UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIA QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO APLICADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA "EL DESCANSO".

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL.

Autor:

Abdón Mauricio Izquierdo Flores

Director:

Ing. Fausto Fernando García Ávila

Cuenca – Ecuador

2015

RESUMEN

El presente estudio realizado en la Planta de Agua de la Central Hidroeléctrica “El Descanso” está orientado a la determinación de la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A en función de los parámetros turbiedad, color y pH. Mediante la realización de ensayos de jarras se pudo determinar la dosis óptima para cada turbiedad y elaborar la curva de dosificación de coagulante, también se ha elaborado la tabla de caudales de operación en función de la carga en el vertedero, para conjuntamente con la curva de dosificación obtener el caudal de coagulante requerido para el tratamiento del agua.

La finalidad de este trabajo está encaminado a la utilización de una agua de mejor calidad a nivel industrial, mediante una dosificación adecuada para alcanzar la máxima remoción de impurezas presentes en el agua. Para lo cual se empezó tomando muestras de agua cruda en periodos establecidos y realizando los ensayos de jarras correspondientes. Las muestras de agua fueron estudiadas y analizadas mediante la utilización de tablas y gráficas que ayudaron a comprender mejor el comportamiento del agua. Las intensidades y tiempos de mezcla aplicados en los ensayos de jarras fueron determinadas experimentalmente mediante estudios de campo y de laboratorio.

El estudio desarrollado en este trabajo sirve para mejorar los procesos de coagulación, floculación y procesos posteriores; también ayuda al operador encargado de controlar los procesos de la planta a realizar una dosificación correcta, evitando dosificar coagulante sea en exceso o por defecto.

Palabras claves: Coagulación, Floculación, Curva de dosificación, Ensayo de jarras, Dosis óptima, coagulante.

ABSTRACT

This study carried out in the Water Plant of the Hydroelectric Plant "El Descanso", is aimed at determining the optimal dose of coagulant aluminum sulfate type A in accordance with the parameters turbidity, color and pH. By performing jar tests it was determined the optimal dose for each turbidity and develop curve coagulant dosage, it has also made the table of flows of operation depending on the load on the rubbish dump, for along with the curve dosage to obtain the required flow of coagulant.

The purpose of this work is aimed at the use of better quality water at the enterprise level through proper dosage for maximum removal of impurities in the water. For that, it began to take samples of raw water in periods established and perform appropriate tests jars. The waters were studied and analyzed using tables and graphs that helped to better understand the behavior of water. The mixing times and intensities applied in Jar tests were determined experimentally through field and laboratory studies.

The study developed in this work serves to improve the processes of coagulation, flocculation and subsequent processes; it also helps the operator responsible for controlling the processes of the plant to make a correct dosage, avoiding more or less coagulant dose than necessary.

Keywords: Coagulation, Flocculation, Curve dosage, Test jars, Optimal doses, Water.

ÍNDICE

PORTADA 1
RESUMEN 2
ABSTRACT 3
ÍNDICE 4
CLÁUSULA DE DERECHO DE AUTOR 8
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL 9
AGRADECIMIENTOS 10
DEDICATORIA 11
CAPÍTULO I 12
1. INTRODUCCIÓN 13
1.1 ANTECEDENTES 13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.3 OBJETIVOS 15
1.3.1 Objetivo General: 15
1.3.2 Objetivos Específicos: 15
1.4 JUSTIFICACIÓN 16
1.4.1 Justificación Técnica 17
1.4.2 Justificación Económica 17
1.4.3 Justificación Ambiental 18
1.5 HIPÓTESIS. 18
CAPÍTULO II 19
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA ELECAUSTRO S.A 20
2.1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA 20
2.2 INFRAESTRUCTURA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA 20
2.3 CENTRAL TERMOELÉCTRICA EL DESCANSO 21
2.3.1 Visión general del proceso 22
2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL DESCANSO 23
2.4.1 Generalidades de la planta de tratamiento de agua 23
2.4.2 Descripción del proceso de la planta de tratamiento 23
2.4.2.1 Captación 23
2.4.2.2 Conducción de agua cruda 24
2.4.2.3 Recepción 25
2.4.2.4 Coagulación (mezcla rápida) 26
2.4.2.5 Floculación (mezcla lenta) 28
2.4.2.6 Sedimentación 29

