiempo en que pasa el 10\%}} \quad [18] \text{Ecuación 3}$$

Figura 4 Índice de Morrill.



FUENTE: J. M. Perez Carrión, 1992

3.3 DESINFECCIÓN

La desinfección de agua para abastecimiento, es un proceso que tiene como objetivo la inactivación de microorganismo presente en el medio, minimizando la probabilidad de transmisión hídrica de enfermedades.[20]

Para que la desinfección sea efectiva las aguas deben estar libres de partículas coloidales, causantes de turbiedad y color, las cuales pueden ser un obstáculo para la acción del agente desinfectante. La desinfección alcanza una eficiencia máxima cuando la turbiedad es cercana a 1 UNT. [11]

Entre los agentes químicos de desinfección más utilizados se destacan el cloro elemental gaseoso (Cl_2), el hipoclorito (ClO), la mezcla de cloro con amoníaco (Cl_2/NH_3) que forman cloramina, el dióxido de cloro (ClO_2), el ozono (O_3) y el permanganato de potasio (KMnO_4). También se utiliza extensamente la luz ultravioleta, El agua oxigenada (H_2O_2) y los iones metálicos. [21]

3.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN

3.3.1.1 LOS MICROORGANISMOS PRESENTES Y SU COMPORTAMIENTO

La reacción de los microorganismos frente a un desinfectante suele estar determinada por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo y por la relativa afinidad con las sustancias vitales de los microorganismos; bacterias como las del grupo coliforme y las salmonela son las menos resistentes a la desinfección.[7]

El número de microorganismos no afecta el proceso de desinfección, se requiere una concentración de desinfectante y tiempo de contacto para eliminar una cantidad pequeña o grande de microorganismos, es de tener en cuenta parámetros como la temperatura y el pH.[11]

3.3.1.2 NATURALEZA Y CONCENTRACIÓN DEL AGENTE DESINFECTANTE

Desinfectantes como el cloro y derivados forman en el agua especies químicas cloradas de diferente eficiencia desinfectante.

La concentración del desinfectante determina el tiempo de contacto necesario para destruir los microorganismos presentes en el agua.[11]

3.3.1.3 LA TEMPERATURA DE AGUA

La solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso es inversamente proporcional a la temperatura. Es decir la cantidad del desinfectante será menor a mayor temperatura y viceversa.[7]

3.3.1.4 NATURALEZA Y CALIDAD DEL AGUA

La materia orgánica presente en el agua, puede reaccionar con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura. En ciertos casos cuando persisten compuestos orgánicos que no han sido removidos previamente a la desinfección, se pueden generar derivados tóxicos o compuestos que generan sabor y olor al agua.

3.3.1.5 pH

La acción de los desinfectantes es fuertemente influenciada por el pH del agua. Cada desinfectante, de acuerdo a su naturaleza, tiene un rango de pH para su mayor efectividad. Sin embargo la practica demuestra que cuanto más alcalina es el agua requiere de mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto.[22]

3.3.1.6 TIEMPO DE CONTACTO

Cuanto mayor sea el tiempo de contacto, mayor sea la posibilidad de destrucción de los microorganismos para ciertas dosis de cloro aplicado.[11]

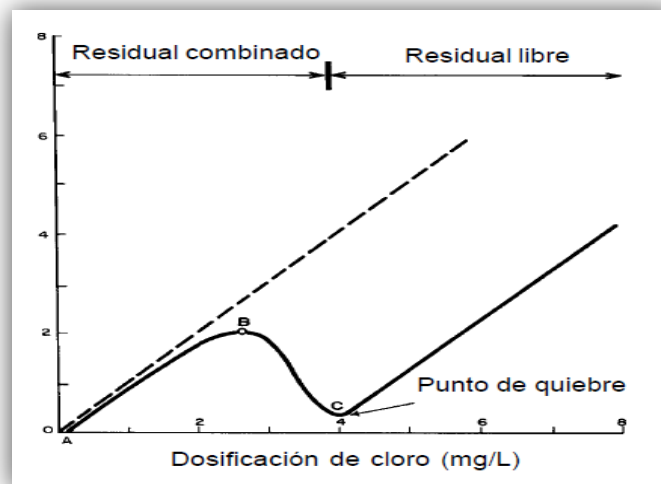
3.3.2 CLORACIÓN

El cloro, oxidante poderoso, es sin duda alguna el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente.[22]

3.3.2.1 EL GRÁFICO DEL PUNTO DE QUIEBRE

El cálculo de la dosis necesaria para una efectiva cloración se hace mediante una prueba de laboratorio que consiste en determinar el punto de quiebre.

Figura 5. Curva del punto de quiebre



FUENTE Lidia de Vargas, 2004

El cloro total disponible se da como una función de la dosis de cloro y se define como la suma del cloro libre y del cloro combinado. El residual de cloro libre disponible es la suma de ácido hipocloroso (HOCl) y del ion hipoclorito (OCl⁻), expresado como mg/L Cl₂. [11]

El residual de cloro combinado es la suma de las monocloraminas (NH_2Cl), de las dicloraminas (NHCl_2) y de las tricloraminas (NCl_3), expresada como mg/LCl_2 normalmente, el cloro libre es mucho más eficiente (requiere una dosis menor en un tiempo de contacto también menor) que las cloraminas. Por lo anterior, en el tratamiento del agua, cuando el cloro es el único desinfectante aplicado y cuando las aguas están muy contaminadas, se recomienda la cloración al punto de quiebre, lo cual significa que la dosis de cloro aplicada es suficiente para superar ese punto y, por lo tanto, ha sido oxidado todo el amoníaco (NH_3) presente, con un residual de HOCl , de OCl^- o una combinación de ambos según sea el pH del agua.[11]

4 METODOLOGIA

Para la Regulación del sistema de operación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Betulia ACUABE, se realizó el proyecto en tres etapas con el fin de mejorar la calidad del agua suministrada a los habitantes del municipio y con la información finalmente se estructuró un manual de operación de la planta.

4.1 FASE 1. DEMANDA DE AGUA DE LA POBLACIÓN, TIEMPOS DE OPERACIÓN Y FUENTES HÍDRICAS A UTILIZAR, PARA ESTABLECER CAPACIDAD INSTALADA EN PLANTA.

4.1.1 DEMANDA DE AGUA

En primera instancia se evaluaron aspectos generales de la planta: a) ubicación, b) datos del área, c) fuentes hídricas para abastecimiento, d) reconocimiento físico e hidráulico de la planta instalada, e) número de habitantes beneficiados por el servicio de acueducto y f) número de trabajadores de la planta. Elementos que ayudaron a determinar la demanda y factores que influyen en esta.

4.1.2 TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

Como segunda instancia para establecer el tiempo mínimo en el cual debe ser operada la planta para suplir la demanda de agua de la población, se estableció el consumo de agua y la capacidad de los tanques de almacenamiento de la unidad.

Debido a la ausencia de datos estadísticos de consumo en la planta, la capacidad de almacenamiento se determinó mediante un monitoreo realizado en una semana durante las veinticuatro (24) horas del día, donde se llevaron a cabo mediciones del volumen de agua tratada y consumida diariamente, utilizando un macro medidor volumétrico ubicado a la salida de los tanque de almacenamiento de la planta.

Se originaron las curvas de variaciones horarias para los días típicos de la semana con los registros de consumo hora a hora de cada día, de estas curvas de variación se trazó la curva de consumos acumulados, para determinar el cauda y el tiempo de operación de la planta. Se aplicó el método sugerido por los ingenieros Rocha y Duque en su libro Acueductos, teoría y diseño.

4.2 FASE 2. DOSIS OPTIMAS DE COAGULANTES, DESINFECCION Y CORRECCION DE PH

4.2.1 DOSIS OPTIMAS DE COAGULANTE

Para determinar las dosis óptimas de los coagulantes se construyeron diagramas de coagulación de turbiedad y color, de estos diagramas se analizaron las zonas de mayor remoción, determinando de esta forma la dosificación óptima de coagulante para una mejor calidad de agua tratada.

Como primera instancia se seleccionaron tres coagulantes para analizar su efectividad de remoción evaluando parámetros como turbiedad, color y variación de pH. Estos coagulantes fueron: Policloruro de Aluminio PAC 15, Sulfato de Aluminio tipo A y Sulfato de Aluminio tipo B. En el (ANEXO A) se presentan las fichas técnicas de los tres coagulantes utilizados.

La construcción de los diagramas de coagulación, tuvieron lugar a escala de laboratorio, mediante ensayos de prueba de jarras, en el laboratorio de agua potable de la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga, con muestras de agua tomadas en el afluente de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Betulia PTAP-ACUABE.

Mediante los diagramas de coagulación fue posible encontrar las zonas óptimas de remoción de turbiedad y color, así como sus características de pH.

Las dosis de coagulante PAC 15, establecidas para el ensayo fueron de 1,2,3,4,5, 6,8,10,12,14,16, y 18 ppm.

Las dosis para los diagramas de coagulación de los coagulante alumbre tipo A y B fueron de 8,10,12,14,16, 18,20,22,24,28,36 y 48 ppm .

Lo ajustes de pH para construcción de estos diagramas se realizaron utilizando como alcalinizante NaOH al 0,1N y acidificante HCl 0,1 N, para obtener un rango de pH entre 3,72-6,81 unidades para el coagulante PAC 15 y un rango de pH entre 3,38-7,94 unidades para las sales de aluminio.

La construcción de las mallas de puntos de remoción de turbiedad se hicieron mediante la aplicación de programa SURFER 6 que permitió visualizar y evaluar las diferentes áreas en el diagrama (turbiedad, pH y remoción).

4.2.2 DOSIS DESINFECTANTE

La dosis de desinfectante se determinó por medio de la construcción de la gráfica de punto de quiebre de cloro.El punto de quiebre se determinó en el laboratorio, mediante el método DPD (N,N-Diethyl-p-Phenylene-diamine),las mediciones se hicieron en el equipo hash DR/890, este método determina las cantidades relativas de cloro disponible libre y combinado, ya que reacciona en forma rápida con el cloro libre y más lentamente con las cloraminas, dando una coloración rosada.

En primera instancia se preparó una solución madre con una concentración de 50 ppm de cloro, de la cual se preparó 12 soluciones de concentración de 1 a 12 ppm, en balones aforados, trasvasadas posteriormente a frascos ámbar para evitar la interferencia de la luz.

Seguidamente se determinó el tiempo de contacto de cloro-agua, de acuerdo a las condiciones de la PTAP y se sugirió un tiempo adicional de 30 minutos, para realizar comparaciones entre estos.

Con los datos obtenidos se dibujó la gráfica de punto de quiebre de cloro residual para la PTAP-ACUABE, determinando así la dosis optima de desinfectante requerida por la planta.

4.2.3 DOSIS CORRECCIÓN DE PH.

Para la corrección de pH se utilizó una solución al 0,1N de NaOH para aumentar el pH y una solución al 0,1N de HCl para disminuir el pH, las dosis suministradas fueron de 1.8ml/l, 3ml/l, y 5ml/l. Conocida la cantidad de álcali y ácido necesarias para ajustar el pH, se adicionaron las dosis a cada una de las jarras, esperando hasta la estabilización del pH. Seguidamente se aplicaron las dosis de coagulante y se efectuó la prueba de jarras, determinando la dosis óptima de coagulante y modificador de pH.

4.3FASE 3. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ZONA DE MEZCLA LENTA Y RÁPIDA, IDENTIFICACIÓN DE GRADIENTES.

4.3.1 VERIFICACIÓN GRADIENTE MEZCLA RÁPIDA (VERTEDERO)

Como primera medida se verificó el gradiente de mezcla lenta en planta, a través de la verificación del diseño de la estructura del vertedero, esta verificación se hizo mediante la aplicación de ecuaciones de hidráulica de canales las cuales permitieron el cálculo del gradiente de mezcla rápida, utilizado en la actualidad en planta.

Las ecuaciones de hidráulica de canales aplicadas se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones para verificación de gradiente de mezcla en vertederos

PARÁMETRO	ECUACIÓN
Caudal por unidad de ancho	$\frac{Q}{b}$
Profundidad crítica	$\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$
Energía min.	$\frac{3}{2}Y_c$

PARÁMETRO	ECUACIÓN
Profundidad Lámina de agua	$Y_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{gFr_1^2}}$
	$Y_2 = \frac{Y_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$
Velocidades	$\frac{q}{Y_1}$
	$\frac{q}{Y_2}$
Energía	$E_1 = \frac{q^2}{2gY_1^2} + Y_1$
	$E_2 = \frac{q^2}{2gY_2^2} + Y_2$
Energía disipada	$\Delta E = E_1 - E_2$
Long. Resalto	$L = 6(Y_2 - Y_1)$
Lámina agua aguas arriba vertedero	$H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{1,838 * B}\right)^2}$
Perdida de carga total	$PC_{total} = P + H - Y_2$
Long. desde vertedero	$L_m = 1,45 * H * \left(\frac{P}{H}\right)^{0,54}$
Tiempo mezcla	$T = \left(\frac{L}{\frac{V_1 + V_2}{2}}\right)$
Gradiente mezcla	$G = \sqrt{\frac{g * h_f}{V * T}}$

FUENTE: J. Arboleda, 2000[3]

4.3.2 DETERMINACIÓN GRADIENTES DE MEZCLA LENTA EXPERIMENTAL, APLICACIÓN ECUACIÓN DE LETTERMAN.

Luego de realizar las etapas del suministro de agua y la construcción de los diagramas de coagulación para los tres tipos de coagulantes, se determinó el proceso de floculación (mezcla lenta), que garanticen el buen funcionamiento de toda la unidad.

La etapa experimental fue realizada en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable PTAP-ACUABE, en el municipio de Betulia. Las muestras de agua fueron tomadas del canal afluente a la PTAP.

La identificación de los gradientes en la zona de mezcla lenta, se llevó a cabo mediante prueba de jarras, realizando comparaciones entre gradiente de mezcla y tiempo de retención, evaluando la eficiencia de remoción mediante los valores de turbiedad residual obtenidos de las muestras de agua.

Los gradientes utilizados fueron $4,4 \text{ s}^{-1}$, $10,5 \text{ s}^{-1}$, $17,5 \text{ s}^{-1}$, $25,1 \text{ s}^{-1}$, $33,2 \text{ s}^{-1}$, $41,74 \text{ s}^{-1}$, utilizando tiempo de floculación de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 90 minutos.

La construcción de las gráficas de remanente de turbiedad Vs gradiente de mezcla con sus respectivas series de tiempos de floculación (en min), dieron como resultado para cada coagulante los gradientes y tiempo óptimo de floculación.

Al hallar el gradiente óptimo de floculación se determinó la ecuación de Letterman, teniendo como referencia la ecuación 1.

$$G^n * T = K.$$

Ecuación 1.

Dónde:

G: gradiente óptimo.

T: tiempo de retención.

Las constantes K y n se determinaron para cada y uno de los gradientes óptimos definidos, obteniendo finalmente las características optimas de remoción en el tratamiento del agua.

4.3.3 ANÁLISIS COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ZONA MEZCLA LENTA :

Como tercera instancia para determinar el comportamiento hidráulico del floculador de la planta y tipo de flujo que presenta la PTAP en la actualidad, mediante una prueba de trazadores.

Como primera medida se determinó el punto de adición del trazador. La sustancia trazadora empleada fue sal común (NaCl), el cálculo de la cantidad a adicionar se indica en el anexo (ANEXO B).

El tiempo empleado para la medición fue 3 veces el tiempo de retención teórico del floculador, tomando muestras con una frecuencia de dos (2), minutos.

Los resultados obtenidos, se analizaron mediante la curva de tendencia, determinando de esta manera el tipo de flujo, la presencia de cortos circuito o zonas muertas en el floculador.

4.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PARA FACILITAR LABOR DEL OPERARIO.

Con el fin de facilitar al operador, el buen manejo y funcionamiento de la planta de potabilización ACUABE, se realizó la construcción de un manual de operación de las unidades de tratamiento de la planta, que contempla los elementos de protección personal, las herramientas de trabajo, los equipos y elementos de análisis de calidad de agua, las funciones del operador y los procedimientos de limpieza y control con sus respectivos formatos.

5 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 FASE 1.

La capacidad instalada de la planta se determinó mediante el cálculo de la demanda de agua de la población, tiempos de operación y fuentes hídricas de abastecimiento, los resultados obtenidos y análisis se observan a continuación.

5.1.1 POBLACIÓN ABASTECIDA Y DEMANDA

Betulia es un municipio de centro-occidente del Departamento de Santander, a 90 km de la capital de Bucaramanga. Comprende tierras montañosas y planas, situado a 1820 msnm. Con temperatura media de 21 °C. Actualmente registra una población de aproximada de 5300 habitantes, 1200 en el casco urbano y 4100 en el área rural[23].

La planta de tratamiento de agua potable de Betulia es operada por la unidad de servicios públicos adscrita a la alcaldía municipal, se encuentra localizada en la zona alta del casco urbano, aproximadamente a 1 km de distancia, con una capacidad instalada de 5,6 l/s.[23] Toma el agua de tres fuentes: Quebradas la Ramera, Quebrada la laguna y Quebrada piletas, el abastecimiento se hace completamente por gravedad y atiende al 96% del casco Urbano.

5.1.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA TEÓRICA

La demanda teórica, se calculó mediante la dotación neta correspondiente a la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes, el índice de pérdidas en el sistema de acueducto, el cálculo de la dotación bruta y de los caudales medio diario, máximo diario y máximo horario. De acuerdo a las fórmulas de cálculo establecidas en el RAS título B. [24]

Los datos y cálculos se indican en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Parámetros para determinar Dotación bruta y Demanda de agua.

PARÁMETROS		
Nivel de complejidad	Bajo	
Dotación neta mínima (l/hab*día)	$d_{neta\ mínima}$	100
Dotación neta máxima (l/hab*día)	$d_{neta\ máxima}$	150
Porcentaje de pérdidas (%)	%p	40
Población	P	1200
Coefficiente consumo máximo diario	K1	1.3
Coefficiente consumo máximo horario	K2	1.6

FUENTE: RAS, 2000[24]

Tabla 4. Dotación bruta y Demanda de agua.

DOTACIÓN BRUTA	
Ecuación (l/hab* día)	$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$
Dotación bruta mínima (l/hab*día)	Dotación bruta máxima (l/hab*día)
167	250
DEMANDA	
Caudal medio diario (Q_{md})	
Ecuación	$Q_{md} = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$
Mínimo(l/s)	Máximo(l/s)
2,31	3,47
Caudal máximo diario (Q_{MD})	
Ecuación	$Q_{MD} = Q_{md} * k1$
Mínimo(l/s)	Máximo(l/s)
3	4,5
Caudal máximo horario (Q_{MH})	
Ecuación	$Q_{MH} = Q_{MD} * k2$
Mínimo (l/s)	Máximo (l/s)
4,8	7,2

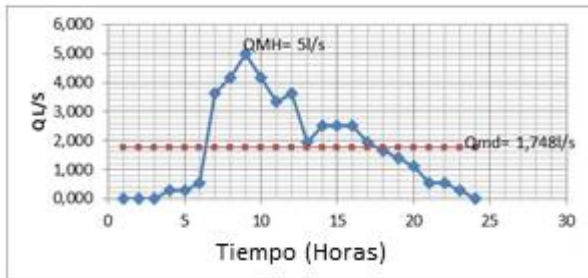
FUENTE: Autor

5.1.3 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA REAL DE AGUA EN LA POBLACIÓN

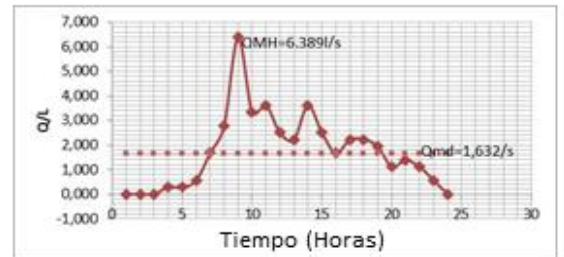
La determinación de la demanda real de agua en la población de Betulia se realizó mediante monitoreo de una (1) semana de los consumos de la población, durante veinticuatro (24) horas a la salida de los tanques de almacenamiento de la PTAP-ACUABE, los cuales se presentan en el (ANEXO C). Con los datos obtenidos en el monitoreo, se construyeron las curvas representativas de la variación horaria de consumo y de demanda de agua, los resultados se observan en las gráfica 1.

Gráfica 1. Curvas de variación horaria semana de muestreo

a. Lunes



b. Martes



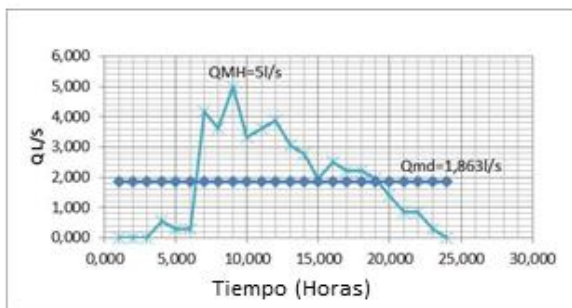
c. Miércoles



d. Jueves



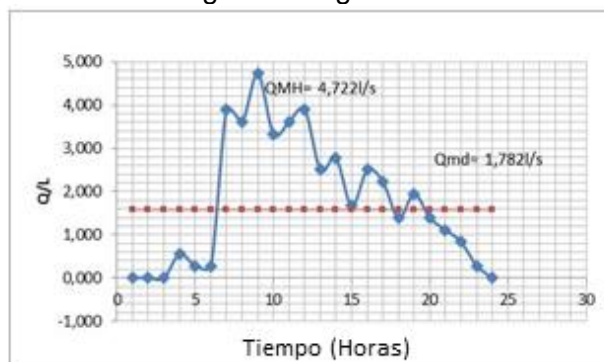
e. Viernes



f. Sábado



g. Domingo



FUENTE: Autor

Tabla 5. Resumen QMH y Qmd para los días de la semana.

DIA	CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH) (l/s)	CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd) (l/s)
Lunes	5	1,748
Martes	6,389	1,632
Miércoles	3,889	1,458
Jueves	4,444	1,586
Viernes	5	1,863
Sábado	4,444	1,736
Domingo	4,722	1,782

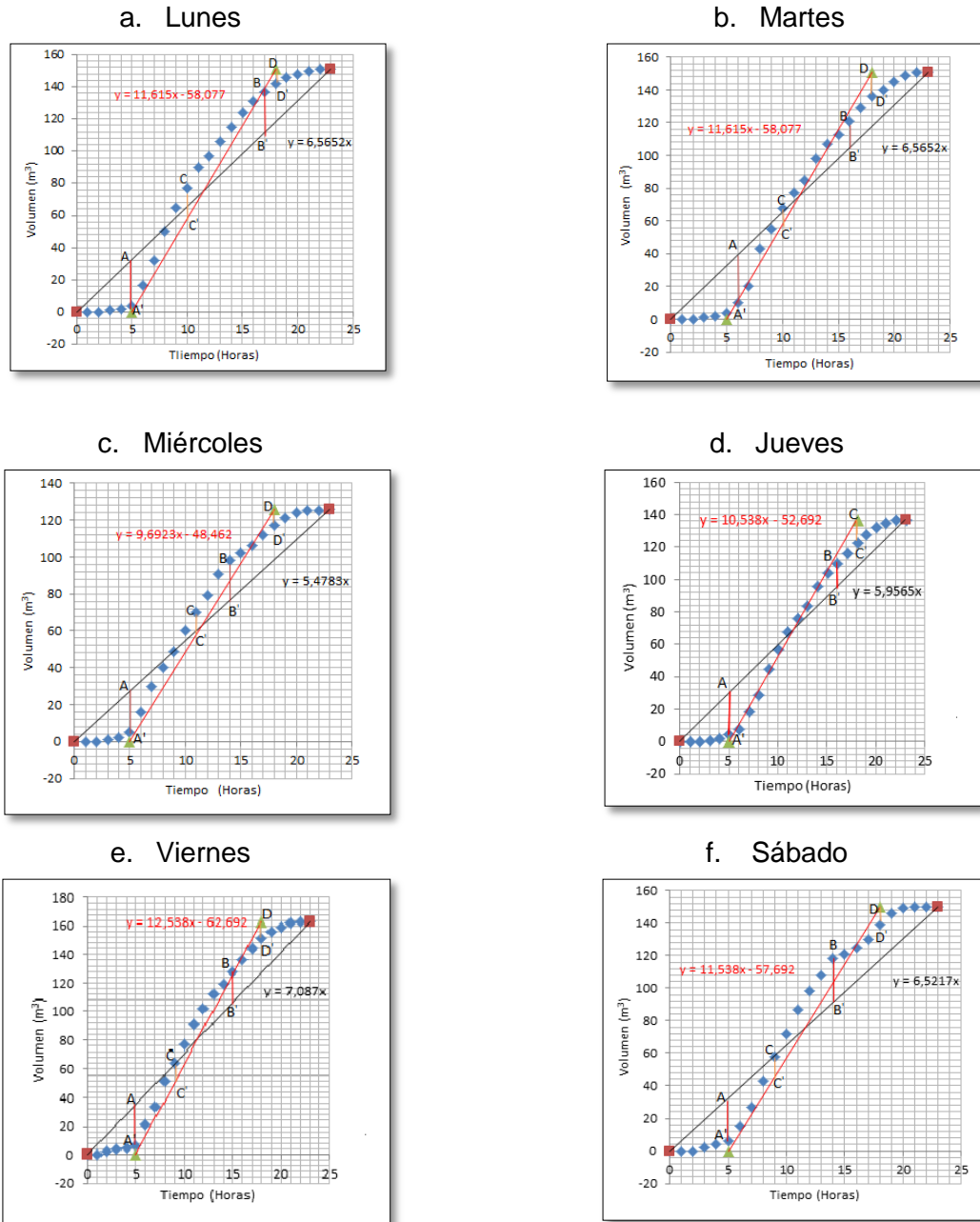
FUENTE: Autor

En La gráfica 1 se muestran las curvas de variación horaria del caudal de consumo, y en la tabla 5 se resumen los valores obtenidos, para cada uno de los días de la semana, donde el valor de caudal máximo horario (QMH) se registró el día martes (6,389 l/s) entre las 8 – 9 am. El valor más alto de caudal medio diario (Qmd), se presentó el día viernes con un valor de 1,863 l/s y el valor más bajo se presentó el día miércoles con 1,458 l/s.