2.4.2.7 Filtración 30
2.4.2.8 Desinfección 31
2.4.2.9 Almacenamiento de agua tratada 32
2.4.2.10 Distribución de agua tratada 32
CAPÍTULO III 35
3. FUNDAMENTO TEÓRICO 36
3.1 GENERALIDADES 36
3.1.1 El agua 36
3.1.2 Estructura química del agua 36
3.1.3 Parámetros del agua 37
3.1.3.1 Parámetros químicos 37
3.1.3.2 Parámetros físicos 40
3.2. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN 42
3.2.1 Introducción 42
3.2.2 Partículas en suspensión 43
3.2.2.1 Tamaño de las partículas en suspensión 43
3.2.3 Coloides 44
3.2.3.1 Carga eléctrica y doble capa de los coloides 45
3.2.3.2 Factores de estabilidad e inestabilidad de los coloides 45
3.2.4 Teoría de la coagulación 46
3.2.5 Mecanismos de coagulación 47
3.2.6 Factores que influyen en el proceso de coagulación 49
3.2.6.1 Naturaleza del agua cruda 49
3.2.6.2 Variables químicas 50
3.2.6.3 Variables físicas 52
3.2.7 Coagulantes 52
3.2.7.1 Tipos de coagulantes 53
3.3 MEZCLA RÁPIDA 55
3.3.1 Parámetros operacionales 55
3.3.2 Factores que influyen en el proceso 56
3.3.3 Dosificadores 56
3.3.4 Mezcladores 58
3.4 TEORÍA DE LA FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA) 60
3.4.1 Factores que influyen en la floculación 60
3.4.2 Clasificación de los floculadores (cámaras de mezcla lenta) 62
CAPITULO IV 64

4. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE ... 65
4.1 DOSIS ÓPTIMA Y CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN ... 65
4.1.1 Descripción de la prueba de jarras ... 66
4.1.1.1 Objetivo de la prueba de jarras ... 66
4.1.1.2 Equipo de prueba de jarras ... 66
4.1.1.3 Condiciones de la prueba de jarras ... 67
4.1.1.4 Procedimientos para llevar una prueba de jarras ... 68
4.2 DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD Y TIEMPO DE MEZCLA PARA LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN ... 69
4.2.1 Mezcla rápida ... 69
4.2.2 Mezcla lenta ... 71
4.2.2.1 Determinación del tiempo de mezcla ... 71
4.2.2.2 Intensidad de mezcla ... 78
4.3 PARTE EXPERIMENTAL DE LA PRUEBA DE JARRAS ... 84
4.3.1 Muestreo ... 84
4.3.1.1 Recolección de muestras ... 84
4.3.1.2 Sistema de toma de muestras ... 85
4.3.1.3 Tratamiento de las muestras ... 86
4.3.2 Pruebas de laboratorio ... 86
4.3.2.1 Descripción de equipos y materiales ... 86
4.3.2.2 Preparación del coagulante sulfato de aluminio a nivel de planta y laboratorio ... 88
4.3.2.3 Sistema de dosificación de la solución ... 91
4.3.2.4 Métodos de ensayos ... 92
4.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE OPERACIÓN DEL VERTEDERO RECTANGULAR ... 94
4.4.1 Determinación del lugar de ubicación de la reglilla ... 95
CAPITULO V ... 97
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS, OBTENCIÓN DE LA CURVA DE DOSIFICACIÓN . 98
5.1 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE 98
5.1.1 Ensayos de jarras con diferentes dosis de sulfato de aluminio ... 98
5.1.2 Turbiedad inicial y dosis óptimas ... 106
5.1.3 Relación entre condiciones iniciales y finales con sus respectivas dosis óptimas encontradas ... 110
5.1.4 Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos estudiados ... 112
5.1.5 Comportamiento del pH en los ensayos realizados ... 116

5.2 Obtención de la curva de dosificación 117
5.3 ELABORACIÓN DE LA TABLA DEL CAUDAL DE OPERACIÓN 120
CAPÍTULO VI 122
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 123
6.1 CONCLUSIONES 123
6.2 RECOMENDACIONES 125
Bibliografía 126
ANEXOS 128

CLÁUSULA DE DERECHO DE AUTOR

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Abdón Mauricio Izquierdo Flores, autor de la tesis "Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la Central Termoeléctrica "El Descanso", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 21 de Octubre de 2015

C.I: 0104597232

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Abdón Mauricio Izquierdo Flores, autor de la tesis, "Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la Central Termoeléctrica "El Descanso", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de Octubre de 2015

C.I: 0104597232

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar conmigo, cuidarme en todo momento y no dejarme solo, por brindarme la sabiduría y las fuerzas necesarias para tomar decisiones difíciles pero correctas, gracias por ayudarme a ser quien soy.