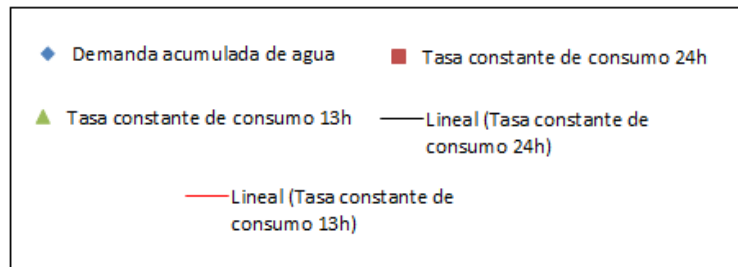
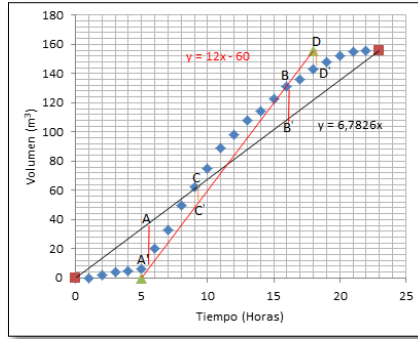
El registro de máximo consumo se presentó generalmente en horas de la mañana, en un horario comprendido entre las 8-9 am, el menor consumo se registró entre las 11 pm-5 am.

En la gráfica 2 se presenta la curva de volumen acumulado construida a partir de la gráfica 1.

Gráfica 2. Curva de volumen acumulado obtenida de la curva de variaciones horarias del consumo de la semana



g. Domingo



FUENTE: Autor

En la gráfica 2 se puede observar los volúmenes de agua a producir por día, estos oscilan entre 137 y 163 m³, con una producción constante de agua (24 horas). Del total requerido, el máximo valor de volumen para almacenamiento se registró el día viernes con un valor de 52m³, con caudales de operación constante durante 24 horas que están entre 1.5 a 2 L/s (Ver tabla 6).

Teniendo en cuenta que la capacidad instalada de la planta es de 5,6 L/s, se puede satisfacer la demanda diaria con una producción de 13 horas de operación al día, con un caudal de 3,4 L/s, requiriéndose un almacenamiento aproximadamente 26,52m³. (Ver tabla 6)

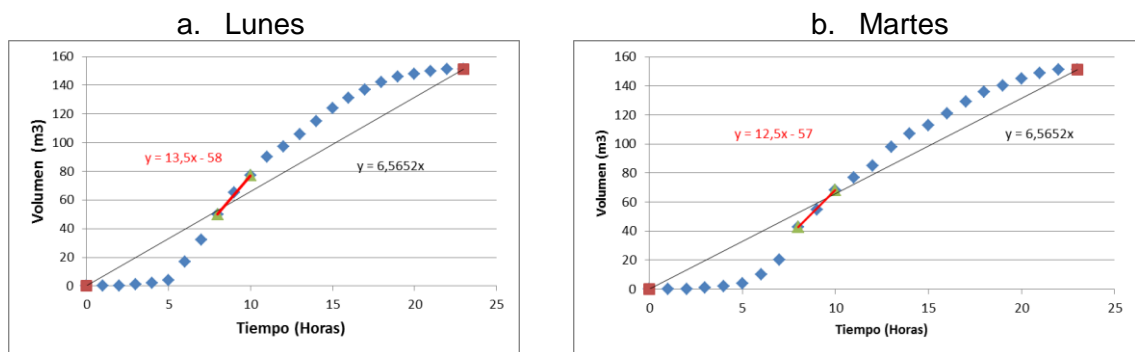
Tabla 6. Resumen Qmd para los días de la semana con tiempos de operación de la planta de 24 y 13 horas.

DIA	TIEMPO DE OPERACIÓN 24 HORAS		TIEMPO DE OPERACIÓN 13 HORAS	
	Caudal Medio Diario (Qmd) (l/s)	Capacidad de Almacenamiento (m ³)	Caudal Medio Diario Q(md) (l/s)	Capacidad de Almacenamiento (m ³)
Lunes	1,823	45	3,226	21
Martes	1,823	47	3,226	25
Miércoles	1,521	45	2,692	21
Jueves	1,654	38.36	2,927	13,7
Viernes	1,96	52	3,482	24
Sábado	1,811	49,5	3,205	22,5
Domingo	1,884	51	3,333	26,52

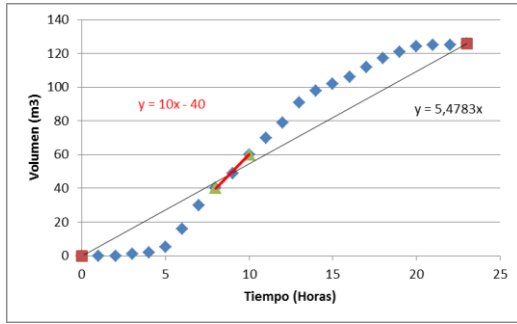
FUENTE: Autor

En las condiciones de diseño de la planta y tiempo de operación de 24 horas, la planta está en capacidad de satisfacer la demanda, sin necesidad de almacenamiento, la mayor pendiente posible de la gráfica 3 (Línea roja) muestra ese comportamiento. El mayor caudal de operación requerido por la planta de acuerdo al consumo, es de 4,16 l/s (Ver tabla 7.) y el menor caudal de operación requerido es de 2,77 l/s.

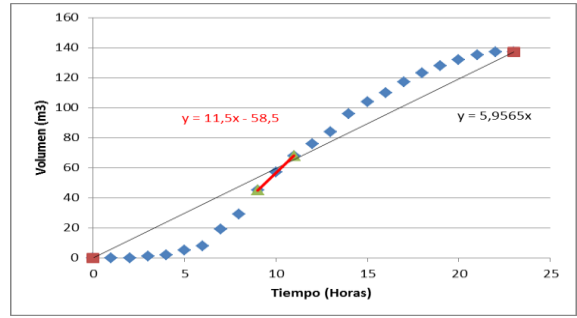
Gráfica 3. Curva de consumo acumulado para hallar caudal de operación.



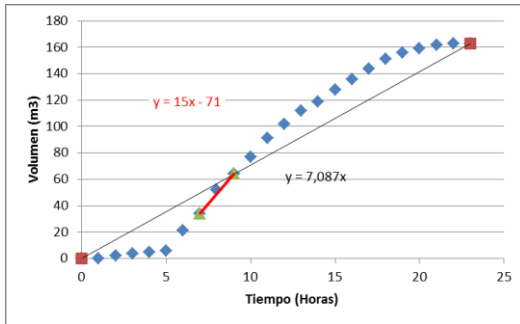
c. Miércoles



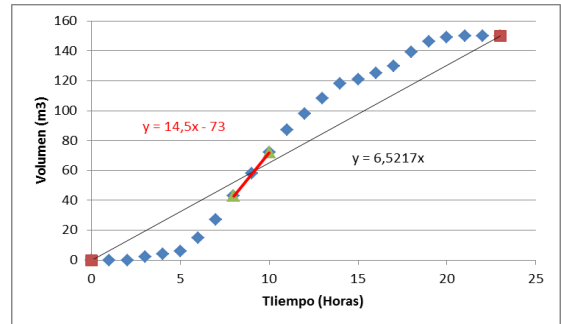
d. Jueves



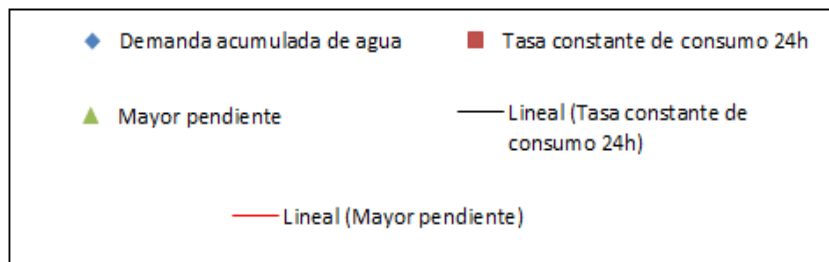
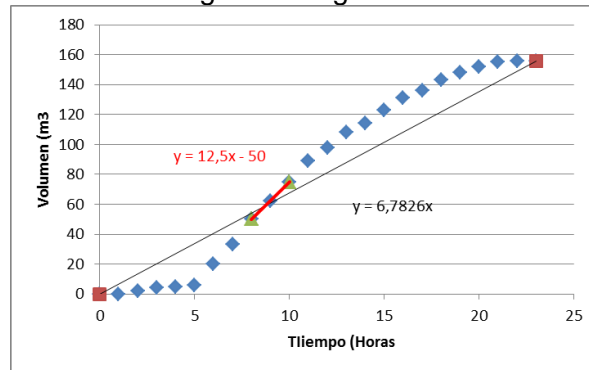
e. Viernes



f. Sábados



g. Domingo



FUENTE: Autor.

Tabla 7. Resumen Caudal de operación.

DIA	CAUDAL DE OPERACIÓN l/s	CAUDAL DE OPERACIÓN m³/h
Lunes	3,75	13,5
Martes	3,41	12,3
Miércoles	2,77	10
Jueves	3,19	11,5
Viernes	4,16	15
Sábado	4,02	14,5
Domingo	3,47	12,5

FUENTE: Autor

El volumen de los tanques de almacenamiento de la PTAP-ACUABE es de 174m³, con un caudal de operación de 15 m³/h, con un tiempo de operación de 24h se obtendrá una reservar de agua de 11 horas, para suplir las necesidades de la población en casos de daños o mantenimiento en la planta.

Para determinar la fuente o fuentes de agua a utilizar de acuerdo a la demanda, en campo fueron realizadas las mediciones de características físico-químicas como turbiedad, pH, color y caudal de cada una de las fuentes que abastecen la planta, mediante muestra puntual. Sus características se especifican en la tabla 8.

Tabla 8. Parámetros iniciales de las fuentes de agua en el afluente de la PTAP-ACUABE

Parámetro	Quebrada la Ramera	Quebrada la Laguna	Quebrada piletas
Caudal (l/s)	3	1,5	1,1
Turbiedad (UNT)	1,5	13	4
Color (UPC)	95	315	215
pH	6,7	7,2	5,9

FUENTE:Autor

En la tabla 8 se observan las características iniciales de las fuente en la entrada de la PTAP. La fuente que mejor características presenta es la de la Quebrada la Ramera, con turbiedad inferior a 2 UNT, color de 95 UPC, pH de 6,7 y caudal de 3 l/s, suficiente para suplir la demanda de agua de la población, suponiendo 13 horas de operación de la planta.

Las Quebradas la laguna y Piletas presentan turbiedades superiores a 2UNT con valores de color superior a 200 UPC, pH entre 5,9 a 7,2 unidades. El caudal aportado por estas fuentes es inferior al caudal demandado por la población, por lo que no es aconsejable utilizar solo una de estas fuentes como abastecimiento de la PTAP.

Teniendo en cuenta los caudales medios diarios presentados en la tabla 5 , para tiempos de operación de 24 horas y 13 horas, se registra el caudal medio diario más alto el día viernes, con caudales de 1,96 l/s y 3,482 l/s.

Si se desea operar la planta las 24 horas y se presenta valores altos en la turbiedad, pH o color de algunas de las fuentes de abastecimiento, el trabajador puede optar por operar la planta con una o dos de las fuentes, que presente mejor calidad.

Si la planta se desea operar las 13 horas y se presenta alteraciones altas en la turbiedad, pH o color de algunas de las fuentes, el trabajador puede operar la planta necesariamente con dos de las tres fuentes de abastecimiento, sacando el caudal de agua que presente menor calidad.

5.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA

Las operaciones que conforman el proceso de potabilización de la planta de tratamiento son las siguientes:

5.1.4.1 CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN

El agua proviene de las quebradas la Ramera, la Laguna y Piletas, es captada por bocatoma y transportada por gravedad a través de tubería de 3 pulgadas hasta la planta de tratamiento. La aducción y caudal de cada fuente son los siguientes:

- La quebrada la Ramera tiene una longitud de 6 Km y el caudal captado es de 3 l/s.
- La quebrada La Laguna con una longitud de 3 Km y el caudal captado es de 1,3 l/s
- La quebrada Piletas con una con una longitud de 3 Km y caudal captado es de 1,3 l/s.

El caudal que llega a la planta por línea de aducción es de aproximadamente 5,6 l/s el cual es distribuido y conducido hacia la estructura de coagulación.

5.1.4.2 DESARENADORES

Antes de que el agua de las fuentes inicie el tratamiento convencional, éstas son sometidas a un proceso de decantación por gravedad para eliminar los contaminantes más pesados como gravas y arenas en un desarenador, que está distribuido en tres compartimientos donde se depositan estos solidos de gran tamaño, proceso realizado para que la planta no se colmate cuando las condiciones del agua por turbiedad aumenten.

5.1.4.3 COAGULACIÓN

En este proceso se puede hacer medición y aforo del caudal que llega a la planta, mediante el uso de un vertedero en forma triangular con un Angulo de 30° y una sistema de goteo calibrado, donde se aprovecha el resalto hidráulico para agregar el coagulante, sulfato de aluminio tipo B sin dosificación previa a las condiciones de turbiedad y color del agua, dosis que debe ser determinada mediante ensayo de jarras, realizada en la planta de tratamiento por el operador de la planta.

Para el control del pH se agrega álcali primario sin dosificación La adición de estos químicos se realiza con las siguientes bombas:

Dos bombas EMEC modelo 340, para la aplicación de sulfato de aluminio tipo B y cal hidratada con capacidad de 60 litros/hora y 2 bares de presión, con sensor de

nivel que permite que la bomba se apague cuando se baja el nivel en el tanque de dosificación de la solución de sulfato y cal hidratada.

En esta parte del proceso se cuenta con estructuras mezcladoras de agitación hidráulica, que realizan el trabajo de dispersión del coagulante y el alcalinizante, observar ilustración 1.

Ilustración 1. Zona de Coagulación PTAP-ACUABE



FUENTE:Autor

5.1.4.4 FLOCULACIÓN HIDRÁULICA

El agua proveniente del proceso de coagulación es dirigida hacia la estructura de floculación hidráulica horizontal, donde el agua es sometida a gradientes bajos para la formación de flocs.

La unidad de floculación se encuentra dividida en tres zonas, la primera de velocidad alta que es por donde ingresa el agua del proveniente del proceso de coagulación, la segunda zona de velocidad media y la tercera de velocidad baja. Las medidas del floculador son 14,5m de longitud, 4 m de ancho y 1 m de altura

útil y está dividido en 55 compartimientos separados por tabiques de concreto. La zona de floculación se observa en la parte inferior de la ilustración 2.

Ilustración 2. Zona de Floculación PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

5.1.4.5 SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN CONVENCIONAL

La planta de tratamiento posee dos sedimentadores convencionales cada uno de 4m de longitud, 2,3 m de ancho y 2,4 m de profundidad. En esta estructura se sedimentan por la acción de gravedad los flocs provenientes de la unidad de floculación.

En la ilustración 3 se puede observar los dos sedimentadores convencionales existentes en la planta.

Ilustración 3. Zona de Sedimentación PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

5.1.4.6 SISTEMA DE FILTRACIÓN RÁPIDA

La planta de tratamiento cuenta con un sistema de filtración construido por una batería de dos filtros rápidos, los que tienen 2,5 m de longitud y 2,3 m de ancho para un área filtrante de 5,75 m² por filtro. El lecho filtrante está formado por una capa superior de 0,50m de antracita y una inferior de 0,20 m de arena colocada sobre una capa de 0,30 m de grava que le sirven al lecho de sostén. Los filtros son descendentes y de tasa declinante.

En la ilustración 4, se puede observar la zona de filtración con la que cuenta la planta.

Ilustración 4. Zona de Filtración PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

5.1.4.7 SISTEMA DE DESINFECCIÓN (CLORACIÓN)

El agente utilizado para la desinfección del agua es cloro gaseoso suministrado en cilindros de 68 kg, dosificado por un clorador marca hydro serie 600 y mezclado con agua para ser enviado en forma de solución hasta el tanque de contacto, donde el agua permanece durante aproximadamente 17 minutos, tiempo en el cual se hace la eliminación de todos los agentes patógenos, antes de pasar al tanque de almacenamiento.

5.1.4.8 TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

La planta posee dos tanques de almacenamiento, el antiguo con capacidad para almacenar 84m^3 y el nuevo con capacidad para 90m^3 . Los tanques de almacenamiento están localizados en la parte baja de la planta desde donde se distribuye el agua a gravedad, mediante dos tuberías, una de 2 pulgadas que va hacia la parte alta del municipio y la otra, una conducción de 4 pulgadas que lleva el agua hacia la parte media y baja del municipio.

5.1.4.9 LABORATORIO

La planta de tratamiento cuenta con un laboratorio dotados por los siguientes equipos:

- Un Turbidímetro portátil con todos sus accesorio modelo 2100Q Hach
- Un pH metro sensION+pH1 portable Hach.
- Colorímetro portable modelo DR/890 Hach.
- Test de jarras digital E&Q F4-300, con 4 posiciones, de velocidad variable, de 10 a 300 rpm.

5.1.4.10 EQUIPO DE DOSIFICACION Y PRODUCTOS QUIMICOS

Equipos de dosificación:

La planta de potabilización de Betulia cuenta con equipos de dosificación de alumbre, cal y cloro que se detallan a continuación.

- Bombas EMAC para dosificación del coagulante y alcalinizante.
- Un clorador marca Hydro istrumenst con capacidades de dosificación de 15 libras de cloro por día.

Productos químicos:

Los productos químicos empleados en el tratamiento de agua potable son:

- Sulfato de aluminio tipo B, sólido como coagulante.
- Cal hidratada como modificador de pH.
- Cloro gaseoso, como desinfectante.

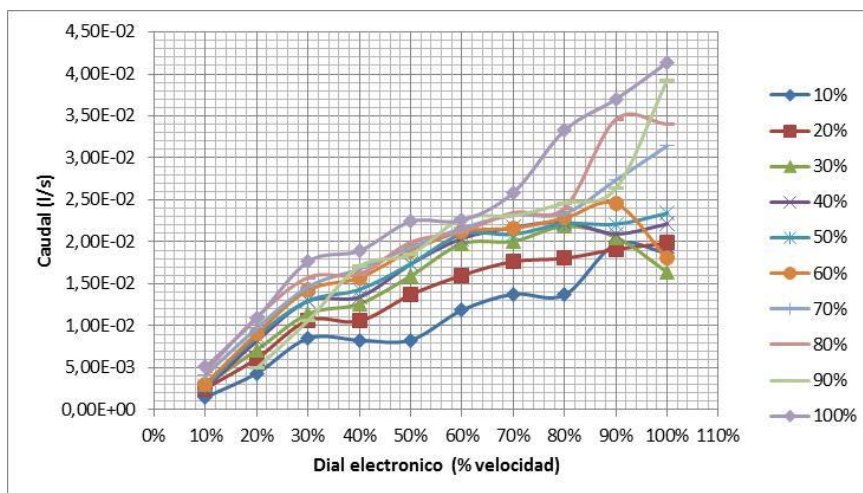
Los equipos de dosificación de coagulante no contaban con curvas de calibración. Teniendo en cuenta la necesidad de conocer el caudal a aplicar según la necesidad de operación, se calibró, mediante la combinación de las perillas de la bomba, en la tabla 9 y grafica 4 se indica la calibración realizada para la bomba EMEC modelo 0340, para un caudal de entrada de la planta en el afluente de 5 l/s.

Tabla 9. Datos calibración de caudal bomba EMEC 0340

RECORRIDO MECÁNICO (%)	DIAL ELECTRÓNICO (% de velocidad)									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
10%	1,5E-03	4,3E-03	8,5E-03	8,3E-03	8,3E-03	1,2E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,9E-02	1,8E-02
20%	2,5E-03	6,1E-03	1,0E-02	1,0E-02	1,3E-02	1,6E-02	1,7E-02	1,8E-02	1,9E-02	1,9E-02
30%	2,9E-03	7,1E-03	1,1E-02	1,2E-02	1,6E-02	1,9E-02	2,0E-02	2,1E-02	2,0E-02	1,6E-02
40%	2,5E-03	8,2E-03	1,3E-02	1,3E-02	1,7E-02	2,0E-02	2,1E-02	2,2E-02	2,1E-02	2,2E-02
50%	2,7E-03	8,7E-03	1,3E-02	1,4E-02	1,7E-02	2,1E-02	2,0E-02	2,2E-02	2,2E-02	2,4E-02
60%	3,0E-03	9,1E-03	1,4E-02	1,5E-02	1,8E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,2E-02	2,4E-02	1,8E-02
70%	4,1E-03	9,7E-03	1,4E-02	1,6E-02	1,9E-02	2,1E-02	2,3E-02	2,3E-02	2,7E-02	3,1E-02
80%	4,5E-03	1,1E-02	1,5E-02	1,6E-02	2,0E-02	2,1E-02	2,3E-02	2,4E-02	3,4E-02	3,4E-02
90%	4,9E-03	1,0E-02	1,7E-02	1,8E-02	2,3E-02	2,3E-02	2,4E-02	2,6E-02	3,9E-02	3,4E-02
100%	5,1E-03	1,0E-02	1,7E-02	1,8E-02	2,2E-02	2,3E-02	2,5E-02	3,3E-02	3,7E-02	4,1E-02

FUENTE.: Autor

Grafica 4. Calibración de caudales bomba EMEC 0340



FUENTE: Autor.

Por medio de la gráfica 4 el operario podrá determinar, de acuerdo al caudal con el que se va a trabajar la bomba, la posición del dial electrónico y el recorrido mecánico en el que deberá posicionar la bomba para realizar la dosificación adecuada en planta.

El caudal de la bomba se determina a partir de la dosis de coagulante, el caudal de entrada de la planta y la concentración a la cual se va trabajar la bomba, esta concentración puede ser entre el 2% al 10% es decir 20000 mg/l a 100.000 mg/l.

5.1.4.11 TRABAJADORES

La planta de tratamiento PTAP-ACUABE cuenta con un solo operario, encargado de la verificación del buen funcionamiento de la planta durante las 24 horas del día. El operario no cuenta con certificación de conformidad con las resoluciones números 1076 de 2003 y 1570 de 2004 del Ministerio de Medio Ambiente, y Desarrollo Sostenible (MADS) que hacen referencia al Plan Nacional de Capacitación y Asistencia Técnica para el sector de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiente y sobre el plan de certificación de las competencias laborales de sus trabajadores.