Agradezco de todo corazón a mis padres y hermanos, quienes han sido la luz que ha marcado mi camino. Con su amor, ejemplo y palabras de aliento he terminado esta etapa de mi formación personal.

También quisiera agradecer de una manera muy especial al Ingeniero Fernando García Ávila, director de este trabajo, por sus acertadas accesorias, por compartir sus conocimientos y experiencias que fueron guías en el caminar de este proyecto.

Un gran agradecimiento al Ingeniero Diego Idrovo por su dedicación y tiempo brindados, por su motivación y experiencia, que gracias a ellas he podido terminar satisfactoriamente el estudio.

A todas las personas que de forma directa o indirecta ayudaron a la realización de este trabajo; al Sr. Jaime Sánchez, a la Empresa Electro Generadora Del Austro “Elecaustro” por abrirme sus puertas, a los laboratorios Tecnológico de la Facultad de Ciencias Químicas y de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería por los equipos y los materiales brindados, sin su ayuda no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante y especial de mi vida, por haberme dado las fuerzas para terminar este largo y difícil camino.

A mi madre Juana, por su amor incondicional, y ser la persona quien me ha acompañado y apoyado durante toda mi vida, gracias por siempre estar ahí, a ti te dedico todo mi esfuerzo y trabajo, se que sin ti no lo podría hacer.

A mi padre Abdón, mi gran ejemplo, por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, por enseñarme los valores y principios de una buena persona y que ahora los llevo conmigo.

A mis hermanos Juana y Martín, por estar siempre presentes, por ser mi incentivo y motivación para seguir siempre adelante.

Mauricio Izquierdo Flores

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Uno de los principales desafíos de la humanidad presentes en el siglo XXI es el de asegurar la suficiente agua y energía para su bienestar, manteniendo conjuntamente la integridad y la capacidad de recuperación de las cuencas hidrográficas. Los problemas de disponibilidad de agua son cada vez mayores, debido al incremento de las demandas y a la escasez de recursos. El gran aumento del consumo de agua que se presenta con tres fines principales: el agropecuario, domésticos e industrial, han creado y siguen creando una muy seria degradación de su calidad debido a los vertidos de residuos contaminantes (hidrocarburos, fertilizantes, metales pesados), muy superior a la tasa de asimilación de los ecosistemas naturales. [1]

Existen tres tipos de extracción de agua en las que se distinguen: las agropecuarias, las domésticas, y las industriales. A nivel global, las proporciones de extracción son alrededor de 70% agropecuario, 11% municipal y 19% industriales. Estas cifras, sin embargo, están influenciadas fuertemente por pocos países que tienen una extracción de agua muy elevada en comparación con otros. Sin embargo calculando las proporciones de cada país y tomando el promedio de estas globalmente señala que para un país dado, estas proporciones son de 59%, 23% y 18% respectivamente. En América del Sur se presenta 74% agrícola, 15% municipal y 11% industrial. [1]

Las centrales térmicas o termoeléctricas son instalaciones empleadas en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como carbón, derivados de petróleo o gas natural. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Son consideradas las centrales más económicas y rentables, por lo que su utilización está muy extendida en el mundo tanto en los países desarrollados como en los de vía de desarrollo, a pesar de que estén siendo

criticados debido a su elevado impacto ambiental. [3]

Estas centrales se basan en la transformación de energía química en energía térmica (por combustión) y la energía mecánica (rotación de las turbinas), en energía eléctrica (en los generadores). Las centrales térmicas necesitan grandes cantidades de agua, de ahí su localización en las proximidades de ríos, lagos o mares. Sin embargo el agua captada desde una fuente no puede ser utilizada directamente en los distintos procesos ya que la calidad no siempre está disponible en origen, por lo que deben someterse a procesos de acondicionamiento.

Los principales procesos para alcanzar un agua de la calidad necesaria para ser utilizada en centrales térmicas son los siguientes:

- Pretratamientos o tratamientos primarios, desarenado y desaceitado, coagulación – floculación, sedimentación, filtración.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión, en otras palabras ayudan en su aglomeración. Ya en la práctica todo este procedimiento se caracteriza por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. Lo referente al proceso de floculación favorece con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas, dichas partículas llegan a aglutinarse para formar lo que se conoce como un floc que puede ser eliminado fácilmente por procesos de decantación y filtración. Estos dos procesos deben ser utilizados correctamente, ya que la producción de floc sea este muy ligero o muy pequeño produce una decantación insuficiente; provocando que el agua que llega a los filtros contenga una cantidad importante de partículas floc que rápidamente enturbian los filtros y necesitan ser lavados frecuentemente. Por otro lado cuando el floc es frágil, se rompe en pequeñas partículas que pueden atravesar el filtro y alterar la calidad de agua. [5]