5.1.5 CÁLCULO ÍNDICE DE RIESGO POR PERSONA PRESTADORA DE SERVICIO.

Evaluados los aspectos generales de la planta, se realizó el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp), para la PTAP-ACUABE, de acuerdo a los criterios establecido en la resolución 2115 de 2007, el (IRABApp) calculado es de 15 puntos, catalogando la planta en un nivel de riesgo bajo para la salud, sugiriéndose acciones de gestión directa sobre las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio, con ejecución de acciones correctivas por parte de la Alcaldía municipal que permita eliminar el índice de riesgo. [25]

El cálculo del IRABApp se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Datos y cálculo IRABApp

IRABApp= 15	
Ecuación IRABApp	
IRABApp = 100 – (IT + IC)	
Dónde :	
pp:	persona prestadora
IT:	Índice de tratamiento, es el puntaje que se asigna al evaluar los procesos de tratamiento, ensayos básicos de laboratorio de la planta de tratamiento y trabajadores certificados de la persona prestadora. El máximo puntaje equivale a (80) puntos.
IC:	Índice por continuidad, es el puntaje que se asigna a la persona prestadora, con la información de continuidad de su área de influencia. El máximo puntaje equivale a (20) puntos
PUNTAJES	
IT	65 puntos
IC	20 puntos

FUENTE: Resolución 2115/20017[25]

De los datos reportados en la fase se resalta que la planta diseñada tiene capacidad para satisfacer completamente la demanda de la población actual y demanda futura, operando trece horas en el día con un caudal constante que no supera 4l/s, que se pueden usar dos de las tres quebradas, favoreciendo las que presentan menor problema de color y que se debe chequear el volumen de almacenamiento en los tanques, teniendo en cuenta que una vez alcance el nivel máximo debe suspenderse el tratamiento.

5.2FASE 2.

Las dosis optimas de químicos en el proceso de coagulación y desinfección de la planta de tratamiento, se garantizó, mediante la construcción de diagramas de coagulación para analizar el comportamiento de la turbiedad, color y pH, así como la construcción de graficas de punto de quiebre para determinar la dosis de cloro para desinfección. Estos resultados y análisis se muestran a continuación.

5.2.1 DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

Para determinar la dosis óptima de coagulante se construyeron los diagramas de remoción de turbiedad y color. Para generar los diagramas de coagulación, se realizó el test de jarras con muestras de agua tomadas y transportadas desde el afluente de la planta de tratamiento de agua potable PTAP-ACUABE, al laboratorio de agua potable de la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga, las características iniciales son las siguientes:

Tabla 11. *Parámetros iniciales, muestras de agua para test de jarras diagramas de coagulación y color*

Parámetro	Medición
Turbiedad	12,4 UNT
pH	6,92 unidades
Color	393 mg/l PT-Co

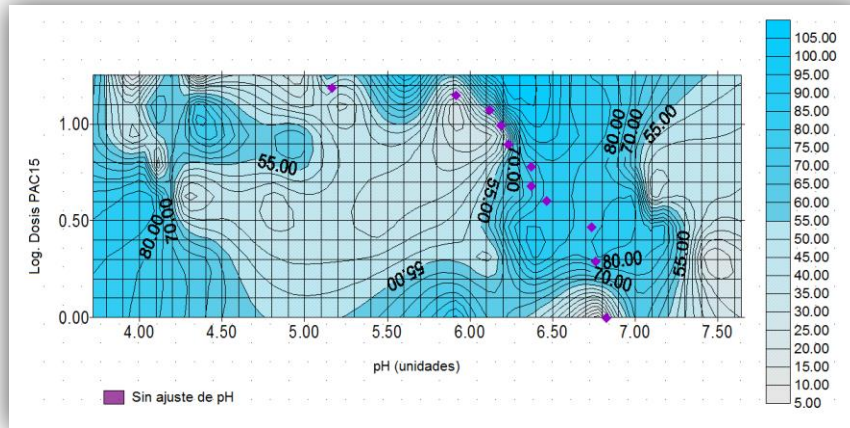
FUENTE: Autor

Siguiendo el protocolo del test de jarras y mediante el programa surfer 6, se construyeron los siguientes diagramas de coagulación de turbiedad y color para el Policloruro de Aluminio PAC 15 y el sulfato de aluminio Tipo A y B.

5.2.1.1 DOSIFICACIÓN PAC 15

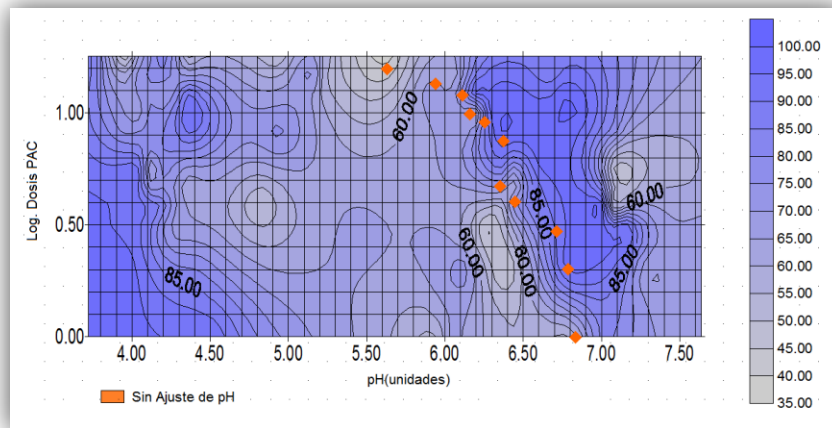
Los parámetros turbiedad y color para el coagulante PAC 15, se presentan en los diagramas de las gráficas 5 y 6. La curva punteada de color morado (gráfica 5) y la curva punteada de color naranja (gráfica 6) muestra el comportamiento de la dosificación, sin modificadores de pH, estas curvas tienen tendencia a valores ácidos en un alto porcentaje de los datos.

Gráfica 5. Diagrama de turbiedad con coagulante PAC 15



FUENTE: Autor

Gráfica 6. Diagrama de color con coagulante PAC 15



FUENTE: Autor

A partir de estos diagramas de coagulación de turbiedad y color generados para la PTAP, se puede observar que al adicionar PAC 15 inferiores a 6 ppm y superiores a 1ppm con pH óptimos comprendidos entre 6.38 y 6.78 se alcanzan remociones de turbiedad de 80 a 85% con remoción de color del 79,6% al 98,21%.

Si se realiza una modificación de pH, ajustando a valores ácidos comprendidos entre 3,95 a 6,13 unidades, endosis de 3ppm se logra la máxima remoción de turbiedad del 87,9% con un pH óptimo de 3,89 unidades. Por su parte la máxima remoción de color se da en un rango de dosis de 2ppm a 6 ppm adicionándolo en un rango de pH óptimo de 3,95 a 4,05 unidades, alcanzando una remoción de color entre el 90,83% a 99,74%.; sin embargo, estas condiciones operativas no son viables en la planta.

Al modificar pH para dosis de PAC 15, en un rango de pH entre 4,92 a 7,64 unidades, se evidencia una mejor remoción al adicionar una dosis óptima de coagulante de 12ppm con una máxima remoción de turbiedad del 96,45% y un remanente de color de 3,57% con pH de 6,2 unidades. Esta zona descrita pertenece al mecanismo de coagulación de barrido y es la condición más viable de operación, a pesar de requerirse una mayor dosificación de producto. En la gráfica 6 se puede observar que con dosis entre 8ppm a 12ppm sin realizar ajuste de pH, se puede alcanzar remoción de color del 100%.

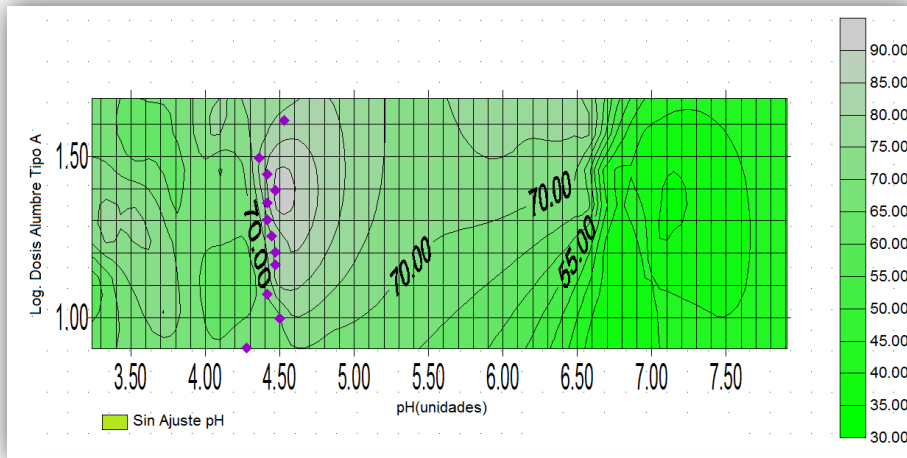
5.2.1.2 DOSIFICACIÓN SULFATO DE ALUMINIO TIPO A

El comportamiento del agua al suministrar sulfato de aluminio tipo A sin modificación en el pH (gráfica 7), se encuentra a pH ácidos, en una zona que pertenece al mecanismo de coagulación por adsorción- neutralización, de acuerdo a este diagrama un rango de dosis óptimas para el alumbre sin ajuste de pH, entre 14 ppm, a 22ppm se logran porcentajes de remoción de turbiedad del 77% a 86% a pH óptimos entre 4,41 a 4,48 unidades.

Al utilizar sales de aluminio y realizando modificación de pH a niveles ácidos (pH entre 3,38 a 3,92). Se requería dosis de 24ppm, para lograr remociones del 85%, pese a los valores de pH tan bajos es posible buena remoción, sin embargo este rango de pH no es viable operar la planta, ya que presenta valores muy ácidos para la entrega del agua, de acuerdo a valores permitidos en la resolución 2115/2007.[25]

Al realizar una modificación leve de pH, a un rango de pH entre a 5,59 a 8 unidades, con dosis de coagulante de 36 ppm se logran remociones de turbiedad del 87,5%, siendo una zona recomendable para trabajar en planta.

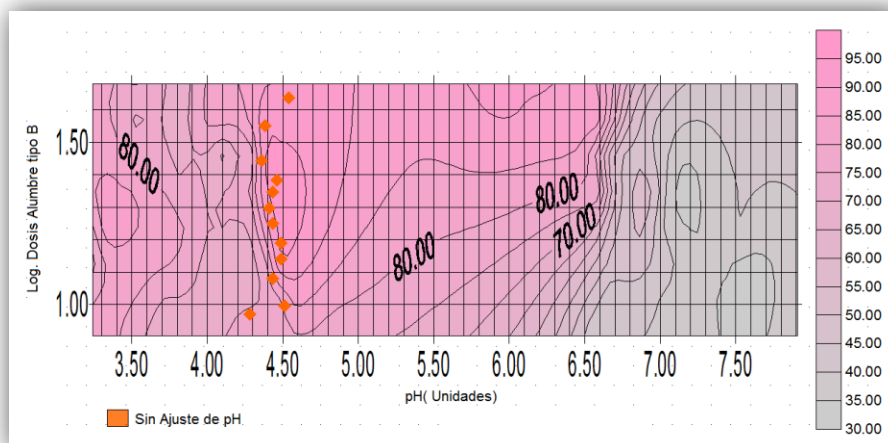
Grafica 7. Diagrama de turbiedad coagulante sulfato de aluminio tipo A



FUENTE: Autor

El comportamiento del color en el agua al suministrar como coagulante sulfato de aluminio tipo A sin modificar pH, actúa adecuadamente en un rango óptimo de pH entre 4,27-4,48 unidades, con dosis óptimas entre 14ppm a 22 ppm, obteniéndose remociones de color del 94,4% a 98,9%. (Ver gráfica 8)

Grafica 8. Diagrama de color coagulante sulfato de aluminio tipo A

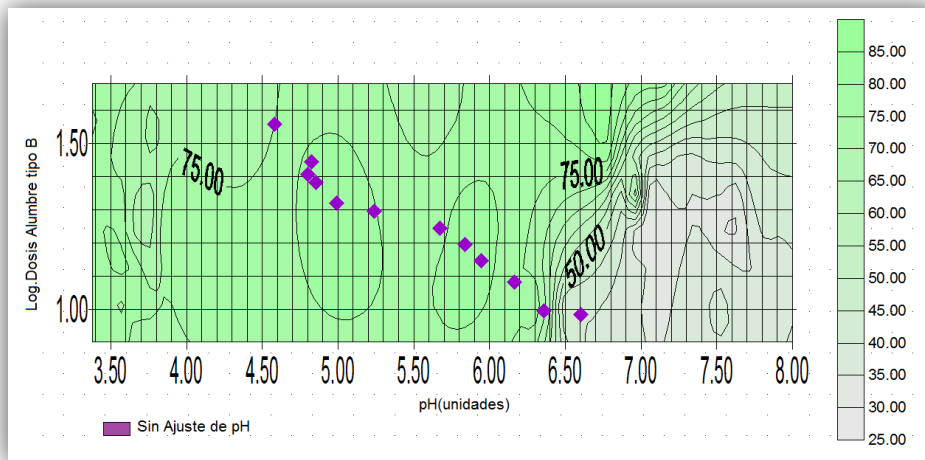


FUENTE: Autor

5.2.1.3 DOSIFICACIÓN SULFATO DE ALUMINIO TIPO B

Al suministrar sulfato de aluminio tipo B, se puede observar que al igual que el sulfato de aluminio tipo A, actúa adecuadamente para pH entre 3,38 a 3,92 unidades con dosis entre 14 a 20 ppm (Ver gráfica 9).

Gráfica 9. Diagrama de turbiedad coagulante sulfato de aluminio tipo B

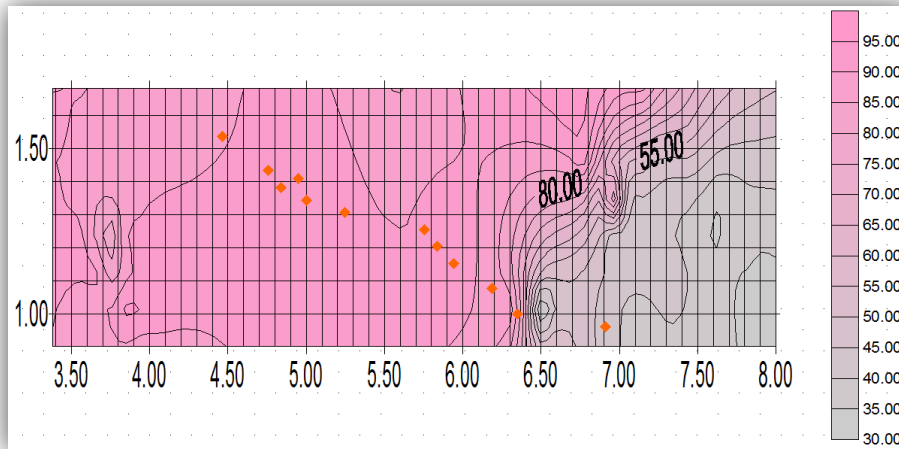


FUENTE: Autor

Respecto al color (Ver gráfica 10) al utilizar el sulfato de aluminio tipo B, sin ajuste de pH, con dosis entre 22 a 36 ppm, la remoción se encuentra entre el 89,5% al 94,6% con rango de pH entre 4,47 a 5 unidades.

Utilizando como coagulante alumbre tipo B y variación de pH entre 5,59 y 8 unidades, la dosis óptima de coagulante suministrada está entre 28 y 48 mg/l logrando una remoción del color entre el 84,2% al 91,34% a pH óptimos entre 5,59 a 6,81 unidades.

Gráfica10. Diagrama de color coagulante sulfato de aluminio tipo B



FUENTE: Autor

La PTAP ACUABE, de acuerdo al análisis de los diagramas de coagulación, si se desea obtener la máxima remoción de turbiedad utilizando como coagulante el PAC 15, se obtendrá mejores resultados con un mecanismo de coagulación por barrido. Para lograr un remanente de turbiedad entre el 3,55% a 9,4% es recomendable dosis de coagulante entre 6 ppm a 16ppm con pH óptimos entre 5,63 a 6,37, rangos que también dan buenos resultados en remoción de color con porcentajes del 90% al 100%, estos resultados se obtienen realizandoun ajuste de pH de agua, previo al proceso de coagulación.

Cuando se presenta el mecanismo de coagulación de barrido sin ajuste de pH la máxima remoción de turbiedad que se alcanza es de 85% en un rango de dosis de 2ppm a 6ppmy unaremovión máxima de color del 98%.

El mecanismo de coagulación adsorción-neutralización para efectos de la PTAP ACUABE se presenta a pH por debajo de 5 unidades, realizándose un ajuste de pH previo a la coagulación, con unos remanentes de turbiedad de 12% y de color del 5,6% con dosis de PAC 15 de 3 ppm. El pH final es tan bajo que tiene como desventaja principal, agua corrosiva que necesita un ajuste de pH finalizado el proceso,porincumplimiento de la resolución 2115/ 2007 donde el rango de pH permitido para consumo humano es de 5,5 a 9 unidades;

La turbiedad es removida con mayor eficiencia entre pH de 4 - 6 unidades sin modificación en el pH, cuando se trabaja con coagulantes de sales de aluminio, para efectos de color tanto el alumbre tipo B y tipo A presentan mayor remoción a pH bajos, este pH en el caso de estos diagramas es alcanzado con la adición del coagulante sin la necesidad de realizar ajuste de pH previos a coagulación.

Una ventaja del mecanismo de coagulación adsorción- neutralización es que se producen normalmente flóculos muy pequeños, dándose la remoción de estos principalmente en la unidad de filtración, reduciendo la generación de lodos en los sedimentadores.[11]

5.2.2 DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE Y COSTOS DE QUÍMICOS

Teniendo en cuenta el análisis de los diagramas de coagulación, se hallaron dosis óptimas para los tres coagulantes: PAC 15, alumbre tipo B y alumbre tipo A, de la manera tradicional (Tabla 12 y 13), haciendo los correctivos de pH necesarios para alcanzar mejor operación del sistema.

Tabla 12 Parámetros iniciales, muestras de agua para test de jarras diagramas de coagulación y color.

Parámetro	Medición
Turbiedad	22,2 UNT
pH	7,19 unidades
Color	445 mg/l PT-Co

FUENTE: Autor

Tabla 13 Resumen parámetros como pH, turbiedad, color y dosis de los coagulantes PAC 15 y sales de aluminio tipo A y B

Parámetro	PAC 15	ALUMBRE TIPO A	ALUMBRE TIPO B
Turbiedad remanente UNT	1	2	2
pH (unidades)	5-9	4,8-6,2	
%Color remanente	<30	<10	
Dosis ppm	4-8	30-40	36-44

FUENTE: Autor

Al utilizar sales de aluminio tipo A y B aplicadas como coagulantes, sin ajuste de pH previos, se trabajó en una zona de adsorción-neutralización, entre pH de 4,8 – 6,2 unidades, obteniendo valores de turbiedad remanente inferior a 2 UNT. Modificando el pH para el coagulante PAC 15 en un rango entre 5- 9 unidades, trabajando en una zona de barrido, se alcanzan valores de turbiedad remanente por debajo de 1 UNT para la mayoría de los datos. Desde el punto de vista del color las sales de aluminio obtuvieron valores más bajos de color respecto al PAC 15.

La dosis óptima de sulfato de aluminio tipo A para un agua con estas características (tabla 12) está entre 30 ppm y 40 ppm, para el sulfato de aluminio tipo B la dosis óptima se encuentra entre 36 ppm y 44 ppm y la Dosis óptima de PAC 15 está entre los 4 ppm a 8 ppm.

Teniendo en cuenta la forma de presentación del producto empleado, se calcularon los costos asociados. Para el aluminio tipo A y B el producto se compra en estado sólido por lo tanto el valor en masa empleado es equivalente al valor en masa a comprar. En el caso del PAC el producto viene en estado líquido al 15%. Para el cálculo se tiene en cuenta el peso equivalente de agua para la compra del mismo. Las tablas 12 y 13 muestran la estimación de costos.

Tabla 14. Parámetro determinación costo de coagulante

PARÁMETROS COSTOS		
PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
Masa PAC 15 (anual)	3688	Kg
Masa total de Alumbre tipo A (anual)	3600	Kg
Masa total de Alumbre tipo B (anual)	3780	kg
Masa total cal	900	kg
Costo PAC	1912	\$/kg
Costo Alumbre tipo A	1700	\$/kg
Costo Alumbre tipo B	1624	\$/kg
Costos cal	1000	\$/kg

FUENTE: Autor

Tabla 15. Costo coagulante.

COAGULANTE	COSTO ANUAL (\$)
PAC 15	7.051.456
Alumbre tipo A	6.120.000
Alumbre tipo B	6.138.720
Cal	900.000

FUENTE: Autor.

El policloruro de aluminio (PAC) genera buenos resultados en cuanto a calidad de agua tratada, pero es el más costoso de los coagulantes, en cuanto a las sales de aluminio la más viable para la planta es el Alumbre tipo A que presenta buenos resultados en cuanto a calidad del agua tratada y es el más económico de los tres.

Para la selección de coagulante para la planta, se evaluaron tres aspectos importantes que fueron, calidad del agua tratada, costos y facilidades de operación, a cada aspecto se le asignó un valor, y de esta manera se calificó la eficiencia de cada coagulante. (Ver tabla 16).

Tabla 16. Parámetros evaluación de selección de coagulante

PARAMETROS DE EVALUACION	
CALIDAD	<p>Tiene un total de 60 puntos, Se evalúan parámetros como :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Turbiedad <p>Si cumple por los valores inferiores a 2UNT, establecidos por la resolución 2115/2007 se asignan 40 puntos, si no 0 puntos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color: <p>Si cumple por los valores inferiores o iguales a 15 mg/l PT-Coestablecidos por la resolución 2115/2007, se asignan 16 puntos, si no 0 puntos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - pH: <p>Si cumple por los valores ente 5,5 – 9 unidadesestablecidos por la resolución 2115/2007 se asignan 4 puntos, si no 0 puntos.</p>
COSTOS	<p>Tiene un total de 30 puntos, el valor se asigna de acuerdo al costo del coagulante respecto a los otros así</p> <ul style="list-style-type: none"> - costo Alto : se asignan 3 puntos - costo medio : se asignan 9 puntos - costo bajo : se asignan 18 puntos
FACILIDAD DE OPERACIÓN	<p>Tiene un total de 10 puntos, se evalúan la facilidad de operación con respecto a los equipos de dosificación como son las bombas</p> <ul style="list-style-type: none"> - si puede presentar problemas se asignas 3 puntos - si no presenta problemas se asignas 7 puntos

COAGULANTE	PUNTAJE CALIDAD	PUNTAJE COSTOS	PUNTAJE FACILIDAD DE OPERACIÓN	PUNTAJE TOTAL
PAC 15	60	3	7	70
ALUMBRE TIPO A	56	18	3	77
ALUMBRE TIPO B	40	9	3	52

FUENTE: Autor

De acuerdo a la tabla 16, el Alumbre tipo A, recibe el mayor puntaje 77 puntos, posicionándolo como el más viable para ser utilizado en planta, seguido por el PAC 15 con 70 puntos y por último el alumbre tipo B con 52 puntos.

La facilidad de operación reportado en la tabla 16, es producto del trabajo realizado en planta con la aplicación de sulfato de aluminio tipo A y PAC. La planta históricamente trabajó con sulfato de aluminio tipo B y de acuerdo a los resultados se decidió suspender su uso y se verificó el comportamiento del sulfato de aluminio tipo A y PAC en planta, con excelentes resultados para ambos productos ver (ANEXO D).

5.2.3 DOSIFICACION DESINFECTANTE (CLORACIÓN)

En planta se verificó el tiempo de retención hidráulico del sistema de cloración (Ver Tabla 17), para trabajar el tiempo de contacto de las muestras en la estimación del punto de quiebre en la cloración.

Tabla 17. Datos para determinación de tiempo de contacto de desinfección en la PTAP—ACUABE

Caudal Q (m ³ /min)	Volumen tanque desinfección V (m ³)	Fórmula	Tiempo de contacto T(min)
0,3	5	$T = \frac{V}{Q}$	16,6 ≈ 17 min

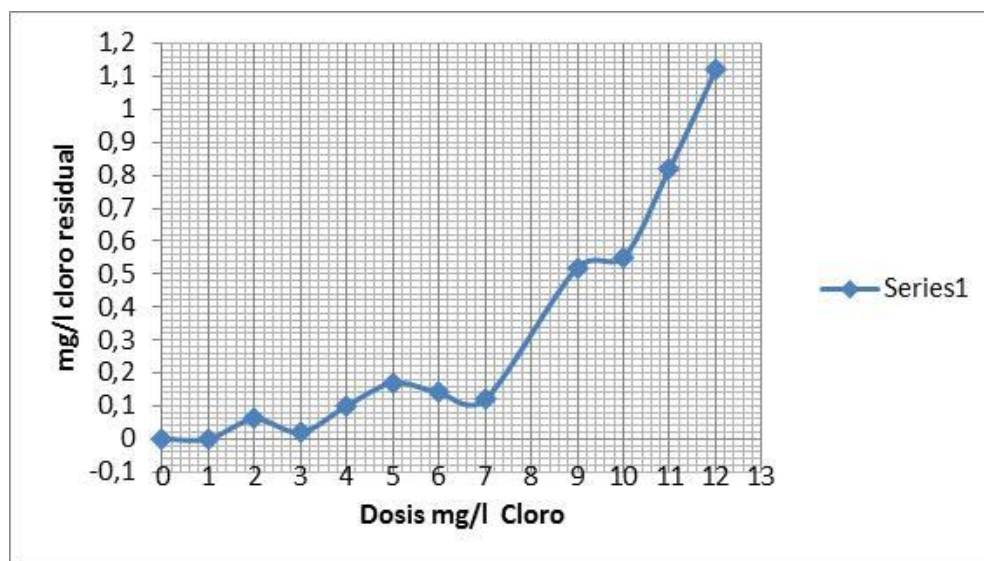
FUENTE: Autor.

Las muestras empleadas para determinación del punto de quiebre fueron doce (12), tomadas del efluente tratado de la planta, y adicionadas en balones aforados, para

conseguir concentraciones definidas de 1 a 12 ppm; transcurrido el tiempo de contacto de 17 minutos (Tabla 17), tiempo de contacto actual de la planta, y utilizando el método de DPD y el equipo Colorímetro hach DR/890, se determinaron los valores de cloro libre, registrados en la gráfica 11, donde se puede observar que para este tiempo de contacto, el punto de quiebre se da en una adición de 7ppm.

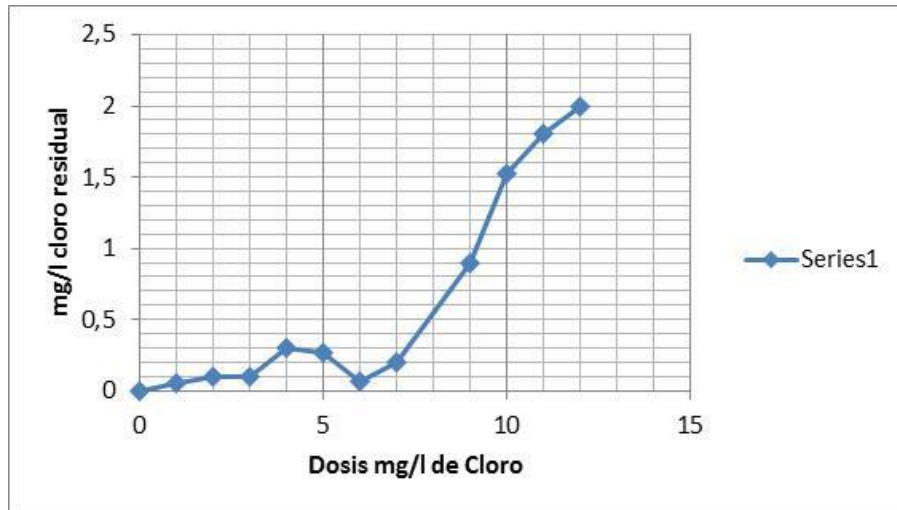
Se realizó un segundo ensayo con las mismas dosis de cloro y un tiempo de contacto mayor, 30 minutos, obteniéndose los resultados reportados en la gráfica 12. Al aumentar el tiempo de contacto cloro-agua, a 30 minutos, se pudo observar que el punto de quiebre se da en 6ppm.

Gráfica 11. Cloro residual total en función de la dosis aplicada, para un tiempo de contacto de 17 min.



FUENTE: Autor.

Gráfica 12. Cloro residual total en función de la dosis aplicada, para un tiempo de contacto de 30 min.



FUENTE: Autor.

Al analizar las gráficas 11 y 12, indican que al aumentar el tiempo de contacto cloro-agua se disminuye la concentración a la cual se produce el punto de quiebre, un tiempo de contacto de 30 minutos garantiza que pasado este tiempo el cloro presente en la tuberías no seguirá reaccionando, garantizando que las bacterias y microorganismos presentes serán eliminados del agua.

El tiempo de contacto con el que cuenta en la actualidad el tanque de desinfección de la planta de tratamiento, no garantiza una eficiente desinfección, existiendo el riesgo de no garantizar la eliminación de los microorganismos patógenos presentes.

Los valores de dosificación empleados en planta corresponden a los valores de cloro encontrados por el punto de quiebre para 30 minutos, sin embargo debe verificarse la opción de mejorar el tiempo de contacto, pues se evidencia que se requiere mejorar el sistema de cloración, según lo reportado en las gráficas.

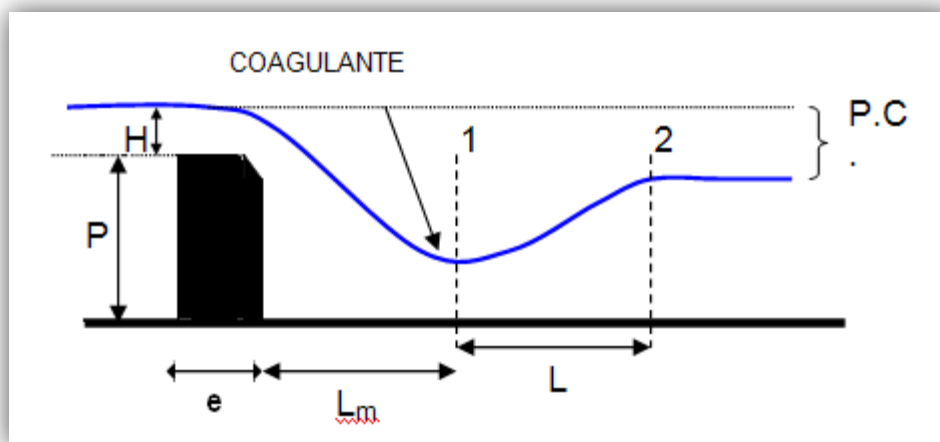
5.3 FASE 3.

Para la identificación de los ajustes locativos en la zona de mezcla rápida y lenta se realizó una revisión de los siguientes componentes:

5.3.1 VERIFICACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA

El método para realizar la mezcla rápida empleado en la actualidad por la planta, es por resalto hidráulico generado con vertedero de cresta delgada. El vertedero es triangular de 30° de pared delgada. La figura 13 ilustra el vertedero como mezclador.

Figura 6. Vertedero como mezclador



FUENTE: Autor.

Teniendo en cuenta la configuración de los canales donde se realiza la mezcla rápida donde está el vertedero, se determinó teóricamente el tiempo de mezcla rápida y el gradiente. (Ver Tabla 18)

En la tabla 18 se indican las ecuaciones y los resultados obtenidos para el vertedero.

Tabla 18. Verificación del funcionamiento del vertedero-coagulación

DIMENSIONAMIENTO PARA UN CAUDAL MÁX.DE 0,007 l/s				
PARÁMETROS	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR	UNIDADES
Q diseño	Q	Medido	0,007	m ³ /s
Ancho canal	b	Medido	0,29	m
Froude	Fr	Asumido	4,5	
Caudal por unidad de ancho	q	$\frac{Q}{b}$	0,024	m ³ /s/m
Profundidad crítica	Yc	$\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	0,039	m
Energía min.	Emin	$\frac{3}{2}Y_c$	0,058	m
Profundidad Lámina de agua	Y1	$Y_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{gFr_1^2}}$	9,9855E-05	m
	Y2 conj.	$Y_2 = \frac{Y_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$	0,0005875	m
Velocidades	V1	$\frac{q}{Y_1}$	241,7304	m/s
	V2	$\frac{q}{Y_2}$	41,08565	m/s
Energía	E1	$E_1 = \frac{q^2}{2gY_1^2} + Y_1$	2978,26692	m
	E2	$E_2 = \frac{q^2}{2gY_2^2} + Y_2$	86,036815	m
Energía disipada	ΔE	ΔE = E ₁ - E ₂	2892,2301	m
Long. Resalto	L	L = 6(Y ₂ - Y ₁)	0,002925	m
Altura del vertedero	P	Medido	0,3	m
Lámina agua aguas arriba vertedero	H	$H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{1,838 * B}\right)^2}$	0,055663	m
Perdida de carga total	PCtotal	PCtotal = P + H - Y ₂	0,355075	m
Long. desde vertedero	Lm	$L_m = 1,45 * H * \left(\frac{P}{H}\right)^{0,54}$	0,200435	m

DIMENSIONAMIENTO PARA UN CAUDAL MÁX.DE 0,007 l/s				
PARÁMETROS	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR	UNIDADES
Tiempo mezcla	T	$T = \left(\frac{L}{\frac{V_1+V_2}{2}} \right)$	2,06911E-05	s.
Gradiente mezcla	G	$G = \sqrt{\frac{g * h_f}{V * T}}$	1680,1754	s ⁻¹

FUENTE: Autor

En el vertedero de la planta, se genera un gradiente de mezcla de aproximadamente 1680 s⁻¹ en un tiempo de mezcla de 0,00002 s. Según la literatura, para una coagulación por barrido se recomiendan gradientes de 400 s⁻¹ a 800 s⁻¹ con tiempos de mezcla 30 a 180 segundos [3][11], Para coagulación por adsorción, se recomiendan gradientes de 1000 y 3000 s⁻¹ tiempos de 30 a 60 segundos. [11][3] Desde el punto de vista de la literatura, un gradiente y tiempo de mezcla que no cumplen con lo recomendado para este tipo de coagulación pueden afectar el proceso y generar resultados deficientes en el tratamiento del agua; en la PTAP-ACUABE el vertedero cumple con el gradiente de mezcla para el mecanismo de coagulación por adsorción neutralización (aplicable también a turbiedades bajas) aunque el tiempo de mezcla no es el recomendable, se logra verificar formación de floc posterior, evidenciado que el tiempo de contacto es suficiente.

Los ensayos de coagulación realizados para la PTAP-ACUABE con los tres coagulantes, presentan una coagulación de adsorción- neutralización para las sales de aluminio, mientras que para el PAC 15 el mecanismo presentado es de barrido. Dadas las condiciones económicas es más probable que la planta sea operada con sales de aluminio, por lo que no son importantes las mejoras en la estructura de mezcla rápida, ya que, la estructura garantiza de esta manera el gradiente para resultados aceptables en el tratamiento del agua de la PTAP.

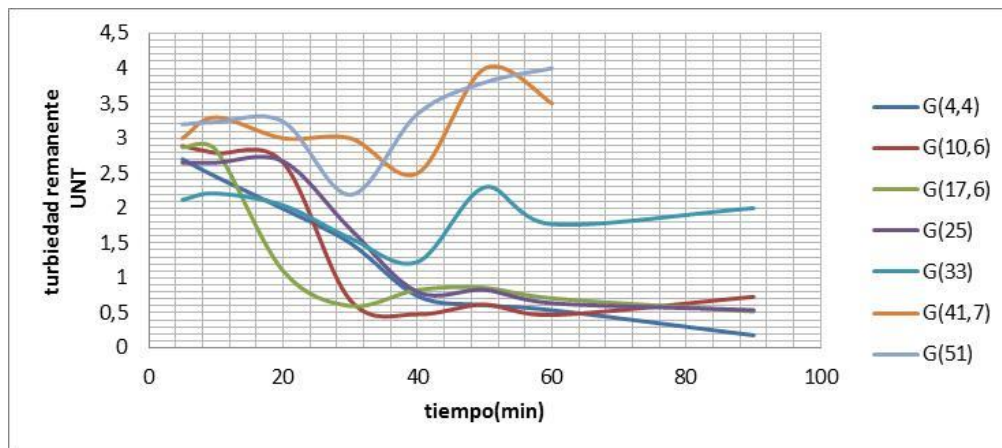
5.3.2 VERIFICACIÓN DE GRADIENTES Y TIEMPOS DE FLOCULACIÓN MEDIANTE LA ECUACIÓN DE LETTEMAN

La formación de los flóculos depende de la permanencia y de la cantidad de energía aplicada (gradiente de velocidad) en los floculadores. Para determinar este gradiente se realizó el ensayo de prueba de jarras para tres coagulantes: sulfato para el PAC y sulfato de aluminio tipo A y B variando los gradientes para la construcción de gráficas de relación entre gradiente de velocidad en floculación, turbiedad remanente y tiempo requerido.

5.3.2.1 CONSTRUCCIÓN DE ECUACIÓN PARA EL PAC 15

La gráfica 13 muestra las curvas experimentales de gradientes obtenidas en laboratorio para el coagulante PAC 15.

Gráfica 13. Relación óptima entre Tiempo y Gradiente para el coagulante PAC 15.



FUENTE: Autor

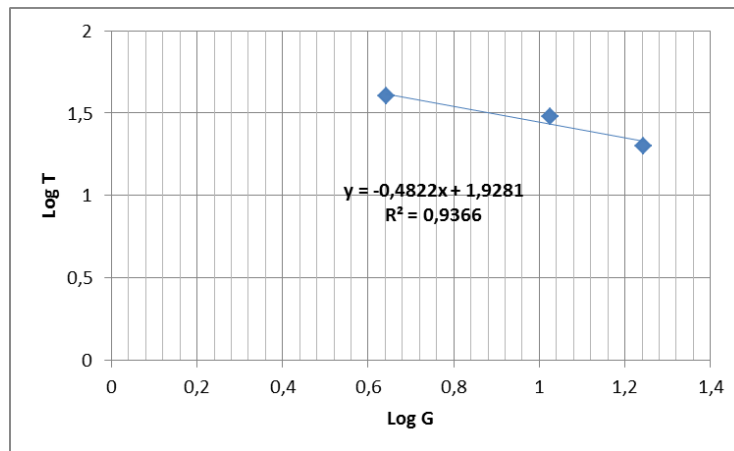
La tabla 19 muestra los valores de gradiente y tiempo óptimos tomados para la construcción de la gráfica 14.

Tabla 19. Datos gradientes y tiempos de retención para el PAC 15

Gradiente (G) (s ⁻¹)	Tiempo (T) (min)	LOG G	LOG T
4,4	40	0,64345268	1,60205999
10,6	30	1,02530587	1,47712125
17,5	20	1,24303805	1,30103

FUENTE: Autor

Gráfica 14. Valores óptimos de G y T para el PAC 15



FUENTE: Autor

Con los resultados obtenidos finalmente la ecuación de Letterman aplicada al PAC 15 en la calidad de agua promedio de la planta, quedará expresada así:

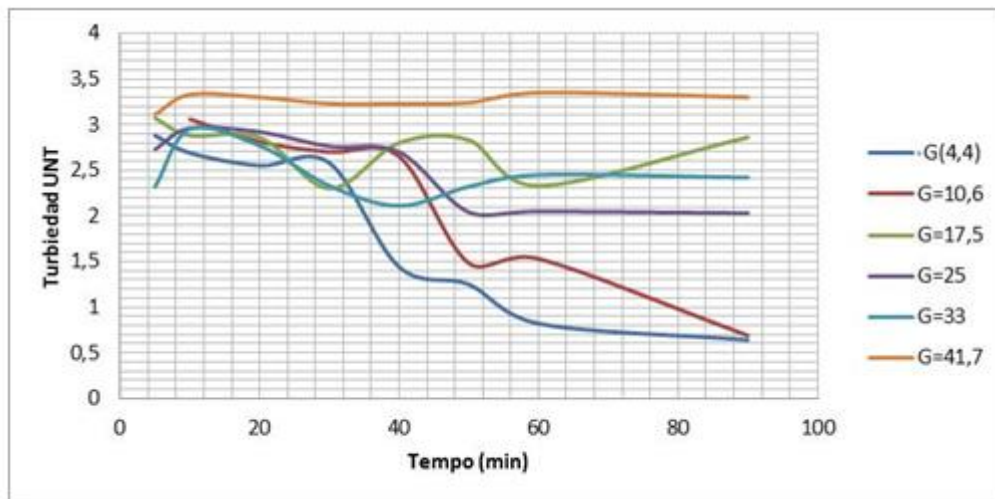
$$G^{0.4822}T=84.7422518$$

Al analizar la gráfica 13 Relación óptima entre T y G para el PAC 15, se observa que gradientes altos (mayores a 25) dificultan el proceso de floculación, siendo el floc más consistente en valores bajos, reflejado en valores bajos de remoción.

5.3.2.2 CONSTRUCCIÓN DE ECUACIÓN PARA EL SULFATO DE ALUMINIO TIPO A

La gráfica 15 muestra las curvas de gradientes de mezcla lenta experimentales, obtenidas en laboratorio para el coagulante sulfato de aluminio tipo A.

Grafica 15. Relación óptima entre Tiempo y Gradiente para el Sulfato de Aluminio tipo A



FUENTE: Autor

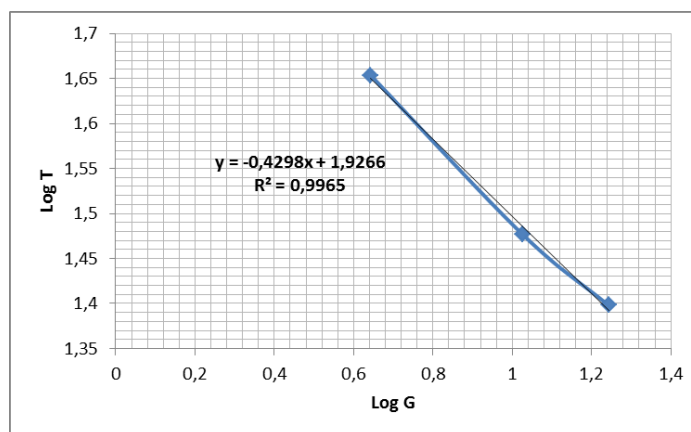
La tabla 20 muestra los valores de gradientes y tiempos óptimos tomados para la construcción de la gráfica 16.

Tabla 20. Datos gradientes y tiempos de retención para Sulfato de Aluminio tipo A

G	T	LOG G	LOG T
4,4	45	0,64345268	1,65321251
10,6	30	1,02530587	1,47712125
17,5	25	1,24303805	1,39794001

FUENTE: Autor

Grafica 16. Valores óptimos de G y T para Sulfato de Aluminio tipo A



FUENTE: Autor

Con los resultados obtenidos finalmente la ecuación de Letterman aplicada al Sulfato de Aluminio tipo A en la calidad de agua promedio de la planta, quedará expresada así:

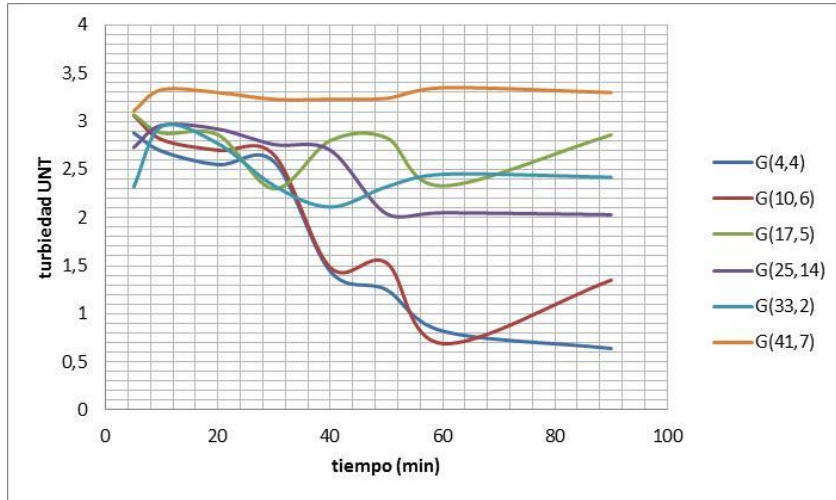
$$G^{0.4298}T=84,4500673$$

Para el sulfato de aluminio la relación óptima entre T y G al igual que para el PAC, se observa mejores valores de turbiedad remanente en gradientes bajos con turbiedades menores a 2 UNT y con una permanencia constante, lo que indica una estabilidad en la formación del floc.

5.3.2.3 CONSTRUCCIÓN DE ECUACIÓN PARA EL SULFATO DE ALUMINIO TIPO B

La gráfica 17 muestra las curvas experimentales para gradientes de mezcla lenta obtenidas en laboratorio, para el sulfato de aluminio tipo B.

Gráfica 17. Relación óptima entre Tiempo y Gradiente para el Sulfato de Aluminio tipo B



FUENTE: Autor

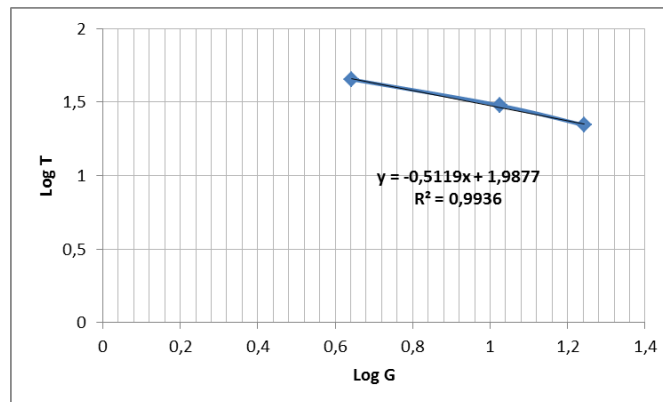
La tabla 21 muestra los valores de gradientes y tiempos óptimos tomados para la construcción de la gráfica 18.

Tabla 21. Datos gradientes y tiempos de retención para Sulfato de Aluminio tipo B

G	T	LOG G	LOG T
4,4	45	0,64345268	1,65321251
10,6	30	1,02530587	1,47712125
17,5	22	1,24303805	1,34242268

FUENTE: Autor

Gráfica 18. Valores óptimos de G y T para el Sulfato de Aluminio tipo B



FUENTE: Autor

Con los resultados obtenidos finalmente la ecuación de Letterman aplicada al Sulfato de Aluminio tipo B en la calidad de agua promedio de la planta, quedará expresada así:

$$G^{0.5119}T=97,20855$$

Para el sulfato de aluminio tipo B la relación óptima entre T y G al igual que para los coagulantes anteriores, se observa mejores valores de turbiedad remanente en gradientes bajos con turbiedades menores a 2 UNT y con una permanencia constante

5.3.3 Gradientes Reales del floculador instalado

El floculador de la planta de tratamiento de agua potable de municipio de Betulia, es un floculador hidráulico de flujo horizontal, dividido en 3 zonas.

Las condiciones hidráulicas iniciales del floculador se indican en las tablas 22 y 23.