El agua contiene una gran variedad de impurezas tanto solubles como insolubles; entre las últimas predominan los microorganismos, sustancia

húmicas y partículas coloidales en general, estas partículas son las encargadas de establecer el color y la turbiedad de las aguas. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Aunque su concentración es muy estable, no muestra tendencia de aproximación entre partículas. [5]

Es por eso que se deben modificar algunas características del agua para que estas sustancias puedan ser removidas, esto se logra a través de los procesos de coagulación – floculación, sedimentación, filtración. La coagulación y floculación es la base primordial para un buen funcionamiento de una planta de agua; ya que si ésta etapa de tratamiento no tiene un buen funcionamiento o no es controlado correctamente afectará las etapas siguientes del proceso, ocasionando un agua de mala calidad, lo que posiblemente causara daños en otros procesos y causando seguramente pérdidas económicas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

- Determinar la dosis óptima del Coagulante Sulfato de Aluminio, en función de la turbiedad, color y pH, para el tratamiento de agua en la Planta de la Central Termoeléctrica “El Descanso”.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Realizar ensayos a escala de laboratorio empleando el equipo de prueba de jarras aplicando distintas dosis de coagulante Sulfato de Aluminio de acuerdo a los parámetros físico – químicos de turbiedad, color y pH.
- Analizar detenidamente los resultados obtenidos después de la realización de la prueba de jarras basadas en los parámetros físicos y químicos; y determinar para cada caso la dosis óptima de coagulante.

- Presentar los resultados, elaborando tablas, gráficas y estableciendo la dosificación del coagulante y su relación con los parámetros que se han analizado.
- Aplicar las dosis óptimas establecidas según los parámetros que presente el agua cruda, para la obtención de un agua de mejor calidad y mejorar el uso del coagulante utilizado actualmente en la planta.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El agua destinada a la industria térmica debe mostrar particularmente bajos contenidos de sales de calcio y magnesio para presentarse en condiciones aptas y poder ser utilizada en los diferentes sistemas de la industria. En la Central Térmica El Descanso es de gran importancia contar con un agua tratada de buena calidad, ya que el correcto funcionamiento de los procesos de la industria que la emplean dependen de ésta.

La generadora térmica para el funcionamiento de sus distintas máquinas y equipos necesita de agua, la misma que es captada del río Cuenca, la cual una vez sometida a un proceso de tratamiento es usada principalmente en: calderos, calderetas, para el enfriamiento de inyectores y camisas, sistema contra incendios, y para la limpieza.
Para el tratamiento del agua, la planta de la Central “El Descanso” utiliza un sistema convencional conformado por los procesos de: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. [6]

Para el proceso de coagulación y floculación se está empleando el Sulfato de Aluminio tipo A, este coagulante tiene la función de remover material coloidal, sustancias orgánicas e impurezas en solución de todo tipo de aguas, además de su bajo costo, la función principal del coagulante es la de suministrar iones capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y así provocar su precipitación. [6]

En la planta de tratamiento no se maneja una dosis óptima del coagulante, su adición se lo realiza basándose visualmente en el nivel de turbidez que presente el agua; es decir a mayor turbidez mayor cantidad de coagulante y viceversa. Provocando que en ocasiones se utilice más coagulante del necesario causando una sobredosificación y pérdidas económicas, por lo contrario al dosificar menos de lo necesario no se obtiene un buen proceso de coagulación; provocando que en el posterior proceso de floculación los parámetros físico – químicos como la turbiedad y el color no sean removidos adecuadamente.

Por lo que en este proyecto se plantea la DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO REQUERIDAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE LA PLANTA DE LA CENTRAL "EL DESCANSO" de acuerdo a la variación en los parámetros de turbidez, color y pH basándonos en varios ensayos de prueba de jarras.

Presentando las siguientes justificaciones.

1.4.1 Justificación Técnica

Es necesario e importante desarrollar este tema para dosificar la cantidad de coagulante óptimo para el agua que entra a la planta, mejorar la calidad de la misma y reducir problemas en el funcionamiento de los diferentes procesos.

1.4.2 Justificación Económica

La realización de este proyecto supone una alternativa económica visible y viable que se puede alcanzar mediante la utilización correcta del coagulante Sulfato de Aluminio, ya que al dosificar solo lo necesario se optimizará el uso del coagulante.