Tabla 22. Condiciones hidráulicas iniciales del Floculador

Caudal (l/s)	Tiempo de retención (min)	Volumen(m ³)
5	32	9,5

FUENTE: Autor

Tabla 23. Gradientes en condiciones iniciales de la zona de floculación PTAP-ACUABE

Parámetros y cálculo de gradiente					
DATOS GENERALES	caudal	Q	Medido	0,005	m ³ /s
	Viscosidad cinemática	μ	Asumido	0,000083	Kg.s.m ⁻²
	Densidad del agua	ρ	Asumido	999,68	Kg/m ³
	Coefficiente de Darcy	f	Asumido	0,025	

Parámetros y cálculo de gradiente					
Zona 1	Volumen	V	Medido	2,9	m ³
	Área	A	Medido	18,4	m ²
	Número de canales	m	Medido	18	
	Tiempo de retención	T	$T = \frac{V}{Q}$	580	s
	Gradiente	G	$G = \frac{Q}{A} * \sqrt{\frac{13 + 9f}{18} * \frac{\rho}{\mu} * \frac{m^3}{T}}$	8,2	s ⁻¹
Zona 2	Volumen	V	Medido	3,1	m ³
	Área	A	Medido	17,6	m ²
	Número de canales	m	Medido	17	
	Tiempo de retención	T	$T = \frac{V}{Q}$	620	S
	Gradiente	G	$G = \frac{Q}{A} * \sqrt{\frac{13 + 9f}{18} * \frac{\rho}{\mu} * \frac{m^3}{T}}$	7,52	s ⁻¹
Zona 3	Volumen	V	Medido	3,5	m ³
	Área	A	Medido	20,4	m ²
	Número de canales	m	Medido	20	
	Tiempo de retención	T	$T = \frac{V}{Q}$	700	s
	Gradiente	G	$G = \frac{Q}{A} * \sqrt{\frac{13 + 9f}{18} * \frac{\rho}{\mu} * \frac{m^3}{T}}$	6,65	s ⁻¹

FUENTE: Autor

Con las condiciones hidráulicas iniciales en la unidad de floculación, se calcularon los gradientes y tiempo de retención en cada una de las zonas, presentándose el gradiente más alto en la zona 1 con 8,2 s⁻¹ y un tiempo de retención de ≈9,6 minutos, la zona 2 con un gradiente de 7,52 s⁻¹ y un tiempo de retención de ≈10,3 minutos, y la última zona con el gradiente más bajo de 6,65 s⁻¹ y un tiempo de retención de ≈11,6 minutos. Dando un tiempo total de retención hidráulica en la unidad de floculación de 31,5 minutos. Al comparar estos gradientes con los obtenidos en el laboratorio (ver graficas 15, 17, 19) se pudo determinar que los tiempos de retención en la unidad no son los adecuados para una buena y estable formación del floc, dado que esta formación se genera en tiempos superiores a 40 minutos de retención.

En Planta, en las condiciones iniciales, la formación de floc era de baja a nula, evidenciando la necesidad de aumentar los tiempos de floculación, para mejorar la

formación de floc. El aumento del tiempo de retención, se realizó incrementando el volumen de operación del floculador. Esta operación se logró, con una compuerta de 38 cm al final de la unidad (ver ilustración 5), realizadas estas adaptaciones, nuevamente se calculó los gradientes y tiempos de retención hidráulicos en cada zona. (Ver tabla 24.)

Ilustración 5. Compuerta implementa a la salida del floculador



FUENTE: Autor

Tabla 24. Parámetros y cálculo de gradiente de la zona de floculación de la PTAP-ACUABE

Parámetros y cálculo de gradiente					
DATOS GENERALES	Caudal	Q	Medido	0,006	m ³ /s
	Viscosidad cinemática	μ	Asumido	0,0000083	Kg.s.m ⁻²
	Densidad del agua	ρ	Asumido	999,68	Kg/m ³
	Coefficiente de Darcy	f	Asumido	0,025	
Zona 1	Volumen	V	Medido	5,244	m ³
	Área	A	Medido	18,4	m ²
	Número de canales	m	Medido	18	
	Tiempo de retención	T	$T = \frac{V}{Q}$	874	s
	Gradiente	G	$G = \frac{Q}{A} * \sqrt{\frac{13 + 9f}{18} * \frac{\rho}{\mu} * \frac{m^3}{T}}$	7,92	s ⁻¹

Parámetros y cálculo de gradiente					
Zona 2	Volumen	V	Medido	7,128	m ³
	Área	A	Medido	17,6	m ²
	Número de canales	m	Medido	17	
	Tiempo de retención	T	$T = \frac{V}{Q}$	1188	S
	Gradiente	G	$G = \frac{Q}{A} * \sqrt{\frac{13 + 9f}{18} * \frac{\rho}{\mu} * \frac{m^3}{T}}$	6,52	s ⁻¹
Zona 3	Volumen	V	Medido	10,71	m ³
	Área	A	Medido	20,4	m ²
	Número de canales	m	Medido	20	
	Tiempo de retención	T	$T = \frac{V}{Q}$	1785	s
	Gradiente	G	$G = \frac{Q}{A} * \sqrt{\frac{13 + 9f}{18} * \frac{\rho}{\mu} * \frac{m^3}{T}}$	5	s ⁻¹

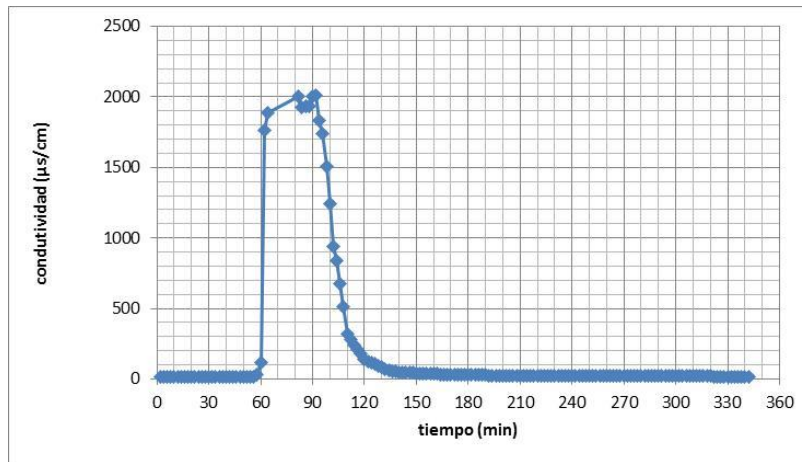
FUENTE: Autor

Las tres zonas del floculador presentan gradientes de velocidad similares, la primera zona presenta el gradiente más alto con 7,92 s⁻¹, con un tiempo de retención de ≈15 minutos, la zona 2 con un gradiente de 6,52 s⁻¹ y un tiempo de retención de ≈20 minutos, y la última zona presento un gradiente de 5 s⁻¹ con un tiempo de retención de 30 minutos. Para un tiempo teórico de retención de toda la unidad de 65 minutos. Estas modificaciones permitieron en planta mejorar la formación y permanencia del floc.

5.3.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA FLOCULACIÓN

A continuación se presentan los resultados de la prueba de trazadores, realizada en el floculador de la planta, por medio de la curva de tendencia y el índice de Morrill se determina el comportamiento hidráulico de floculador de la planta.

Gráfica 19. Gráfica de trazadores del floculador hidráulico de la PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor.

En la gráfica 19 se presentan los resultados de la prueba de trazadores empleada para evaluar el comportamiento hidráulico del floculador, en la cual se puede observar el valor de la conductividad en $\mu\text{s/cm}$ versus el tiempo en minutos.

Tabla 25. Resultado análisis línea de tendencia floculadores PTAP-AUABE

Parámetro	Q(m³/min)	0,3
	V _{floculador} (m ³)	26
	t _i (min)	60
	t _o (min)	86,6
	t _p (min)	82
	t _m (min)	85,93
	t _f (min)	328
Relación	t _p /t _o	0,95
	t _i /t _o	0,69
	t _m /t _o	0,99
	$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$	2,5

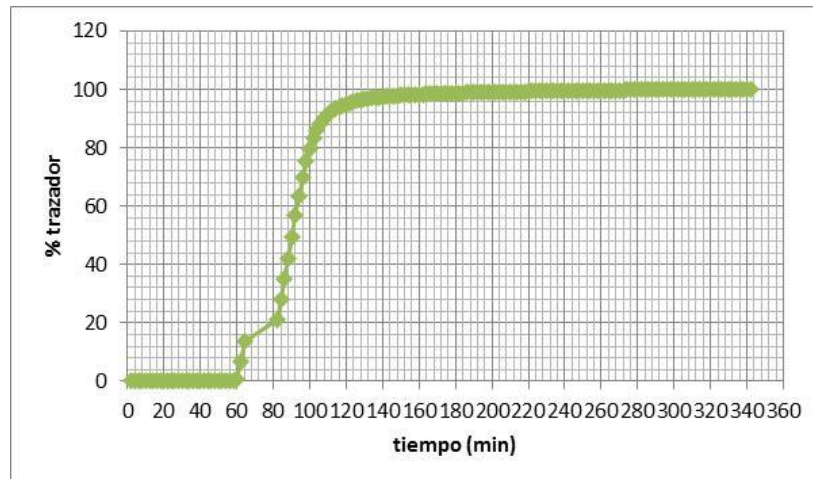
FUENTE: Autor.

En la tabla 25 la relación $t_p/t_o = 0,95$ y $t_i/t_o = 0,69$, indican un predominio de comportamiento de flujo a pistón en el floculador, ya que está establecido que se da este comportamiento, cuando la correlación t_p/t_o tiende a 1 y la correlación $t_i/t_o > 0,5$.

La t_m/t_o es aproximada a 1 unidad permitiendo deducir que la probabilidad de corto circuito en el floculador es prácticamente nula.

5.3.5 ÍNDICE DE MORRILL

Gráfica 20. Índice de Morrill floculador PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor.

Tabla 26. Resultados índice de Morrill Floculador PTAP-ACUABE

Índice de Morrill	1,625
Ecuación	
$IM = \frac{\text{tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{tiempo en que pasa el 10\%}}$	
90%	104 min
10%	64 min

FUENTE: Autor.

La tabla 26, señala los resultados obtenidos del índice de Morrill con un valor de 1,625, cercano a 1, esto denota que el floculador presenta un comportamiento de flujo a pistón. Se comprueba con la gráfica 20 en la que el comportamiento, en la mayoría de esta, es una línea horizontal, lo cual indica que la mayor cantidad del trazador saldrá en un tiempo $t=t_o$.

5.4 FASE 4.

Se construyó un manual de operación para facilitar las labores del operario en la planta de tratamiento de agua potable ACUABE-Betulia, ver (ANEXO F)

6 CONCLUSIONES

- La planta de agua potable del municipio de Betulia registra un caudal de consumo medio para 24 horas de 1,96 l/s, abastecido por tres fuentes hídricas que hacen un aporte mínimo de $\approx 5,6$ l/s, permitiendo inferir que dependiendo de las características físico-químicas de las fuentes y el caudal aportado por cada una de ellas, el operario puede tomar la decisión de que fuentes utilizar para suplir la demanda de la población, no necesariamente se debe trabajar con las tres fuentes.
- Las condiciones de la planta permiten satisfacer la demanda diaria con 13 horas de operación al día, generando un beneficio reflejado en la parte económica para la unidad de servicios públicos del municipio.
- Las dosis óptimas para los tres coagulantes sugeridos, para los ensayos de coagulación fueron, para el PAC 15 un rango de 4-8 ppm, el alumbre tipo A entre 30 a 40 ppm y el alumbre tipo B en un rango de 36-44 ppm, estas dosis se utilizaron en planta generando los resultados esperados.
- Al analizar las condiciones económicas, calidad del agua tratada y facilidad de operación, se sugiere utilizar como coagulante el sulfato de aluminio tipo A.
- La unidad de desinfección cuenta con un tiempo de contacto de 17 minutos, el cual no es suficiente para la destrucción de los microorganismos patógenos presentes en el agua, se sugieren un tiempo de contacto de 30 minutos con dosis de 6 mg/l, que garantiza que el cloro no seguirá reaccionando en las tuberías generando otras especies de cloro diferentes a color residual, garantizando la eficiencia en la desinfección.

- El mecanismo de coagulación mediante vertedero, con el cual cuenta la planta, genera un gradiente de mezcla que se encuentra en el rango sugerido para el mecanismo de coagulación por adsorción- neutralización, y que no interfiere en el mecanismo de barrido mientras las condiciones químicas sean las adecuadas. El tiempo de mezcla generado por el vertedero no es el sugerido para eficiencia de los mecanismos de coagulación.
- En las condiciones en las que se trabajaba la unidad de floculador, no se estaba garantizando la formación de floc, por lo que se realizó una adaptación en la unidad de floculación para obtener el volumen, tiempos de retención y gradientes, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba experimental, se lograron los tres gradientes de operación del floculador siendo el mayor $7,92 \text{ s}^{-1}$, seguido por un gradiente $6,52 \text{ s}^{-1}$ y la última zona presentó un gradiente de 5 s^{-1} con un tiempo de retención de toda la unidad de 65 minutos.
- La unidad de floculación hidráulica, presenta un comportamiento hidráulico con predominio de flujo a pistón, con bajas probabilidades de cortos circuitos en la unidad, con un tiempo de retención teórico ≈ 87 minutos.

7 RECOMENDACIONES

- Se sugiere la capacitación y certificación para operarios de la planta, garantizando de esta manera la eficiencia y calidad de las operaciones realizadas para el tratamiento de agua suministrada por la unidad de servicios públicos, a la población del municipio de Betulia.
- Los chequeos diarios a las características iniciales como caudal, pH, turbiedad, color y temperatura, por parte del operario facilitará la toma de decisiones en cuanto a que fuentes hídricas utilizar para el tratamiento.
- La prueba de jarras, es un procedimiento que debe ser realizado a diario en la planta; al igual que las mediciones en afluente y efluente de parámetro como pH, turbiedad, color, temperatura y cloro residual.
- Se recomienda mantener las adaptaciones realizadas en la zona de floculación, para garantizar gradientes y tiempo de retención, que permitan la adecuada formación de floc en la unidad.
- Se sugiere ampliar el volumen de la unidad de contacto cloro-agua, a 9m^3 , para garantizar un tiempo de contacto cloro-agua de 30 minutos, tiempo para una adecuada desinfección.
- La aplicación del manual, es una herramienta que facilitará la operación y el adecuado funcionamiento de la planta, por parte del operario, que se verá reflejado en la calidad del agua tratada por la planta

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNICEF, “El agua potable.pdf.” [En línea]. Disponible: <http://www.unicef.com.co/situacion-de-la-infancia/el-agua-potable/>. [Fecha de consulta: 12-Nov-2013].
- [2] J. Uribe and S. Bayona, “Informe Epidemiologico de Santander Calidad del Agua en el Departamento de Santander,” 2013. [En línea]. Disponible: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:3q2sXLL7NBgJ:web.saludsantander.gov.co/index.php%3Fopcion%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D483%26Itemid%3D3+&cd=1&hl=es&ct=clnk. [Fecha de consulta: 28-Nov-2013].
- [3] J. Arboleda, *Teoría y práctica de la purificación del agua.*, Tercera ed. Bogotá D.C: McGraw-Hill,, 2000, p. 37,38,40,43,46,47,54,72,90,97,118,121,127,134.
- [4] Y. Cardenas, “Tratamiento de agua: Coagulación y floculación,” 2000. [en línea].Disponible:[http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n y Floculaci%C3%B3n del Agua Potable.pdf](http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf). [Fecha de consulta: 18-Jan-2014].
- [5] J. Perez, “Estado del arte- coagulación. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias ambientales (CEPI),” 2000. [En línea].Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/007926/07926-09.pdf>. [Fecha de consulta: 15-Jan-2014].
- [6] N. Gray, *calidad del agua potable. Problemas y soluciones*. ACRIBIA, 1997, p. 60,71,110.
- [7] J. Romero, *Calidad del Agua.*, Primera ed. Bogotá D.C: Escuela colombiana de ingenieria, 2002.
- [8] C. Kirchemer and J. Perez, “Coagulacion. Programa Regional de mejoramiento de la calidad del Agua para Consumo Humano.,” 1992. [En línea]. Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011991-5.pdf>. [Fecha de consulta: 02-Feb-2014].
- [9] W. WEBER, *Control de la calidad del agua: Procesos químicos*. 2003.
- [10] J. Perez, “Manual de tratamiento de aguas,” 1981. [En línea].Disponible: http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45_-_1_Prel_1.pdf. [Fecha de consulta: 18-Jan-2014].

- [11] L. Vargas, V. Maldonado, A. Barrenechea, and M. Aurazo, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Tomo I.* lima: CEPIS, 2004, pp. 165–177, 183–190,197–198,227–228,282–286.
- [12] H. Aziz, M. Salia, F. Nordin, and Zahari Shahrir, “Colour removal form landfill leachate by coagulation and flocculation processes.,” *Univ. sains Malaysia. Bioresour. Technol. Sci. direct*, 2005.
- [13] A. Londoño, “Línea de profundización ambiental – I.Universidad Nacional de Colombia.” [En línea]. Disponible: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_4+.pdf. [Fecha de consulta: 02-Feb-2014].
- [14] A. Matilainen, “Removal of the natural Organic Matter in the different Stages of the Drinking water treatmen process.,” *Univ. Technol. tampere.*, vol. 651., 2007.
- [15] M. Letterman, *Influence of rapid-mix parameters on flocculation.Proceedings of the AWWA Seminar of Upgrading Existing WaterTreatment Plants, 1974.*1974.
- [16] F. R. SPELLMAN and J. DRINAN, *Manual de Agua Potable.* 2000.
- [17] “Floculación.” [En línea]. Disponible: http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing_sanitaria/ENOHsa_Floculacion.pdf. [Fecha de consulta: 02-Feb-2014].
- [18] “Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención, Capítulo 2,” 1992. [En línea]. Disponible: <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/capitulo2.pdf>.
- [19] A. Pérez and P. Torres, “Evaluación del comportamiento hidrodinámico como herramienta para optimización de reactores anaerobios de crecimiento en medio fijo,” pp. 27–40, 2007.
- [20] H. C.N., *Disinfetion. In : AWWA. Water quality and treatmen; A handbook of community water supplies.*, 4th ed., vol. 1. MacGraw Hill, p. vol 1,cap 4.
- [21] T. Matsunaga and M. Okochi, “Environ,” *Sci. Technol.*, 29, p. 501, 1995.
- [22] L. Huisman, J. Azevedo, J. . Lanoix, and ebbo hofkes, *Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades: tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo.* lima: CEPIS, 1998, pp. 255–259.

- [23] T. Alvarado and D. Porras, "Plan de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV Betulia Santander." 2008.
- [24] "Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000. BOGOTA D.C., NOVIEMBRE." [Enlinea]. Disponible: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf . [Fecha de consulta: 07-May-2014].
- [25] "Ministerio de la protección social ,ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial resolución número 2115 22 jun 2007," 2007. [Enlinea]. Disponible: http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_2115_220707.pdf. [Fecha de consulta: 07-May-2014].

ANEXOS

ANEXO A.
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COAGULANTES USADOS EN LAS
PRUEBAS DE JARRAS**

Policloruro de Aluminio 15, PAC15
Ficha Técnica del Producto
Propiedades Químicas (AWWA B408-03)

Fórmula Química	$[Al(OH)_m Cl_{3-m}]_n$
Densidad a 25 °C, g/ml	1.28 ± 0.02
pH a 25 °C	2.5 ± 0.3
% Al ₂ O ₃	15 ± 1.0
Relación de Basicidad	70% min.

*Vida útil posterior a su fabricación: 3 meses

Indicaciones

El policloruro de aluminio 15 (PAC15) es una sal de alta basicidad con base en anión cloruro. Presenta especies polinucleares del metal convirtiéndolo en un coagulante de alto desempeño, con excelentes propiedades para el tratamiento de aguas con dificultades especiales y generando bajo volumen de lodos, pues trabaja bien con poco suministro de alúmina.

Condiciones de Manejo

El producto debe ser almacenado en tanques de fibra de vidrio, polietileno o acero recubierto en caucho y conducido empleando fibra de vidrio, PVC o cualquier otro material termoplástico. También es compatible con EPDM, Caucho Natural y Vitón. El producto no debe estar en contacto con hierro, acero al carbón, acero inoxidable y bronce.

Es deseable que el Policloruro de Aluminio Líquido sea dosificado tal como se recibe del proveedor.

Para la dosificación exacta y uniforme, debe ser usada una bomba de desplazamiento positivo. El producto no se deteriora con el tiempo mientras sea manejado bajo las condiciones explicadas. Su vida útil es de 3 meses.

Precauciones y Seguridad

El producto no presenta alto riesgo en su manejo pero, por ser una sal ácida debe tratarse con cuidado. Evite el contacto con metales que puedan sufrir corrosión tales como hierro, cobre, bronce, aluminio y acero inoxidable. Se recomienda el uso de guantes y gafas protectoras.

En los ojos y mucosas causa irritación; en caso de contacto debe enjuagarse con agua abundante.

El producto no emite gases y por lo tanto no causa efectos nocivos al ser inhalado.


Oficina Principal y Producción

Medellín: Calle 55 No 46-85 Itagüí, Antioquia; Tel: (574)370 1170; Fax: (574)277 5676; sulfosa@sulfoquimica.com

Producción

- Barbosa: Vía Girardota - El Hatillo km. 4 (Vereda Platanito), Barbosa, Antioquia. Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234; sgbarbosa@sulfoquimica.com
- Barranquilla: Vía Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico. Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353; sgbarranquilla@sulfoquimica.com
- Caloto: Vía Caloto - Santander de Quilichao, km. 7, Caloto, Cauca. Tel (572)550 4344; Fax: (572)550 4343; sgcaloto@sulfoquimica.com

Sulfato de Aluminio Tipo A libre de hierro Sólido
Ficha Técnica del Producto

Propiedades Químicas (NTC 531 5ª Revisión)

Parámetro	Libre de Hierro	Libre de Hierro Impalpable
Fórmula Química	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O$	
Alúmina	17.00% Al_2O_3 mín.	
Hierro	0.008% Fe_2O_3 máx.	
Insolubles	0.1% máx.	
Basicidad	0.05% Al_2O_3 mín.	
Granulometría (US Std.)		
Pasa 4	100%	NA
Pasa 10	90% mín.	NA
Pasa 100	10% máx.	90% mín.

*Vida útil posterior a su fabricación: 6 - 12 meses

1 Este producto satisface las condiciones del sulfato de aluminio grado papel.

Condiciones de Manejo

El producto, empaçado en sacos de polipropileno de 25kg y 50kg para los productos grado B), debe ser almacenado en un área seca, protegido de la intemperie.

Por ser moderadamente higroscópico, el Sulfato de Aluminio Tipo A Libre de Hierro Sólido debe ser protegido de la humedad mientras se está utilizando con el fin de evitar empastamientos que dificultan su manejo.

El producto no se deteriora con el tiempo mientras sea manejado bajo las condiciones explicadas.

Precauciones y Seguridad

El producto no presenta alto riesgo en su manejo pero, por ser una sal ácida debe tratarse con cuidado. Se recomienda el uso de guantes, gafas protectoras y mascarillas para evitar inhalar el material fino.

En los ojos y mucosas causa irritación; en caso de contacto debe enjuagarse con agua abundante.



Oficina Principal y Producción

Medellín: Calle 55 No 46-85 Itagüí, Antioquia; Tel: (574)370 1170; Fax: (574)277 5676; sulfosa@sulfoquimica.com

Producción

• Barbosa: Via Girardota - El Hatillo km. 4 (Vereda Platanillo), Barbosa, Antioquia. Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234; sobarbosa@sulfoquimica.com

• Barranquilla: Via Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico. Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353;

sobaranquilla@sulfoquimica.com

• Caloto: Via Caloto - Santander de Quilichao, km. 7, Caloto, Cauca. Tel (572)550 4344; Fax: (572)550 4343;

socaloto@sulfoquimica.com

Sulfato de Aluminio B Sólido

Ficha Técnica del Producto

Propiedades Químicas (NTC 531 5ª Revisión)

Parámetro	Grado B
Fórmula Química	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O$
Alúmina	15.5% Al_2O_3 mín.
Hierro	1.75% Fe_2O_3 máx.
Insolubles	7.0% máx
Basicidad	2% Al_2O_3 mín.
Granulometría (US Std.)	
Pasa 4	100%
Pasa 10	90% mín
Pasa 100	10% máx

*Vida útil posterior a su fabricación: 6 - 12 meses

Condiciones de Manejo

El producto, empaçado en sacos de polipropileno de 25kg y 50kg para los productos grado B), debe ser almacenado en un área seca, protegido de la intemperie.

Por ser moderadamente higroscópico, el Sulfato de Aluminio Sólido debe ser protegido de la humedad mientras se está utilizando con el fin de evitar empastamientos que dificultan su manejo.

El producto no se deteriora con el tiempo mientras sea manejado bajo las condiciones explicadas.

Precauciones y Seguridad

El producto no presenta alto riesgo en su manejo pero, por ser una sal ácida debe tratarse con cuidado. Se recomienda el uso de guantes, gafas protectoras y mascarillas para evitar inhalar el material fino.

En los ojos y mucosas causa irritación; en caso de contacto debe enjuagarse con agua abundante.