1.4.3 Justificación Ambiental

Este proyecto de tesis toma como principal fundamento el utilizar una agua de mejor calidad a nivel de la industria térmica ya que es una alternativa para la conservación del medio ambiente.

1.5 HIPÓTESIS.

Según lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente hipótesis en base a la eficiencia del presente proyecto. Al determinar la dosis óptima de Sulfato de Aluminio tipo A, se logrará mejorar el proceso de coagulación y a su vez la etapa de floculación, debido a que se aplicará la dosis óptima de coagulante para cada valor de turbidez, favoreciendo la remoción de impurezas del agua cruda

CAPÍTULO II

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA ELECAUSTRO S.A

2.1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

La Empresa Electro Generadora del Austro, ELECAUSTRO S.A., inició formalmente sus labores el día 13 de septiembre de 1999. Entre el 1 de enero y el 13 de septiembre de 1999, las actividades de producción de ELECAUSTRO se desarrollaron como uno de los principales objetivos de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur y la información contable se registra desde el 1 de mayo de 1999. [6]

La empresa tiene como misión “Generar energía para el mercado eléctrico ecuatoriano, mediante diversas fuentes de producción, con estricto respeto a la bioética, optimizando el uso de los recursos y desarrollando nuevos proyectos para ofrecer energía eléctrica de manera continua, confiable y con costos competitivos, contribuyendo así al desarrollo social y económico de la comunidad y de su personal”. [6]

Dentro de los principales objetivos de ELECAUSTRO están:

- Impulsar, ampliar y diversificar la capacidad de generación.
- Fortalecer la participación para la gestión.
- Mejorar los procesos técnicos y administrativos de la empresa.
- Mantener un clima organizacional sano y sustentable.
- Promover el respeto al medio ambiente e instituir programas de responsabilidad social. [6]

2.2 INFRAESTRUCTURA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

El parque de generación energética de ELECAUSTRO está formado por dos tipos de tecnologías: plantas térmicas de combustible diésel y residuo de petróleo, y plantas hidroeléctricas. Las centrales térmicas constituyen lo que es la Central Térmica El Descanso y la Mini Central Gualaceo, por su parte las

centrales hidroeléctricas están conformadas por el Complejo Hidroeléctrico Machángara y la Central Hidroeléctrica Ocaña. [7]

2.3 CENTRAL TERMOELÉCTRICA EL DESCANSO

Las instalaciones de la Central de Generación Térmica El Descanso están localizadas aproximadamente en el km 15 de la vía Panamericana Norte al nororiente de la ciudad de Cuenca, sector El Descanso perteneciente a la parroquia Javier Loyola, cantón Azogues, provincia del Cañar. [7]

La Central está compuesta por varias instalaciones en las que se distinguen primordialmente la casa de máquinas (nave industrial que aloja el equipamiento termoeléctrico, de control y maniobra; al igual que sistemas auxiliares de transporte de combustible, enfriamiento y lubricación). En la parte externa y próximo a la casa de máquinas se sitúan torres de enfriamiento, chimeneas y los tanques de almacenamiento de combustible; así como la planta para tratamiento de agua captada del río Cuenca en un caudal promedio entre las épocas de invierno y verano de 13 l/s, el agua tratada es utiliza en diferentes procesos industriales siendo los principales: sistema de agua blanda, sistema de enfriamiento, sistema contra incendios, y para la limpieza en áreas administrativas**.** Cercano a la casa de máquinas también se ubican bodegas y talleres para el equipamiento y actividades de mantenimiento de la subestación, bodegas para almacenamiento de desechos sólidos comunes y peligrosos, un separador agua – aceite (planta API de tratamiento de afluentes) y un sistema contra incendios. La Central dispone de un conjunto de edificaciones para propósitos relacionados con servicios generales, administrativos y de guardianía, las mismas que se encuentran alejadas de la zona de generación eléctrica. Las instalaciones se complementan finalmente con un área verde y de recreación cercano a las instalaciones y de cuidado de la empresa (Imagen 2 – 2).

Imagen 2 – 1: Complejo Termoeléctrico El Descanso
Fuente – Elaboración: (Barragán 2013)

2.3.1 Visión general del proceso

El proceso de generación termoeléctrica de la Central El Descanso es mediante motores de combustión interna que utilizan diésel – crudo residual. Los cuatro grupos electrógenos de fabricación japonesa están formados por sendos motor – generador, cada uno de 4 800 kW de capacidad nominal (4 300 kW de potencia efectiva) es decir, una potencia total instalada de 19,2 MW. La tensión de operación es 6,3 kV, que luego es elevada a 22 kV para efectos de trasmisión de energía desde las barras de la subestación de distribución de CENTROSUR. [7]

En estado de operación normal, el combustible empleado para el funcionamiento de los grupos es crudo residual más el 5% de diésel, mientras que para el arranque y paradas de las unidades únicamente se usa diésel.