Oficina Principal y Producción

Medellín: Calle 55 No 46-85 Itagüí, Antioquia; Tel: (574)370 1170; Fax: (574)277 5676; sulfosa@sulfoquimica.com

Producción

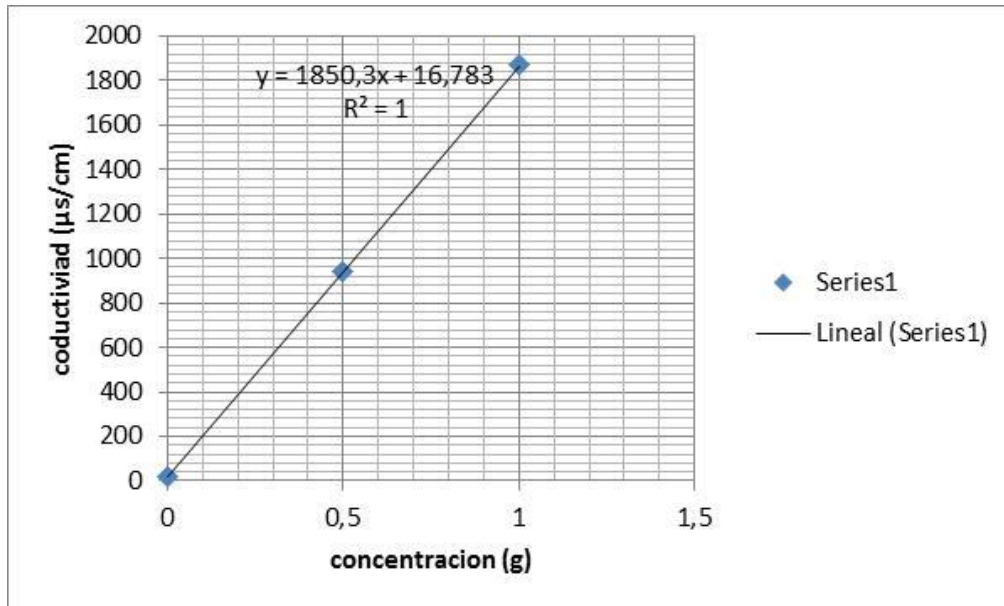
- Barbosa: Vía Girardota - El Haullo km. 4 (Vereda Platanito), Barbosa, Antioquia. Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234; sgbarbosa@sulfoquimica.com
- Barranquilla: Vía Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico. Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353;

ANEXO B
CÁLCULO DE LA CANTIDAD A ADICIONA Y DATOS DEL TRAZADOR

Dosis NaCl Vs Conductividad

Dosis NaCl (g)	Conductividad (µs/cm)
0	18,74
0,5	938
1	1869

FUENTE: Autor



Parámetros iniciales en el floculador	
Q(m ³ /min)	0,3
V _{floculador} (m ³)	26
Calculo cantidad de trazador	
y = 1859,3x + 16,7883	
Dónde :	
Y: conductividad	
X= cantidad de trazador en gramo	
Y= 500 µs/cm (valor de conductividad al que se desea llegar)	
Despejamos X (cantidad necesaria de trazador)	
$x = \frac{500 - 16,7883}{1859,3}$	
$x = 0,25g$	
multiplicamos por el volumen de floculador	
cantidad trazador = 0,25g * 26m = 6,5 kg	

FUENTE: Autor

t	c	c-c0	umatori(c-c0)	t/to	ft	1-ft
2	18,29	0	0	0,01666667	0	100
4	18,49	0,2	0,2	0,03333333	0,00073589	99,9992641
6	18,6	0,31	0,51	0,05	0,00187651	99,9981235
8	18,64	0,35	0,86	0,06666667	0,00316431	99,9968357
10	18,68	0,39	1,25	0,08333333	0,00459929	99,9954007
12	18,63	0,34	1,59	0,1	0,0058503	99,9941497
14	18,61	0,32	1,91	0,11666667	0,00702771	99,9929723
16	18,63	0,34	2,25	0,13333333	0,00827872	99,9917213
18	18,65	0,36	2,61	0,15	0,00960332	99,9903967
20	18,63	0,34	2,95	0,16666667	0,01085432	99,9891457
22	18,63	0,34	3,29	0,18333333	0,01210533	99,9878947
24	18,62	0,33	3,62	0,2	0,01331954	99,9866805
26	18,62	0,33	3,95	0,21666667	0,01453376	99,9854662
28	18,64	0,35	4,3	0,23333333	0,01582156	99,9841784
30	18,65	0,36	4,66	0,25	0,01714615	99,9828538
32	18,65	0,36	5,02	0,26666667	0,01847075	99,9815293
34	18,65	0,36	5,38	0,28333333	0,01979534	99,9802047
36	18,65	0,36	5,74	0,3	0,02111994	99,9788801
38	18,64	0,35	6,09	0,31666667	0,02240774	99,9775923
40	18,64	0,35	6,44	0,33333333	0,02369554	99,9763045
42	18,65	0,36	6,8	0,35	0,02502014	99,9749799
44	18,58	0,29	7,09	0,36666667	0,02608717	99,9739128
46	18,58	0,29	7,38	0,38333333	0,02715421	99,9728458
48	18,68	0,39	7,77	0,4	0,02858918	99,9714108
50	18,59	0,3	8,07	0,41666667	0,02969301	99,970307
52	18,59	0,3	8,37	0,43333333	0,03079684	99,9692032
54	18,63	0,34	8,71	0,45	0,03204785	99,9679521
56	18,63	0,34	9,05	0,46666667	0,03329886	99,9667011
58	31,03	12,74	21,79	0,48333333	0,08017482	99,9198252
60	120	101,71	123,5	0,5	0,45440982	99,5455902
62	1760	1741,71	1865,21	0,51666667	6,86291284	93,1370872
64	1883	1864,71	3729,92	0,53333333	13,723986	86,276014
82	2005	1986,71	5716,63	0,68333333	21,0339497	78,9660503
84	1923	1904,71	7621,34	0,7	28,0422001	71,9577999
86	1936	1917,71	9539,05	0,71666667	35,0982831	64,9017169
88	1936	1917,71	11456,76	0,73333333	42,1543661	57,8456339
90	2005	1986,71	13443,47	0,75	49,4643299	50,5356701
92	2012	1993,71	15437,18	0,76666667	56,8000497	43,1999503
94	1832	1813,71	17250,89	0,78333333	63,4734718	36,5265282
96	1737	1718,71	18969,6	0,8	69,7973479	30,2026521
98	1503	1484,71	20454,31	0,81666667	75,260237	24,739763
100	1240	1221,71	21676,02	0,83333333	79,7554355	20,2445645
102	941	922,71	22598,73	0,85	83,150484	16,849516
104	840	821,71	23420,44	0,86666667	86,1739098	13,8260902
106	678	659,71	24080,15	0,88333333	88,6012677	11,3987323
108	514	495,71	24575,86	0,9	90,4251988	9,57480119
110	315	296,71	24872,57	0,91666667	91,516923	8,48307701

t	c	c-c0	umatori(c-c0	t/to	ft	1-ft
112	280	261,71	25134,28	0,93333333	92,4798671	7,52013293
114	244	225,71	25359,99	0,95	93,3103516	6,6896484
116	208	189,71	25549,7	0,96666667	94,0083766	5,99162341
118	180,1	161,81	25711,51	0,98333333	94,6037454	5,39625456
120	140,3	122,01	25833,52	1	95,0526729	4,9473271
122	127,5	109,21	25942,73	1,01666667	95,4545036	4,54549636
124	117,6	99,31	26042,04	1,03333333	95,819908	4,18009199
126	107,8	89,51	26131,55	1,05	96,1492539	3,85074606
128	96,5	78,21	26209,76	1,06666667	96,4370223	3,56297771
130	86,3	68,01	26277,77	1,08333333	96,6872604	3,31273955
132	72,8	54,51	26332,28	1,1	96,8878263	3,11217373
134	62,3	44,01	26376,29	1,11666667	97,0497581	2,95024194
136	57,2	38,91	26415,2	1,13333333	97,1929247	2,80707525
138	53,2	34,91	26450,11	1,15	97,3213737	2,67862629
140	50,2	31,91	26482,02	1,16666667	97,4387844	2,56121563
142	50,2	31,91	26513,93	1,18333333	97,556195	2,44380496
144	47,8	29,51	26543,44	1,2	97,6647751	2,33522493
146	46,2	27,91	26571,35	1,21666667	97,767468	2,23253199
148	43,8	25,51	26596,86	1,23333333	97,8613303	2,13866969
150	42,1	23,81	26620,67	1,25	97,9489376	2,05106242
152	40,4	22,11	26642,78	1,26666667	98,0302898	1,96971018
154	39,1	20,81	26663,59	1,28333333	98,1068588	1,89314121
156	38,6	20,31	26683,9	1,3	98,1815881	1,81841195
158	37,4	19,11	26703,01	1,31666667	98,251902	1,74809801
160	36,4	18,11	26721,12	1,33333333	98,3185365	1,6814635
162	35,7	17,41	26738,53	1,35	98,3825954	1,6174046
164	32,6	14,31	26752,84	1,36666667	98,4352481	1,56475193
166	32,2	13,91	26766,75	1,38333333	98,486429	1,51357103
168	31,4	13,11	26779,86	1,4	98,5346663	1,46533368
170	30,9	12,61	26792,47	1,41666667	98,581064	1,41893605
172	30,5	12,21	26804,68	1,43333333	98,6259898	1,37401019
174	30,2	11,91	26816,59	1,45	98,6698118	1,33018816
176	29,7	11,41	26828	1,46666667	98,7117942	1,28820584
178	29,3	11,01	26839,01	1,48333333	98,7523047	1,2476953
180	29	10,71	26849,72	1,5	98,7917114	1,20828858
182	28,3	10,01	26859,73	1,51666667	98,8285425	1,17145747
184	28,1	9,81	26869,54	1,53333333	98,8646378	1,13536225
186	27,6	9,31	26878,85	1,55	98,8988933	1,10110674
188	27,2	8,91	26887,76	1,56666667	98,931677	1,068323
190	27,2	8,91	26896,67	1,58333333	98,9644607	1,03553926
192	26,6	8,31	26904,98	1,6	98,9950368	1,00496319
194	26,2	7,91	26912,89	1,61666667	99,0241411	0,97585888
196	26,1	7,81	26920,7	1,63333333	99,0528775	0,94712252
198	25,9	7,61	26928,31	1,65	99,080878	0,91912204
200	25,6	7,31	26935,62	1,66666667	99,1077746	0,8922254
202	25,3	7,01	26942,63	1,68333333	99,1335674	0,86643258
204	25,2	6,91	26949,54	1,7	99,1589923	0,84100771

t	c	c-c0	umatori(c-c0	t/to	ft	1-ft
206	25	6,71	26956,25	1,71666667	99,1836813	0,81631872
208	24,8	6,51	26962,76	1,73333333	99,2076344	0,79236562
210	24,8	6,51	26969,27	1,75	99,2315875	0,76841252
212	24,5	6,21	26975,48	1,76666667	99,2544368	0,74556325
214	24,4	6,11	26981,59	1,78333333	99,2769181	0,72308192
216	24,3	6,01	26987,6	1,8	99,2990315	0,70096854
218	24,1	5,81	26993,41	1,81666667	99,320409	0,67959104
220	24,1	5,81	26999,22	1,83333333	99,3417865	0,65821354
222	24,1	5,81	27005,03	1,85	99,363164	0,63683604
224	24	5,71	27010,74	1,86666667	99,3841735	0,61582649
226	23,9	5,61	27016,35	1,88333333	99,4048151	0,59518487
228	23,8	5,51	27021,86	1,9	99,4250888	0,57491121
230	23,7	5,41	27027,27	1,91666667	99,4449945	0,55500548
232	23,8	5,51	27032,78	1,93333333	99,4652682	0,53473181
234	23,6	5,31	27038,09	1,95	99,484806	0,51519403
236	23,5	5,21	27043,3	1,96666667	99,5039758	0,49602419
238	23,5	5,21	27048,51	1,98333333	99,5231456	0,47685435
240	23,4	5,11	27053,62	2	99,5419475	0,45805245
242	23,4	5,11	27058,73	2,01666667	99,5607494	0,43925056
244	23,3	5,01	27063,74	2,03333333	99,5791834	0,42081661
246	23,2	4,91	27068,65	2,05	99,5972494	0,4027506
248	23,2	4,91	27073,56	2,06666667	99,6153154	0,38468459
250	23,1	4,81	27078,37	2,08333333	99,6330135	0,36698652
252	23,1	4,81	27083,18	2,1	99,6507115	0,34928845
254	22,8	4,51	27087,69	2,11666667	99,6673058	0,33269422
256	22,6	4,31	27092	2,13333333	99,6831641	0,31683587
258	22,7	4,41	27096,41	2,15	99,6993904	0,30060957
260	22,5	4,21	27100,62	2,16666667	99,7148808	0,28511916
262	22,3	4,01	27104,63	2,18333333	99,7296354	0,27036464
264	22,2	3,91	27108,54	2,2	99,7440219	0,25597806
266	22,05	3,76	27112,3	2,21666667	99,7578566	0,2421434
268	22,08	3,79	27116,09	2,23333333	99,7718016	0,22819836
270	21,9	3,61	27119,7	2,25	99,7850844	0,21491561
272	21,9	3,61	27123,31	2,26666667	99,7983671	0,20163286
274	21,6	3,31	27126,62	2,28333333	99,8105461	0,18945394
276	21,5	3,21	27129,83	2,3	99,822357	0,17764296
278	21,4	3,11	27132,94	2,31666667	99,8338001	0,16619993
280	21,3	3,01	27135,95	2,33333333	99,8448752	0,15512484
282	21,1	2,81	27138,76	2,35	99,8552144	0,14478564
284	21,08	2,79	27141,55	2,36666667	99,86548	0,13452002
286	21,06	2,77	27144,32	2,38333333	99,875672	0,124328
288	21	2,71	27147,03	2,4	99,8856433	0,11435674
290	20,8	2,51	27149,54	2,41666667	99,8948786	0,10512136
292	20,7	2,41	27151,95	2,43333333	99,9037461	0,09625393
294	20,4	2,11	27154,06	2,45	99,9115097	0,08849033
296	20,3	2,01	27156,07	2,46666667	99,9189053	0,08109468
298	20,2	1,91	27157,98	2,48333333	99,925933	0,07406696

t	c	c-c0	umatori(c-c0	t/to	ft	1-ft
300	20,1	1,81	27159,79	2,5	99,9325928	0,06740719
302	19,9	1,61	27161,4	2,51666667	99,9385167	0,0614833
304	19,99	1,7	27163,1	2,53333333	99,9447717	0,05522827
306	19,98	1,69	27164,79	2,55	99,95099	0,04901003
308	19,88	1,59	27166,38	2,56666667	99,9568403	0,04315973
310	19,7	1,41	27167,79	2,58333333	99,9620283	0,03797174
312	19,65	1,36	27169,15	2,6	99,9670323	0,03296771
314	19,63	1,34	27170,49	2,61666667	99,9719627	0,02803727
316	19,61	1,32	27171,81	2,63333333	99,9768196	0,02318042
318	19,6	1,31	27173,12	2,65	99,9816396	0,01836036
320	19,49	1,2	27174,32	2,66666667	99,986055	0,01394505
322	19,29	1	27175,32	2,68333333	99,9897344	0,01026561
324	18,59	0,3	27175,62	2,7	99,9908382	0,00916178
326	18,59	0,3	27175,92	2,71666667	99,991942	0,00805796
328	18,6	0,31	27176,23	2,73333333	99,9930827	0,00691733
330	18,64	0,35	27176,58	2,75	99,9943705	0,00562953
332	18,65	0,36	27176,94	2,76666667	99,9956951	0,00430494
334	18,61	0,32	27177,26	2,78333333	99,9968725	0,00312752
336	18,62	0,33	27177,59	2,8	99,9980867	0,0019133
338	18,6	0,31	27177,9	2,81666667	99,9992273	0,00077268
340	18,49	0,2	27178,1	2,83333333	99,9999632	3,6794E-05
342	18,3	0,01	27178,11	2,85	100	0

ANEXO C.

MONITOREO CONSUMO TANQUES DE ALMACENAMIENTO

LUNES 27 DE ENERO DE 2014				MARTES 28 DE ENERO DE 2014				MIÉRCOLES 29 DE ENERO DE 2014			
horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)	horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)	horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)
12-1 AM	0,000	0	0	12-1 AM	0,000	0	0	12-1 AM	0,000	0	0
1-2 AM	0,000	0	0	1-2 AM	0,000	0	0	1-2 AM	0,000	0	0
2-3 AM	0,000	0	0	2-3 AM	0,000	1	0	2-3 AM	0,000	0	0
3-4 AM	0,278	1	1	3-4 AM	0,278	1	1	3-4 AM	0,278	1	1
4-5 AM	0,278	1	2	4-5 AM	0,278	1	2	4-5 AM	0,278	1	2
5-6 AM	0,556	2	4	5-6 AM	0,556	2	4	5-6 AM	0,833	3	5
6-7 AM	3,611	13	17	6-7 AM	1,667	6	10	6-7 AM	3,056	11	16
7-8 AM	4,167	15	32	7-8 AM	2,778	10	20	7-8 AM	3,889	14	30
8-9 AM	5,000	18	50	8-9 AM	6,389	23	43	8-9 AM	2,778	10	40
9-10 AM	4,167	15	65	9-10 AM	3,333	12	55	9-10 AM	2,500	9	49
10-11 AM	3,333	12	77	10-11 AM	3,611	13	68	10-11 AM	3,056	11	60
11-12M	3,611	13	90	11-12M	2,500	9	77	11-12M	2,778	10	70
12-1 PM	1,944	7	97	12-1 PM	2,222	8	85	12-1 PM	2,500	9	79
1-2 PM	2,500	9	106	1-2 PM	3,611	13	98	1-2 PM	3,333	12	91
2-3 PM	2,500	9	115	2-3 PM	2,500	9	107	2-3 PM	1,944	7	98
3-4 PM	2,500	9	124	3-4 PM	1,667	6	113	3-4 PM	1,111	4	102
4-5 PM	1,944	7	131	4-5 PM	2,222	8	121	4-5 PM	1,111	4	106
5-6 PM	1,667	6	137	5-6 PM	2,222	8	129	5-6 PM	1,667	6	112
6-7 PM	1,389	5	142	6-7 PM	1,944	7	136	6-7 PM	1,389	5	117
7-8 PM	1,111	4	146	7-8 PM	1,111	4	140	7-8 PM	1,111	4	121
8-9 PM	0,556	2	148	8-9 PM	1,389	5	145	8-9 PM	0,833	3	124
9-10 PM	0,556	2	150	9-10 PM	1,111	4	149	9-10 PM	0,278	1	125
10-11 PM	0,278	1	151	10-11 PM	0,556	2	151	10-11 PM	0,000	0	125
11-12 M		0	151	11-12 M	0,000	0	151	11-12 M	0,278	1	126

JUEVES 30 DE ENERO DE 2014				VIERNES 31 DE ENERO DE 2014				SABADO 1 DE FEBRERO DE 2014			
horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)	horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)	horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)
12-1 AM	0,000	2	0	12-1 AM	0,000	0	0	12-1 AM	0,000	0	0
1-2 AM	0,000	1	0	1-2 AM	0,000	0	0	1-2 AM	0,000	0	0
2-3 AM	0,000	0	0	2-3 AM	0,000	2	2	2-3 AM	0,000	0	0
3-4 AM	0,000	0	1	3-4 AM	0,556	2	4	3-4 AM	0,556	2	2
4-5 AM	0,556	2	2	4-5 AM	0,278	1	5	4-5 AM	0,556	2	4
5-6 AM	0,833	3	5	5-6 AM	0,278	1	6	5-6 AM	0,556	2	6
6-7 AM	0,833	3	8	6-7 AM	4,167	15	21	6-7 AM	2,500	9	15
7-8 AM	3,056	11	19	7-8 AM	3,611	13	34	7-8 AM	3,333	12	27
8-9 AM	2,778	10	29	8-9 AM	5,000	18	52	8-9 AM	4,444	16	43
9-10 AM	4,444	16	45	9-10 AM	3,333	12	64	9-10 AM	4,167	15	58
10-11 AM	3,333	12	57	10-11 AM	3,611	13	77	10-11 AM	3,889	14	72
11-12M	3,056	11	68	11-12M	3,889	14	91	11-12M	4,167	15	87
12-1 PM	2,222	8	76	12-1 PM	3,056	11	102	12-1 PM	3,056	11	98
1-2 PM	2,222	8	84	1-2 PM	2,778	10	112	1-2 PM	2,778	10	108
2-3 PM	3,333	12	96	2-3 PM	1,944	7	119	2-3 PM	2,778	10	118
3-4 PM	2,222	8	104	3-4 PM	2,500	9	128	3-4 PM	0,833	3	121
4-5 PM	1,667	6	110	4-5 PM	2,222	8	136	4-5 PM	1,111	4	125
5-6 PM	1,944	7	117	5-6 PM	2,222	8	144	5-6 PM	1,389	5	130
6-7 PM	1,667	6	123	6-7 PM	1,944	7	151	6-7 PM	2,500	9	139
7-8 PM	1,389	5	128	7-8 PM	1,389	5	156	7-8 PM	1,944	7	146
8-9 PM	1,111	4	132	8-9 PM	0,833	3	159	8-9 PM	0,833	3	149
9-10 PM	0,833	3	135	9-10 PM	0,833	3	162	9-10 PM	0,278	1	150
10-11 PM	0,556	2	137	10-11 PM	0,278	1	163	10-11 PM	0,000	0	150
11-12 M	0,000	0	137	11-12 M	0,000	0	163	11-12 M	0,000	0	150

DOMINGO 2 DE FEBREO DE 2014			
horas	consumo	volumen (m3)	vol. Acumulado (m3)
12-1 AM	0,000	0	0
1-2 AM	0,000	0	0
2-3 AM	0,000	2	2
3-4 AM	0,556	2	4
4-5 AM	0,278	1	5
5-6 AM	0,278	1	6
6-7 AM	3,889	14	20
7-8 AM	3,611	13	33
8-9 AM	4,722	17	50
9-10 AM	3,333	12	62
10-11 AM	3,611	13	75
11-12M	3,889	14	89
12-1 PM	2,500	9	98
1-2 PM	2,778	10	108
2-3 PM	1,667	6	114
3-4 PM	2,500	9	123
4-5 PM	2,222	8	131
5-6 PM	1,389	5	136
6-7 PM	1,944	7	143
7-8 PM	1,389	5	148
8-9 PM	1,111	4	152
9-10 PM	0,833	3	155
10-11 PM	0,278	1	156
11-12 M	0,000	0	156

ANEXO D
REPORTE ANÁLISIS CALIDAD DE AGUA



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NIT. 804.016.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 11 de junio de 2013		No. 042290
Solicitante: ALCALDÍA MUNICIPAL DE BETULIA (UNIDAD ADMINISTRADORA ACUABLE)	Tipo de muestra: Agua	
Dirección: CRA 5 No. 5 35	Identificación: TUBO DE DISTRIBUCION PRIMARIO	
Teléfono: //	Descripción: Agua Tratada	
Lugar de muestreo: CALLE 13 CARRERA 8 ESQUINA	Responsable de muestreo: SOLICITANTE	
Fecha de muestreo: 4 de junio de 2013	Procedimiento de muestreo: SOLICITANTE	
Fecha de recepción: 4 de junio de 2013	Tamaño de la muestra: 1000 ml	
Fecha de análisis: 4 al 8 de junio de 2013	Envase o empaque: Plástico	
Análisis solicitado: Físicoquímico	Lote: N.A.	
Condiciones de la muestra: Refrigeradas	Tipo de muestreo: Puntual	



ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES	VALORES DE REFERENCIA
pH (25 °C)	St. Mth. 4500 H+ B	5,68	Unid. pH	6,5 - 9,0
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	St. Mth. 2510 B	70	µs/cm	Hasta 1000
COLOR APARENTE	HACH 120	5	Unid Pt - Co	Máx. 15
TURBIDEZ	St. Mth. 2130 B	0,24	NTU	Máx. 2
COLOR RESIDUAL	St. Mth. 4500 Cl G	N.D.	mg Cl ₂ /L	0,3 - 2,0
ALCALINIDAD TOTAL	St. Mth. 2320 B	7,0	mg CaCO ₃ /L	Máx. 200
DUREZA TOTAL	St. Mth. 2340 C	3,0	mg CaCO ₃ /L	Máx. 300
DUREZA CÁLCICA	St. Mth. 3500 Ca D	2,0	mg CaCO ₃ /L	—
DUREZA MAGNÉSICA	St. Mth. 3500 Mg E	1,0	mg CaCO ₃ /L	—
CLORUROS	St. Mth. 4500-Cl-B	8,2	mg Cl/L	Máx. 250
CALCIO	St. Mth. 3500 Ca D	0,8	mg Ca/L	Máx. 60
SULFATOS	St. Mth. 4500 SO ₄ E	23,5	mg SO ₄ /L	Máx. 250
HIERRO TOTAL	St. Mth. 3500 Fe D	0,16	mg Fe/L	Máx. 0,3
ALUMINIO	St. Mth. 3500 Al D	1,84	mg Al/L	Máx. 0,2
NITRATOS	RODIER	< 0,3	mg NO ₃ - N/L	Máx. 10
NITRITOS	St. Mth. 4500 NO ₂ B	< 0,02	mg NO ₂ - N/L	Máx. 0,1
FOSFATOS	St. Mth. 4500 P BE	0,03	mg PO ₄ /L	Máx. 0,5

N.D. No Detectable

St Mth: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AWWA, WEF, APHA 22th.

OBSERVACIONES: Las variables pH, Cloro residual y aluminio se encuentran fuera de los valores aceptables de acuerdo a lo establecido por la resolución 2115/07 para la calidad del agua de consumo humano

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA

Elaboró	SERGIO ALEXANDER ROJAS S DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA ING. BIOTECNOLÓGICO	Revisó:	JHON ALEXANDER ARDILA A. COORDINADOR FÍSICOQUÍMICO QUÍMICO. PQ 4330
---------	---	---------	--

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	22/05/2009	Página	1 de 1
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------



SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE
NIT. 804.016.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 06 de Junio de 2013	No. 042291
Solicitante: ALCALDIA MUNICIPAL DE BETULIA (UNIDAD ADMINISTRADORA ACUABLE)	Tipo de muestra: Agua
Dirección: CRA 5 No. 5 35	Identificación: TUBO DE DISTRIBUCION PRIMARIO
Teléfono: //	Descripción: Tratada
Lugar de muestreo: Calle 13 con Carrera 8 Esquina	Responsable de muestreo: SOLICITANTE
Fecha de muestreo: 4 de junio de 2013	Procedimiento de muestreo: SOLICITANTE
Fecha de recepción: 4 de junio de 2013	Tamaño de la muestra: 600 ml
Fecha de análisis: 4 - 5 de junio de 2013	Envase o empaque: Vidrio
Análisis solicitado: Microbiológico	Lote://
Condiciones de la muestra: Adecuadas	

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
RECUESTO TOTAL DE MESOFILOS	St. Mth. 9215 D	530 UFC / 100 ml	Máx. 100
COLIFORMES TOTALES	NTC 4772	170 UFC /100 ml	0
E. coli	NTC 4772	0 UFC / 100ml	0

OBSERVACIONES: Las variables analizadas se encuentran fuera de los valores aceptables según los requisitos microbiológicos de la Resolución 2115/07.

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.



SANDRA PINZON RUEDA
Elaboró: SANDRA PINZON RUEDA
COORDINADOR MICROBIOLOGA Y MUESTREO
MICROBIOLOGA REG. 47708 FOLIO 177

LILIBETH FONSECA V.
Revisó: LILIBETH FONSECA VILLEGAS
DIRECTOR MICROBIOLOGIA
MICROBIOLOGA REG. 33911 FOLIO 319

Código: R-051 Versión: 0.1 Fecha: 22/05/09 Página: 1 de 1

Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Autoridad Santander
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DE SANTANDER
IRCA por Muestra

NIT:	Nombre: ACUABE
------	----------------

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Muestra No: 34	Código laboratorio: 602	Contramuestra pp: No
Fecha de toma: 28/05/2014	Fecha de recepción laboratorio: 28/05/2014	Fecha análisis laboratorio: 28/05/2014
Muestra tomada por: WALTER MARQUEZ MARTINEZ	Desinfectante: CLORO	Coagulante: -----
Análisis Solicitados: Adicional, Físicoquímico, Microbiológico	Resultados para: Vigilancia	Tipo de muestra: Tratada

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Código: 30	Nombre: LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DE SANTANDER	Teléfono: 6441473
Fax: 6418423	Dirección: CALLE 56 N 2W-68	Email: labdepsan@yahoo.es
Página WEB: www.gobernaciondesantander.gov.co		

INFORMACION SOLICITANTE

Nombre: SECRETARIA DE SALUD DEPARTAMENTAL	Departamento: Santander	Municipio: Betulia
Dirección:	Teléfono: 3138100465	Fax:
Email:	Página WEB:	

INFORMACIÓN DEL PUNTO DE TOMA

Departamento: Santander	Municipio: Betulia	Población: 0,00	Clase: Cabecera Municipal
Lugar: PUNTO CONCERTADO NUMERO 4	Descripción: NR	Código punto: -1	
Dirección: PLAZA DE FERIAS	GPS:	Fuente: LAGUNA MANZANARS PILETAS	
Concertado: No	Intradomiciliario: No		

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Característica	Método	Resultado	Unidades	Valores Aceptables	Diagnóstico
Alcalinidad Total	Volumétrico	4,00	mg CaCO ₃ /L	>=0,0000<=200,0000	Aceptable
Calcio	Volumétrico EDTA	10,82	mg Ca/L	>=0,0000<=60,0000	Aceptable
Cloro residual libre	Kit	0,50	mg Cl ₂ /L	>=0,3000<=2,0000	Aceptable
Cloruros	Argentométrico	7,50	mg Cl - /L	>=0,0000<=250,0000	Aceptable
Coliformes totales	Sustrato definido	0,00	UFC/100 cm ³	>=0,0000<=0,0000	Aceptable
Color aparente	Espectrofotométrico	0,00	UPC	>=0,0000<=15,0000	Aceptable
Dureza total	Volumétrico EDTA	26,00	mg CaCO ₃ /L	>=0,0000<=300,0000	Aceptable
E. coli	Sustrato definido	0,00	UFC/100 cm ³	>=0,0000<=0,0000	Aceptable

Autoridad Santander
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DE SANTANDER
IRCA por Muestra

Fluoruros	Electrométrico	0,00	mg F -/L	>=0,0000<=1,0000	Aceptable
Hierro total	Kit	0,15	mg Fe/L	>=0,0000<=0,3000	Aceptable
Magnesio	Volumétrico EDTA	3,64	mg Mg/L	>=0,0000<=36,0000	Aceptable
ph	Electrométrico	4,56	Unidades de PH	>=6,5000<=9,0000	No Aceptable
Sulfatos	Nefelométrico	31,88	mg SO4 2-/L	>=0,0000<=250,0000	Aceptable
Turbiedad	Nefelométrico	1,05	UNT	>=0,0000<=2,0000	Aceptable

* Cuando se utilice la técnica de enzima sustrato y el resultado es "<1 microorganismo / 100cm³" o cuando se utilice la técnica Presencia-Ausencia y el resultado es "ausencia en 100cm³" se le asigna el valor de 0 "cero". Si se >1 o hay presencia el valor es >0

ANÁLISIS ESPECIALES

Característica	Método	Resultado	Unidades	Valores Aceptables	Diagnóstico
----------------	--------	-----------	----------	--------------------	-------------

CARACTERÍSTICAS ADICIONALES**

Característica	Método	Resultado	Unidades
Conductividad	Electrométrico	94,00	u siemens/cm


**IRCA sin tomar en cuenta las características adicionales no considerados en la resolución 2115 de 2007.

OBSERVACIONES: COLIFORMES TOTALES Y FECALES ESTAN EXPRESADOS EN UNIDADES NMP/100 ML. PH Y CLORO RESIDUAL MEDIDOS EN SITU.

NOTA: Según los parámetros analizados, la muestra de agua se clasifica en el nivel de riesgo: SIN RIESGO. Es apta para consumo humano desde el punto de vista Fisicoquímico, Microbiológico según la resolución 2115 del 2007 del MPS / MAVDT.

CARACTERÍSTICAS ANALIZADOS: 15

Índice de Riesgo de la Calidad del Agua IRCA	
Características para IRCA: 14	IRCA BÁSICO: 1,74 % IRCA ESPECIAL: 0,00 % IRCA: 1,74 %
Nivel de riesgo: SIN RIESGO	
IRCA Básico: Según Cuadro 6 Art. 13 Res. 2115 de 2007 IRCA Especial: Según Parágrafo Art. 13 Res. 2115	


Coordinador del
Laboratorio


Analista - Fisicoquímico


Analista - Microbiológico

Impresión Reporte:09/07/2014

Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin la autorización escrita del laboratorio.

ANEXO E.

HOJA DE CALCULO VERIFICACION GRADIENTE DE MEZCLA VERTEDERO

Hoja de cálculo verificación de mezcla rápida (vertedero)

FUENTE: Autor

PARA UN CAUDAL de 7l/s						
MEDIDO	Q m3/s	0,007	hf (perdida carga)	0,000494175	Rh	0,00058513
	b (m)	0,29	f asumido	0,03		
	q (m3/s/m)	0,02	viscosidad cinematica (m2/s)	0,0000083		
V1 (m/s)	241,7304179	Y1	emin (m)	0,05852413	E1≠ E2	2978,26692
	ASUMIDO	Froude	4,5			
V2 (m/s)	41,08565179	Y2 conjug	0,0005875		E2 (m)	86,036815
		Long. Resalto	0,00292589		ΔE= E1-E2	2892,2301
		P (m)	0,3			
		H (m)	0,05566339		tiempo mezcla (s)	2,06911E-05
		perdida de carga total	0,35507589		gradiente mezcla (s-1)	1680,1342
		Lm (m)	0,20043591		gradiente velocidad	231411,5205
						CUMPLE

ANEXO F.

MANUAL DE OPERACIÓN

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CONVENCIONAL DEL MUNICIPIO DE
BETULIA PTAP- ACUABE**

AUTOR MARIA MERCEDES ALVAREZ SANTOS

BETULIA SANTANDER, 2014

INTRODUCCION

En el presente documento se describen las acciones de operación, limpieza y control en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Betulia PTAP- ACUABE y que deben ser ejecutadas por el personal responsable de velar por el buen funcionamiento de los sistemas de acueducto, en lo que corresponde a captaciones, aducciones, desarenadores, sistema de tratamiento de agua potable y tanques de almacenamiento, para garantizar que se obtengan los resultados esperados de dichos sistemas y prolongar al máximo la vida útil de las estructuras.

El manual está dirigido especialmente al personal encargado de las labores de operación y mantenimiento indicándole para cada unidad los aspectos que deben ser revisados, las acciones de limpieza y mantenimiento y la forma de registrar el resultado de las actividades rutinarias, para verificar la validez de los procedimientos y la eficiencia de los procesos que permitirá asimilar la experiencia adquirida y mejorar su eficacia.

El manual está organizado por medias láminas ilustrativas y formatos los cuales facilitaran la labor y seguimiento del personal a las labores de operación, limpieza y control del tratamiento en la planta de agua potable PTAP- ACUABE.

TABLA DE CONTENIDO

1.	DESCRIPCION DEL SISTEMA	1
1.2	DESARENADORES	1
1.3	COAGULACION	2
1.4	FLOCULACIÓN HIDRÁULICA	2
1.5	SISTEMA DE SEDIMENTACION CONVENCIONAL	3
1.6	SISTEMA DE FILTRACION RAPIDA	4
1.7	SISTEMA DE DESINFECCION (CLORACION)	5
1.8	TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DITRIBUCION	5
2	ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS	6
2.1	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)	7
2.2	ELEMENTOS O HERRAMIENTAS DE TRABAJO	12
2.3	EQUIPOS Y ELEMENTOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA	14
3.	FUNCIONES DEL OPERADOR	16
3.1	LIMPIEZA	17
3.1.1	FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN	18
3.1.2	FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO DESARENADOR	19
3.1.3	FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO ESTRUCTURA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	20
3.1.4	FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO DE SEDIMENTADOR	21
3.1.5	FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO DE FILTROS	22
3.1.6	FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO	23
3.2	CONTROL	24
3.2.1	TURBIEDAD	25
3.2.2	COLOR	26
3.2.3	COLOR LIBRE	27
3.2.4	pH y TEMPERATURA	28
3.2.5	PRUEBA DE JARRAS	29
3.2.6	MEDICION CAUDAL	30
4	RUTINA GENERAL PARA EL MANEJO DE LA PLANTA	31
5.	FOMATOS	32
5.1	TABLA DE REGISTRO ENTRADA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "ACUABE"	33
5.2	TABLA DE REGISTRO SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "ACUABE"	34
5.3	PRUEBA DE JARRAS PARA LA CONSTRUCCION DE DIAGRAMAS DE COAGULACION	35
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE-ACUABE	35
	FORMATO C	35

1. DESCRIPCION DEL SISTEM

La operación de la planta es de tipo convencional, de funcionamiento totalmente hidráulico. En la planta el agua es sometida a todos los procesos y operaciones unitarias de potabilización de agua como son coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Ilustración 1. Planta de tratamiento de agua potable Betulia PTAP-ACUAB



FUENTE: Autor

1.1 CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN

El agua proveniente de las quebradas la Ramera, la Laguna y Piletas es captada en la estructura de la bocatoma y es transportada por gravedad a través de tubería de 3 pulgadas hasta la planta de tratamiento. La aducción de la quebrada la Ramera tiene una longitud de 6 Km y el caudal captado es de 3 l/s, la quebrada La Laguna con una longitud de 3 Km y el caudal captado es de 1,3 l/s y la quebrada Piletas con una con una longitud de 3 Km y caudal captado es de 1,3 l/s. El caudal que llega a la planta por línea de aducción es de aproximadamente 5,6 l/s el cual es distribuido y conducido hacia la estructura de coagulación.

1.2 DESARENADORES

Antes de que el agua de las fuentes inicie el tratamiento convencional, estas son sometidas a un proceso de decantación por gravedad para eliminar los contaminantes más pesados como gravas y arenas en un desarenador, el que está distribuido en tres compartimientos donde se depositan estos solidos de gran

tamaño, proceso realizado para que la planta no se colmate cuando las condiciones del agua por turbiedad aumenten.

1.3 COAGULACIÓN

En este proceso se puede hacer medición y aforo del caudal que llega a la planta, mediante el uso de un vertedero en forma triangular con un Angulo de 30° y una sistema de goteo calibrado, donde se aprovecha el resalto hidráulico para agregar el coagulante, sulfato de aluminio tipo B sin dosificación previa a las condiciones de turbiedad y color del agua, dosis que debe ser determinada mediante ensayo de jarras, realizada en la planta de tratamiento por el operador de la planta.

Para el control del pH se agrega álcali primario sin dosificación. La adicción de estos químicos se realiza con las siguientes bombas:

Dos bombas EMEC modelo 340, para la aplicación de sulfato de aluminio tipo B y cal hidratada con capacidad de 60 litros/hora y 2 bares de presión, con sensor de nivel que permite que la bomba se apague cuando se baja el nivel en el tanque de dosificación de la solución de sulfato y cal hidratada.

En esta parte del proceso se cuenta con estructuras mezcladoras de agitación hidráulica, que realizan el trabajo de dispersión del coagulante y el alcalinizante.

Ilustración 2. Zona de Coagulación PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

1.4 FLOCULACIÓN HIDRÁULICA

El agua proveniente del proceso de coagulación es dirigida hacia la estructura de floculación hidráulica horizontal, donde el agua es sometida a gradientes bajos para la formación de flocs.

La unidad de floculación se encuentra dividida en tres zonas, la primera de velocidad alta que es por donde ingresa el agua proveniente del proceso de coagulación, la segunda zona de velocidad media y la tercera de velocidad baja. Las medidas del floculador son 14,5m de longitud, 4 m de ancho y 1 m de altura útil y está dividido en 55 compartimientos separados por tabiques de concreto.

Ilustración 3. Zona de Floculación PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

1.5 SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN CONVENCIONAL

La planta de tratamiento posee dos sedimentadores convencionales cada uno de 4m de longitud, 2,3 m de ancho y 2,4 m de profundidad. En esta estructura se sedimentan por la acción de gravedad los flocs provenientes de la unidad de floculación.

Ilustración 4. Zona de Sedimentación PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

1.6 SISTEMA DE FILTRACIÓN RÁPIDA

La planta de tratamiento cuenta con un sistema de filtración construido por una batería de dos filtros rápidos, los que tienen 2,5 m de longitud y 2,3 m de ancho para un área filtrante de 5,75 m² por filtro. El lecho filtrante está formado por una capa superior de 0,50m de antracita y una inferior de 0,20 m de arena colocada sobre una capa de 0,30 m de grava que le sirven al lecho de sostén. Los filtros son descendentes y de tasa declinante.

Ilustración 5. Zona de Filtración PTAP-ACUABE



FUENTE: Autor

1.7 SISTEMA DE DESINFECCION (CLORACION)

El agente utilizado para la desinfección del agua es cloro gaseoso suministrado en cilindros de 68 kg, dosificado por un clorador marca hydro serie 600 y mezclado con agua para ser enviado en forma de solución hasta el tanque de contacto de un volumen de 5m³.

1.8 TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

La planta posee dos tanques de almacenamiento, el antiguo con capacidad para almacenar 84m³ y el nuevo con capacidad para 90m³. Los tanques de almacenamiento están localizados en la parte baja de la planta desde donde se distribuye el agua a gravedad, mediante dos tuberías, una de 2 pulgadas que va hacia la parte alta del municipio y la otra, una conducción de 4 pulgadas que lleva el agua hacia la parte media y baja del municipio.

2 ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS

Para aplicar correctamente los procedimientos de operación y mantenimiento se requiere de tres elementos básicos.

- Información técnica actualizada
- Equipos y herramientas de trabajo
- Seguridad y Salud ocupacional propia de la actividad.

INFORMACIÓN TÉCNICA ACTUALIZADA

Debe existir original y dos copias de todos los planos actualizados de sistema, tanto de estructuras (bocatoma, desarenador, planta y tanque) como de redes (aducción, conducción, red de distribución).

Debe guardarse los catálogos de repuestos de cada uno de los equipos existentes además del instructivo de operación suministrado por el fabricante. En este caso, las bombas y las válvulas. Así como el manual de operación y mantenimiento del sistema.

Se recomienda que cada vez que se ejecuten reparaciones e instalaciones menores, el operario deberá actualizar la copia de planos que él mantenga en su poder y las demás que se encuentren en archivo.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE TRABAJO:

Los equipos, implementos y herramientas básicos para las actividades de operación y mantenimiento que se requieren en el sistema de abastecimiento son:

HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

Se recomienda para la operación y mantenimientos de las bocatomas, desarenadores, tanques de almacenamiento y redes de aducción y de distribución una jornada normal de trabajo de los operadores del sistema de abastecimiento sea de 6:00 a.m a 2 p.m de 2 p.m a 10:00 p.m y de 10pm a 6:00 am, o la que especifique el operador del sistema.

2.1 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL

Proteccion Respiratoria



Guantes Industriales



Calzado Seguridad



Proteccion Corporal



Proteccion Visual



Cascos



Proteccion Respiratoria



Protección para gases y vapores



Debe ser utilizado para tareas en donde se presente absorción de sustancias químicas a través de las mucosas. Este EPP debe contener filtros, debe ser en silicona, con visor en policarbonato, correas ajustables, cabezal de arnés y correas de ajuste frontal.

Protección para materia particulado



Estos respiradores únicamente protegen contra materiales particulados. No brindan protección contra sustancias químicas, gases o vapores y su propósito es proteger únicamente contra niveles bajos de peligro.

Guantes Industriales



GUANTES CALIBRE 35 MANGA LARGA



Se utilizan para realizar labores diversas como limpieza y lavado de objetos.

GUANTES DE NITRILO PARA MANEJO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS, LARGO DE 33 cm



Se utiliza para manipulación de recipientes que contengan Sustancias químicas durante la preparación de soluciones, almacenamiento o identificación de diferentes sustancias.

Calzado Seguridad



BOTAS PANTANERAS



Son botas elaboradas en material de caucho y ofrecen un alto nivel de protección contra descargas eléctricas para trabajadores que se exponen a riesgo eléctrico. Son botas altas elaboradas en material de caucho, utilizadas para labores en campos abiertos y protegen contra el agua y la humedad

Proteccion Corporal



BATA DE LABORATORIO



Cuenta con mangas largas de puños elásticos, su largo es a la altura de las rodillas y tiene cierre de velcro desde el cuello hasta la rodilla. Evita el contacto corporal del tronco, miembros superiores y parte de los miembros inferiores protegiéndolo de peligros relacionados con labores que implican a exposición a sustancias de laboratorio.

OVEROL ANTI-ÁCIDO



Elaborado en poliéster. Comportamiento muy estable ante distintos tipos de ácidos utilizados en la industria. Protege contra salpicaduras de ácido, entregando tiempo en segundos para retirar la ropa antes de que esta penetre. Recomendado para trabajo en ambientes ácidos y exposición a salpicaduras.

Proteccion Visual



GAFAS DE SEGURIDAD



Gafas en policarbonato, con anti empañe y protección para luz ultravioleta. Evita la proyección de partículas solidas o liquidas en los ojos, tales como manejo de sustancias corrosivas

Cascos



Casco de seguridad con tafilete y ratchet. Se utiliza para labores donde haya probabilidad de caída de objetos y riesgo de contacto con líneas energizadas.

2.2 ELEMENTOS O HERRAMIENTAS DE TRABAJO

HERRAMIENTA DE TRABAJO



LAMPARA DE SEGURIDAD



RASTRILLO



MANGUERA



BALDE Y CEPILLO



CAJA DE HERRAMIENTAS



RECOJE HOJAS

2.3 EQUIPOS Y ELEMENTOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA

EQUIPOS DE ANALISIS DE LABORATORIO



TURBIDÍMETRO



TEST DE JARRAS



**MEDIDOR DE pH y
TEMPERATURA**



COLORIMETRO DR/890

3. FUNCIONES DEL OPERADOR


3.1 LIMPIEZA

3.1.1 FORMATO LIMPIEZA Y LAVADO ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN		
FECHA LIMPIEZA:	FECHA ÚLTIMA LIMPIEZA	ENCARGADO:
OBJETIVO: GARANTIZAR el suministro y permanencia de agua en la cantidad requerida por el sistema de acueducto.		
EPP: 	HERRAMIENTAS DE TRABAJO: <ul style="list-style-type: none"> - Rastrillo - Balde y Cepillo - Recoge hojas - Caja de herramientas. 	
PROCEDIMIENTO A SEGUIR:		
NOTA: no utilice jabones, desinfectantes o cualquier sustancia química, solo agua		
REJILLAS <ul style="list-style-type: none"> - Estas deberán ser limpiadas desde afuera del agua con rastrillos, para retirarles hojas, ramas, troncos, o cualquier otro elemento que este dificultando el paso del agua. - Deberá ser limpiada la zona de acceso de la vegetación y maleza existente. 	PARTES METÁLICAS Deberá removerse con cepillo metálico todos los vestigios de óxido de las partes metálicas, y realizarse el engrase de todas las superficies y elementos sujetos a deslizamientos o movimientos, como los vástagos, válvulas, ruedas de manejo y rejillas	
ESTADO DE ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS		
rejillas	Buen estado	Mal estado
Válvula de entrada		
Válvula de salida		
Tubería de aducción		
OBSERVACIONES		

3.1.2 FORMARTO LIMPIEZA Y LAVADO DESARENADOR

FECHA LIMPIEZA:	FEHCA ULTIMA LIMPIEZA	ENCARGADO:
-----------------	-----------------------	------------

OBJETIVO: Retirar todo material que pueda impedir el buen funcionamiento de desarenador evitando atascos, sobrecargas y abrasión en la estructura.