Como equipamiento de apoyo, internamente en el sótano se ubican tres tanques (hidrocarburos sucios, combustibles y aceites), mientras que para el calentamiento del producto externamente se dispone de cuatro calderas que usan los gases de escape para la producción de vapor, una caldero auxiliar de apoyo, cuatro filtros de aire y cuatro chimeneas. Así también, el proceso demanda agua para enfriamiento y trasferencia de calor, la misma que es abastecida y tratada por medio de una planta que aprovecha parte del caudal del río Cuenca. [7]

La operación de la Central involucra:

- Conversión de la energía química del combustible en energía térmica y mecánica a través de los motores de combustión interna.
- Conversión de energía mecánica a energía eléctrica en el generador.

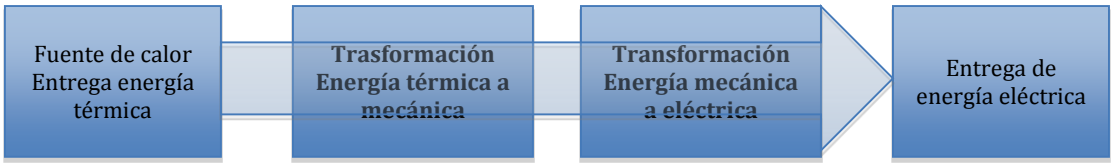


Figura 2 – 1: Fases principales de la generación termoeléctrica
Fuente: (Barragán 2013)
Elaboración: Autor

El proceso de conversión de energía demanda de algunos insumos, siendo los principales recursos: combustible, agua y aceite lubricante. Requiriéndose además de otros materiales para la operación y mantenimiento, de máquinas y de la planta de agua como: aditivos, coagulante, repuestos, grasas, materiales de mantenimiento, como también suministros domésticos para el funcionamiento de los respectivos sitios de trabajo (Figura 2 – 2). [7]

2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL DESCANSO

2.4.1 Generalidades de la planta de tratamiento de agua

La Planta de Tratamiento de la Central Termoeléctrica es de tipo convencional, diseñada para operar con un caudal de promedio de 15 l/s. La planta utiliza una secuencia de procesos estándar la cual está compuesta de obras de captación, conducción del agua cruda, recepción, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento de agua tratada, distribución.

2.4.2 Descripción del proceso de la planta de tratamiento

2.4.2.1 Captación

El río Cuenca mantiene un caudal regular la mayor parte del año, sin embargo cuando se producen precipitaciones constantes alcanza caudales significativos

generalmente en las épocas de invierno, en los tiempos de estiaje aporta el tirante de agua necesario para derivar el caudal requerido.

El proceso de tratamiento inicia con la captación de agua cruda en el río Cuenca, ubicada aproximadamente a un kilómetro aguas arriba de la planta (puente Jadán).

La captación de agua cruda se realiza mediante un canal de derivación; formado por una simple bocatoma acoplada a un canal de derivación fundido, el mismo que está conectado al pozo de captación mediante dos tuberías, en la cual cada caudal puede ser regulado manualmente por medio de válvulas dependiendo del flujo de agua cruda deseado para tratar, el agua ingresa directamente al pozo mediante las tuberías para su posterior conducción, para evitar el ingreso de solidos flotantes se posee dos compuertas y rejas (Imagen 2 – 2).

Imagen 2 – 2: Captación del agua cruda del río Cuenca
Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.2 Conducción de agua cruda

La conducción del agua cruda comprende dos tramos. En el primer tramo el agua es conducida por gravedad mediante tubería subterránea desde la captación al pozo tipo reservorio (capacidad de 18 m^3), encontramos 7 válvulas a lo largo del trayecto las mismas que sirven para limpieza, disminución del caudal, y desviación del agua cruda (Imagen 2 – 3).

Imagen 2 – 3: Conducción de agua cruda tramo #1
Fuente – Elaboración: Autor

En el segundo tramo el agua es trasportada por tubería subterránea mediante bombeo (dos bombas eléctricas) desde el pozo tipo reservorio al tanque de carga que se encuentra previo al vertedero. (Imagen 2 – 4).

Imagen 2 – 4: Conducción de agua cruda tramo #2
Fuente – Elaboración: Autor

La tabla 2 – 1 nos indica la longitud y el diámetro nominal de las tuberías del tramo #1 y #2 de la conducción del agua cruda

Tabla 2 – 1: Tuberías, conducción agua cruda

Tramo	Longitud (m)	Diámetro Nominal (mm)
#1 Captación – pozo subterráneo (gravedad)	1 300	200
#2 Pozo subterráneo – tanque de carga (bombeo)	60	80

Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.3 Recepción

La recepción del agua se lo hace en un tanque de carga de aproximadamente 3,6 m^3, el cual consta de una tubería para desfogue y por la parte inferior la entrada de agua cruda mediante una tubería provenientes del pozo subterráneo, el agua puede ser regulada manualmente por medio de válvulas dependiendo del flujo de agua que se desea tratar (Imagen 2 – 5).

Imagen 2 – 5: Pozo subterráneo
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 2 – 6: Tanque de carga
Fuente – Elaboración: Autor

A continuación el agua se conduce al vertedero rectangular, el cual cuenta con rejillas para evitar el paso de todo material solido grueso que puedan afectar el correcto funcionamiento de las siguientes etapas (Imagen 2 – 6).

La tabla 2 – 2 señalan las dimensiones y volúmenes de los depósitos de recepción del agua cruda.

Tabla 2 – 2: Pozos, recepción agua cruda

Depósitos	Dimensiones largo, ancho, profundidad (m)	Volumen (m^3)
Pozo subterráneo	3 * 2 * 3	18
Tanque de carga	1,40 * 2 * 1,30	3,6

Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.4 Coagulación (mezcla rápida)

El coagulante utilizado es el Sulfato de Aluminio Tipo A la solución es preparada en tanques de nivel constante con orificio graduable. Una vez que se añade la sustancia química al agua, se realiza la mezcla rápida, para lograr esto se presenta un diseño de resalto hidráulico (vertedero rectangular).

El agua luego de pasar por el vertedero rectangular (Imagen 2 – 7), cae libremente formando el resalto hidráulico en la base (Imagen 2 – 8), el resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta a consecuencia del retardo que tolera una corriente de agua que fluye a elevada velocidad y pasa a una zona de baja velocidad.
En esta etapa se la añade un coagulante que ayude a la remoción de las impurezas que presenta el agua cruda.

Imagen 2 – 7: Vertedero rectangular
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 2 – 8: Resalto hidráulico
Fuente – Elaboración: Autor

El coagulante utilizado es el Sulfato de Aluminio tipo A, el cual es dosificado por vía húmeda, es previamente preparado por el operador de la planta, la solución se prepara al 5% en dos tanques de PVC de 1000 litros cada uno (Imagen 2 – 9), colocando un quintal de 50 kg de sulfato de aluminio en cada tanque. Las cantidades aproximadas de dosificación de la solución según el operador de la planta son de 400 a 800 cm^3/min para turbiedades normales o bajas y de 1 000 a 1 500 cm^3/min para turbiedades elevadas; las diferentes turbiedades que pueda presentar el agua son distinguidas visualmente únicamente por el operador, ya que no se cuenta con un laboratorio de control de calidad del agua.

Imagen 2 – 9: Tanque de nivel constante con orificio graduable
Fuente – Elaboración: Autor

Los tanques de nivel constante con orificio graduable se encuentran conectados mediante tuberías que llevan la solución preparada hacia un tubo tipo flauta (Imagen 2 – 10) que se encuentra al final del vertedero, la sustancia debe ser distribuida de manera uniforme y rápida en los lugares de mayor turbulencia, sin embargo esta flauta improvisada no se encuentra en un correcto funcionamiento

ya que no dispersa el coagulante uniformemente en el agua, provocando que el Sulfato de Aluminio no reaccione con eficacia.

Cabe mencionar que no se añade ningún tipo de ayudante de coagulación en las etapas del tratamiento.

Imagen 2 – 10: Flauta improvisada, dosificación del coagulante
Fuente – Elaboración: Autor

La tabal 2 – 3 ensaña las dimensiones del vertedero.

Tabla 2 – 3: Vertedero rectangular

	Dimensiones largo, ancho, profundidad (m)	**Volumen (m^3)**
Vertedero rectangular	4,30 * 0,40 * 0,90	1,54

Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.5 Floculación (mezcla lenta)

En esta etapa se da la formación y crecimiento de agregados floculentos (flóculos o flocs) gracias a la aglomeración de partículas desestabilizadas. Para que se produzca esta acumulación se necesita una agitación lenta o mezcla lenta que se produce en los floculadores.