<p>EPP:</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>HERRAMIENTAS DE TRABAJO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rastrillo - Balde y Cepillo - Recoge hojas - Caja de herramientas.
---	--

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

- Cierre válvula de entrada y salida
- Retirar los palos, ramas, hojas y papeles que floten sobre la superficie de agua con ayuda del recoge hojas.
- Abra la válvula de desagüe o drenaje.
- Desocupar completamente el desarenador y proceder al lavado general de muros y pisos, utilizando cepillos para remover mohosidades y cuerpos extraños adheridos.
- Inspeccionar detalladamente el interior del tanque para detectar y corregir oportunamente todo indicio de grietas.
- Efectuar las acciones de limpieza y engrase de todas las válvulas que conforman los dispositivos de control del desarenador.
- En operación normal debe mantenerse cerradas las válvulas de acceso al bypass y de drenaje, y mantenerse abiertas las válvulas de entrada y salida al desarenador.

NOTA: no utilice jabones, desinfectantes o cualquier sustancia química, solo agua

ESTADO DE ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS

	Buen estado	Mal estado
Válvula de entrada		
Válvula de salida		
Válvula de drenaje		


OBSERVACIONES

3.1.3 FORMATO LIMPIEZA Y LAVADO ESTRUCTURA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN		
FECHA LIMPIEZA:	FECHA ÚLTIMA LIMPIEZA	ENCARGADO
OBJETIVO: GARANTIZAR el adecuado funcionamiento de la zona de coagulación y floculación, retirando todo tipo de material que pueda evitar su adecuado funcionamiento.		
EPP: 	HERRAMIENTAS DE TRABAJO: <ul style="list-style-type: none"> - Rastrillo - Balde y Cepillo - Recoge hojas - Caja de herramientas. 	
PROCEDIMIENTO A SEGUIR:		
<ul style="list-style-type: none"> - Cierre válvula de entrada y salida - Retirar los palos, ramas, hojas y papeles que floten sobre la superficie de agua con ayuda del recoge hojas. - Abra la válvula de desagüe o drenaje. - Desocupar completamente la zona de coagulación y floculación. - Verificar el estado del vertedero. - Proceder al lavado general del vertedero, muros, utilizando cepillos para remover mohosidades y cuerpos extraños adheridos. - Efectuar las acciones de limpieza y engrase de todas las válvulas que conformen la estructura. - Terminada la limpieza la para la puesta en marcha normal debe mantenerse cerrarse la válvula de drenaje, y mantenerse abiertas las válvulas de entrada y salida. <p>NOTA: no utilice jabones, desinfectantes o cualquier sustancia química, solo agua</p>		
ESTADO DE ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS		
	Buen estado	Mal estado
Válvula de entrada		
Válvula de salida		
Válvula de drenaje		
vertedero		
Canales		
OBSERVACIONES		

3.1.4 FORMATO LIMPIEZA Y LAVADO DE SEDIMENTADOR

FECHA LIMPIEZA:	FECHA ÚLTIMA LIMPIEZA	ENCARGADO
-----------------	-----------------------	-----------

EOBJETIVO: GARANTIZAR el adecuado funcionamiento de la zona de sedimentación, retirando y limpiando todo tipo de material que pueda evitar su adecuado funcionamiento.

EPP: 	HERRAMIENTAS DE TRABAJO: <ul style="list-style-type: none"> - Rastrillo - Balde y Cepillo - Recoge hojas - Caja de herramientas.
--	---

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

- Cierre válvula de entrada y salida
- Retirar ramas, hojas y papeles que floten sobre la superficie de agua con ayuda del recoge hojas.
- Abra la válvula de desagüe o drenaje.
- Desocupar completamente el sedimentador.
- proceder al lavado general de los muros, utilizando cepillos para remover mohosidades y cuerpos extraños adheridos.
- Efectuar las acciones de limpieza y engrase de todas las válvulas que conformen la estructura.
- Inspeccionar detalladamente el interior del tanque para detectar y corregir oportunamente todo indicio de grietas.
- Terminada la limpieza la para la puesta en marcha normal debe mantenerse cerrarse la válvula de drenaje, y mantenerse abiertas las válvulas de entrada y salida.

NOTA: no utilice jabones, desinfectantes o cualquier sustancia química, solo agua

ESTADO DE ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS

	Buen estado	Mal estado
Válvula de entrada		
Válvula de salida		
Válvula de drenaje		


OBSERVACIONES

--

3.1.5 FORMATO LIMPIEZA Y LAVADO DE FILTROS

FECHA LIMPIEZA:	FEHCA ULTIMA LIMPIEZA	ENCARGADO:
-----------------	-----------------------	------------

OBJETIVO: Garantizar el adecuado funcionamiento del filtro, mediante el lavado para evitar la colmatación de material que impida su adecuado funcionamiento.

<p>EPP:</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>HERRAMIENTAS DE TRABAJO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rastrillo - Balde y Cepillo - Recoge hojas - Caja de herramientas. - Manguera
---	--

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

- Debe cerrar la válvula que permite ingreso a cada unidad.
- Abra la válvula de evacuación del caudal de lavado, las válvulas individuales de cada filtro permanecen abiertas únicamente se cierran cuando se necesita realizar mantenimiento en la cámara interior del filtro.
- Sea cuidadoso La apertura rápida de la válvula de agua filtrada puede abrir grietas o canales en el lecho filtrante ocasionando pobres resultados de remoción de bacterias y arrastre de arena al sistema de drenaje.
- Para la operación normal de filtro, abra la válvula de ingreso de caudal a cada unidad.
- Cierre la válvula de evacuación de lavado
- Cierre la válvula de caudal de lavado.

NOTA: no utilice jabones, desinfectantes o cualquier sustancia química, solo agua

ESTADO DE ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS

	Buen estado	Mal estado
Válvula de entrada		
Válvula de salida		
Válvula de evacuación		
Material filtrante		

OBSERVACIONES

3.1.6 FORMATO LIMPIEZA Y LAVADO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

FECHA LIMPIEZA:	FEHCA ULTIMA LIMPIEZA	ENCARGADO:
-----------------	-----------------------	------------

OBJETIVO: Garantizar las condiciones adecuadas mediante la limpieza

EPP:



HERRAMIENTAS DE TRABAJO:

- Rastrillo
- Balde y Cepillo
- Recoge hojas
- Caja de herramientas.
- Hidrolavador

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

- Cierre válvula de entrada y salida
- Retirar los palos, ramas, hojas y papeles que floten sobre la superficie de agua con ayuda del recoger hojas.
- Abra la válvula de desagüe o drenaje.
- Desocupar completamente el desarenador y proceder al lavado general de muros y pisos, utilizando cepillos para remover mohosidades y cuerpos extraños adheridos (utilice un hidrolavador para facilitar la limpieza).
- Inspeccionar detalladamente el interior del tanque para detectar y corregir oportunamente todo indicio de grietas.
- Efectuar las acciones de limpieza y engrase de todas las válvulas que conforman los dispositivos de control del tanque.
- Cierre la válvula de desagüe.
- Abra las válvulas de entrada y salida.

NOTA: no utilice jabones, desinfectantes o cualquier sustancia química, Solo agua.

ESTADO DE ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS

	Buen estado	Mal estado
Válvula de entrada		
Válvula de salida		
Válvula de evacuación		

OBSERVACIONES

--

3.2 CONTROL

3.2.1 TURBIEDAD

FECHA:

HORA:

ENCARGADO:

OBJETIVO:

EPP:



EQUIPO:

- Turbidímetro

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

1. Coloque una muestra representativa en un recipiente limpio. Llene una celda de muestra hasta la línea (aproximadamente 15ml) asegúrese de manipular la cubeta por su parte superior. Tape la cubeta
2. Limpie la celda con un paño suave, sin pelusas, para eliminar las gotas de agua y huellas de dedos
3. Aplique una película delgada de aceite de silicona. Limpie con un paño suave para obtener una película homogénea en toda la superficie.
4. Pulse el botón ON/ENCENDIDO. Coloque el instrumento sobre una superficie plana y resistente.
5. Suavemente inserte la celda e el compartimiento de manera que el diámetro o marca de orientación quede alineada con la marca de orientación en el relieve en el frente del compartimiento de la celda. Coloque la tapa
6. Pulse **Medición**. La pantalla muestra estabilizando y luego la turbidez en UNT.

REGISTRE LOS DATOS EN EL FORMATO CONTROL A

NOTA


Parámetro	Valor máximo aceptable
Turbiedad (UNT)	2
Color (UPC)	15
Cloro (mg/l Cl ₂)	0,3-2
pH(unidades)	5,5-9

fuentes: resolución 2115/2007

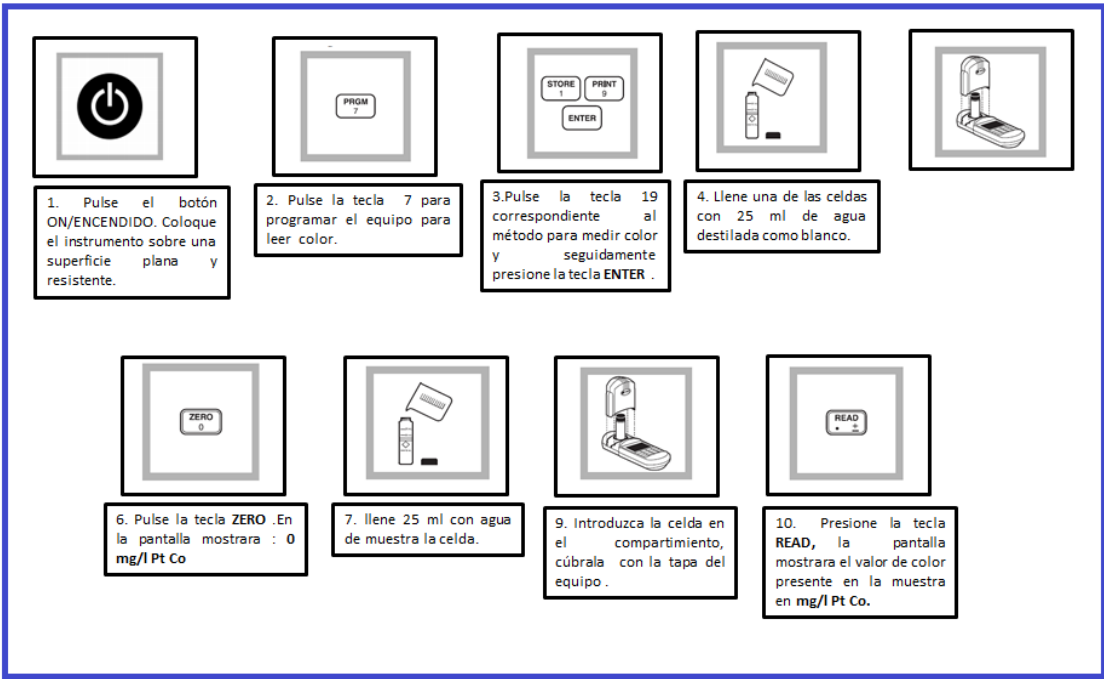
3.2.2 COLOR

FECHA:	HORA:	ENCARGADO:
--------	-------	------------

OBJETIVO: Determinar la concentración de color presente en el agua a tratar y tratada, en mg/l de Pt Co.

EPP: 	EQUIPO: - Colorímetro DR/890
--	--

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:



1. Pulse el botón ON/ENCENDIDO. Coloque el instrumento sobre una superficie plana y resistente.
2. Pulse la tecla 7 para programar el equipo para leer color.
3. Pulse la tecla 19 correspondiente al método para medir color y seguidamente presione la tecla ENTER.
4. Llene una de las celdas con 25 ml de agua destilada como blanco.
5. (Icon of the colorimeter)
6. Pulse la tecla ZERO. En la pantalla mostrara : 0 mg/l Pt Co
7. llene 25 ml con agua de muestra la celda.
8. (Icon of the colorimeter)
9. Introduzca la celda en el compartimiento, cúbrala con la tapa del equipo.
10. Presione la tecla READ, la pantalla mostrara el valor de color presente en la muestra en mg/l Pt Co.

REGISTRE LOS DATOS EN EL FORMATO CONTROL A O B OBSERVACIONES


Parámetro	Valor máximo aceptable
Turbiedad (UNT)	2
Color (UPC)	15
Cloro (mg/l Cl ₂)	0,3-2
pH(unidades)	5,5-9

fuelle: resolucion 2115/2007


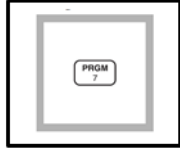
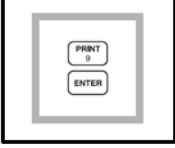


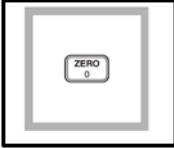
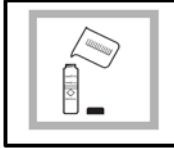


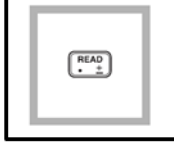
3.2.3 CLORO LIBRE

FECHA:	HORA:	ENCARGADO:
--------	-------	------------

OBJETIVO: Determinar la concentración de cloro libre presente en el agua tratada.

EPP: 	EQUIPO: - Colorímetro DR/890
--	--

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

				
1. Pulse el botón ON/ENCENDIDO. Coloque el instrumento sobre una superficie plana y resistente.	2. Pulse la tecla 7 para programar el equipo para leer cloro libre.	3. Pulse la tecla 9 correspondiente al método para medir cloro libre, y seguidamente presione la tecla ENTER .	4. Llene una de las celdas con 10 ml de agua destilada como blanco.	5. Introduzca con cuidado la celda con el blanco en el compartimiento del equipo, cubra la celda con la muestra con la tapa del equipo.
				
6. Pulse la tecla ZERO .En la pantalla mostrara : 0.00 mg/l Cl ₂	7. llene 10 ml con agua de muestra la celda.	8. Adicione el contenido de un sobre de DPD Free Chlorine , a agua de muestra en la celda.(una coloración rosa indica presencia de cloro libre)	9. Introduzca la celda en el compartimiento, cúbrala con la tapa del equipo .	10. Presione la tecla READ, la pantalla mostrara la concentración de cloro libre presente en la muestra en mg/l Cl ₂ .

REGISTRE LOS DATOS EN EL FORMATO CONTROL A O B

NOTA


Parámetro	Valor máximo aceptable
Turbiedad (UNT)	2
Color (UPC)	15
Cloro (mg/l Cl ₂)	0,3-2
pH(unidades)	5,5-9

fuente: resolucion 2115/2007

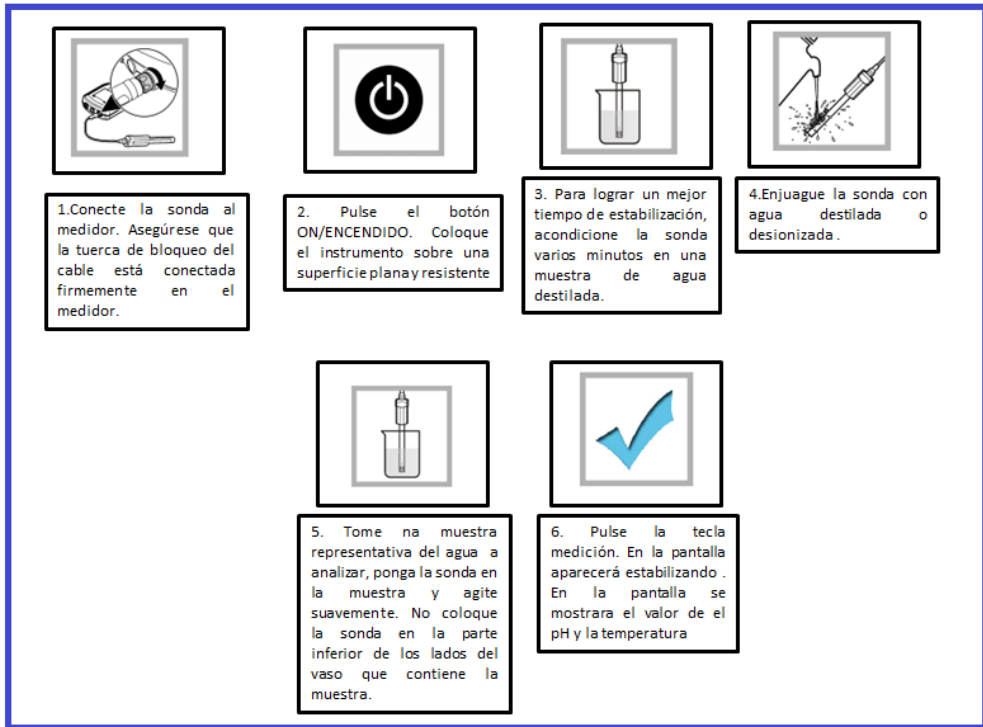
3.2.4 PH Y TEMPERATURA

FECHA:	HORA:	ENCARGADO:
--------	-------	------------

OBJETIVO: Determinar pH del agua a tratar y tratada.

EPP: 	EQUIPO: - ph-metro
--	------------------------------

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:




1. Conecte la sonda al medidor. Asegúrese que la tuerca de bloqueo del cable está conectada firmemente en el medidor.
2. Pulse el botón ON/ENCENDIDO. Coloque el instrumento sobre una superficie plana y resistente.
3. Para lograr un mejor tiempo de estabilización, acondicione la sonda varios minutos en una muestra de agua destilada.
4. Enjuague la sonda con agua destilada o desionizada.
5. Tome una muestra representativa del agua a analizar, ponga la sonda en la muestra y agite suavemente. No coloque la sonda en la parte inferior de los lados del vaso que contiene la muestra.
6. Pulse la tecla medición. En la pantalla aparecerá estabilizando. En la pantalla se mostrará el valor de el pH y la temperatura.

REGISTRE LOS DATOS EN EL FORMATO CONTROL A O B

NOTA

Parámetro	Valor máximo aceptable
Turbiedad (UNT)	2
Color (UPC)	15
Cloro (mg/l Cl ₂)	0,3-2
pH(unidades)	5,5-9

fuentes: resolución 2115/2007

3.2.5 PRUEBA DE JARRAS		
FECHA:	HORA:	ENCARGADO:
OBJETIVO: Determinar dosis óptimas de coagulante para el agua a tratar en la planta.		
EPP: <div style="text-align: center;">  <p>LENTES DE PROTECCION ZAPATOS SEGURIDAD GUANTES BATA</p> </div>		EQUIPO: <ul style="list-style-type: none"> - test de jarras
PROCEDIMIENTO A SEGUIR:		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Recoja con un recipiente (balde), en el sitio de entrada a la cámara de la mezcla rápida, una muestra de agua cruda y determine la turbiedad, color, pH, y alcalinidad del agua cruda. 1. Aforar con la ayuda de una probeta seis muestras de un litro y transferir a las jarras. 2. Posteriormente preparar seis muestras de coagulante, en dosis crecientes (por ejemplo: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3ml) 3. Colocar las jarras en el equipo. 4. Encender el equipo de test de Jarras a una velocidad de rotación de las paletas de 300 revoluciones, se vierte el coagulante en cada jarra, por minuto. 5. Al término del minuto, cambiar la velocidad del aparato a 40 revoluciones por minuto durante 20 minutos. 6. Una vez transcurridos los 20 minutos de mezcla lenta, detener totalmente el funcionamiento de las paletas, y levantarlas; permitiendo que actúe la sedimentación sobre los flóculos formados. 7. Durante 15 minutos dejar que dicha sedimentación tenga efecto, sin mover los vasos para permitir la precipitación de las partículas. 8. Al término de los 15 minutos de sedimentación, se realiza la filtración y se determinar en las seis muestras los siguientes parámetros: color, pH y turbiedad 		
REGISTRE LOS DATOS EN EL FORMATO CONTROL C		

3.2.6 MEDICION CAUDAL		
FECHA:	HORA:	ENCARGADO:
OBJETIVO: Determinar dosis óptimas de coagulante para el agua a tratar en la planta.		
EPP: 	HERRAMIENTAS: <ul style="list-style-type: none"> - Balde (con volumen conocido) - Cronometro 	
PROCEDIMIENTO A SEGUIR:		
<ul style="list-style-type: none"> - Ubíquese en el vertedero - Con ayuda de un balde o tambor, de volumen conocido en el cual se colecta el agua, - Se toma con un Cronómetro el tiempo que gasta en llenarse el balde o tambor. - Repetir 2 o 3 veces el procedimiento y promediar para asegurar mayor exactitud. <p>El procedimiento de cálculo consiste en dividir el volumen de agua recogido en el depósito por el tiempo (en segundos) que demoró en llenarse. El resultado expresa el caudal medido en litros por segundo.</p> $Q = \frac{V}{T}$ <p>Donde : Q: caudal en l/s V: volumen en litros T: tiempo en segundos</p>		
OBSERVACIONES		

4 RUTINA GENERAL PARA EL MANEJO DE LA PLANTA

PROCEDIMIENTO A SEGUIR:

Paso 1: Al llegar el operador a su turno, debe verificar las condiciones en las que le fue entregada la planta. (Observar los niveles de los depósitos de solución de cloro, cal y coagulante; los resultados de laboratorio.

Paso 2: Tomar una muestra de agua cruda en cantidad suficiente de la entrada de la planta.

Paso 3: Caracterizar esa agua (determinar color, turbidez, pH y temperatura).

Paso 4: Verificar los niveles en el taque de almacenamiento y tomar decisiones dependiendo del horario de demanda y la muestra de agua caracterizada.

Paso 5: Verificar el caudal de circulación que trata la planta en el vertedero.

Paso 6: Graduar los dosificadores de acuerdo a las dosis determinadas.

Paso 7: Verificar que las válvulas de entrada a los módulos estén completamente abiertas.

Paso 8: Inspeccionar el agua que sale del proceso de sedimentación.

Paso 9: Realizar la purga de lodos del floculador y el sedimentador cuando sea necesario.

Paso 10: Verificar el nivel de agua en los filtros para evitar su colmatación.

Paso 11: Realizar el lavado de los filtros cada vez que sea necesario.

Paso 12: Verificar nuevamente el caudal que pasa por la planta en la vertedero.

Paso 13: Controlar los niveles del tanque de almacenamiento de acuerdo a las decisiones tomadas y para verificar que no exista caudal de rebose, de ser hacer así, se debe disminuir el caudal en la planta.(decidir fuentes hídricas a utilizar)

Paso 14: Determinar en el tanque de almacenamiento el pH (6.5 a 9.0), la turbidez (<2UNT) color (<15 UPC) cloro residual (0,3-2.0 mg/l Cl₂).

Paso 15: Repetir el procedimiento de los Pasos 2, 3, 4, 5, 6, 8 ,14 y 15 si las características del agua cruda cambian drásticamente.

5. FOMATOS

**5.1 TABLA DE REGISTRO ENTRADA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “ACUABE”
MUNICIPIO BETULIA SANTANDER**

FORMATO A

Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC:	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Observaciones

**5.2 TABLA DE REGISTRO SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “ACUABE”
MUNICIPIO BETULIA SANTANDER- FORMATO B**

Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:	
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Cloro residual mg/l Cl ₂	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:	
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Cloro residual mg/l Cl ₂	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:	
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Cloro residual mg/l Cl ₂	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:	
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC:	Cloro residual mg/l Cl ₂	Observaciones
Fecha y hora :		Tipo de muestra:		Punto toma de muestra:	
Turbiedad UNT:	pH:	Temperatura °C:	Color UPC	Cloro residual mg/l Cl ₂	Observaciones

**5.3 PRUEBA DE JARRAS PARA LA CONSTRUCCION DE DIAGRAMAS DE COAGULACION
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE-ACUABE**

FORMATO C

Rio o fuente :			Sitio de muestreo :					Fecha:			Hora			
Participantes:														
Turbiedad(UNT) :			Color aparente (UPC)			Alcalinidad (mg/l CaCO3):			Temperatura(°C):					
pH:			Coagulante:											
EQUIPO			Ensayo :					Ensayo:						
			Hora de inicio					Hora de inicio:						
Numero de jarra			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato de aluminio (mg/l)														
Volumen sulfato de aluminio (ml)														
pH coagulación														
Cantidad de NaOH(ml)														
Cantidad de HCl(ml)														
Turbiedad coag-filtra (UNT)														
Turbiedad coag-floc-filtra(UNT)														
Turbiedad desp. sedim (UNT)														
Color aparente														
Turbiedad convencional (UNT)														
Observaciones:														
Concentración solución coagulante 2%. Concentración HCl : 0,1 N concentración NaOH,1 N														
Mezcla rápida 300 RPM, tiempo mezcla rápida: 60s, mezcla lenta: 40RPM, tiempo lenta mezcla 20 min, tiempo sedimentación: 15 min, altura 3cm														