Los floculadores son de tipo hidráulico de flujo horizontal con pantallas de cemento – asbesto (1 cm de espesor y 18 cm de altura), están formados por 3 unidades en los cuales por el diseño que presenta el agua fluye por gravedad (tabla 2 – 4).

La planta cuenta con tres cámaras de mezcla lenta (Imagen 2 – 11 y 2 – 12). Las tres unidades se encuentran funcionando en correctas condiciones; sus respectivas gradientes y tiempos de retención están dentro de los rangos necesarios para que se formen y aglomeren los flóculos sin ningún problema.

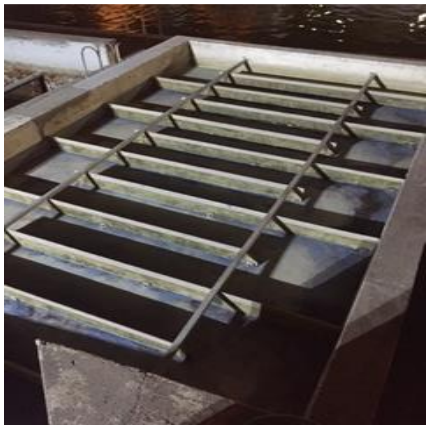


Imagen 2 – 11: Unidad #1
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 2 – 12: Unidades #2 y #3
Fuente – Elaboración: Autor

La tabla 2 – 4 presenta las dimensiones y número de tabiques de cada una de las unidades del floculador.

Tabla 2 – 4: Floculador hidráulico de flujo horizontal

Unidades	Dimensiones largo, ancho, profundidad (m)	Número de Tabiques
Primera	5,75 – 3,15 – 0,12	11
Segunda	19,0 – 3,20 – 0,15	33
Tercera	16,5 – 3,45 – 0,16	22

Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.6 Sedimentación

El proceso de Sedimentación se realiza en un decantador laminar de placas paralelas cemento - asbesto, de flujo ascendente. El sedimentador posee 48 pantallas dispuestas de modo paralelo, con 5 cm de separación y un ángulo de 60º de inclinación.

El agua floculada se distribuye en el sedimentador laminar de flujo inclinado por debajo de la parte inferior de las pantallas, logrando minimizar la acumulación de flóculos sedimentados en su interior (Imagen 2 – 13). La recolección del agua

decantada se realiza por medio de 3 tubos PVC perforados (tipo flauta) de 110 mm de diámetro ubicados en la parte superior del sedimentador, que desembocan en un canal lateral de recogida.

Imagen 2 – 13: Sedimentador laminar de flujo inclinado
Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.7 Filtración

A continuación de la sedimentación el agua decantada pasa mediante bombeo hacia los filtros. El agua es sometida a un proceso de filtración rápida mediante dos filtros a presión tipo mixto (piedra – arena – grava), presentan una forma de cilíndricos cerrados y herméticos colocados en forma vertical y que trabajan simultáneamente (Imagen 2 – 14); quedando retenidas las partículas en los depósitos y obteniendo agua con un contenido inferior en sólidos suspendidos.

El lavado de los filtros es diario debido a que el lecho filtrante va ensuciándose progresivamente con la retención de sólidos, hecho que es detectado por caída del caudal filtrado, el lavado se lo hace en contracorriente para retirar los sólidos retenidos y volver a la operación normal del filtro.

Imagen 2 – 14: Filtros rápidos a presión
Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.8 Desinfección

Se utiliza la cloración como método de desinfección del agua, el cloro - gas se encuentra almacenado en un cilindro de 68 kg.

La alimentación de cloro – gas se realiza por solución (Imagen 2 – 15), es decir, el gas se disuelve previamente en una corriente de agua menor y la solución resultante es dosificada en los depósitos de agua tratada (dos piscinas de 400 m^3). El cloro – gas es suministrado en cantidades de 5 kg/h únicamente en las noches.

El control de la cloración es realizada por el operador de la planta, quien a la hora que termina su día laboral (16h30) enciende el equipo de desinfección, el mismo que es apagado al siguiente día al inicio de la jornada laboral (08h00).

Imagen 2 – 15: Desinfección cloro – gas
Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.9 Almacenamiento de agua tratada

El agua tratada es conducida para su almacenamiento a una primera piscina de 400 m³ (Imagen 2 – 16), la cual se encuentra conectada a una segunda piscina de volumen similar mediante una válvula permitiendo el paso del agua (Imagen 2 – 17), en este punto el agua se encuentra lista para ser distribuida a los diferentes procesos que la requieran. Las dos piscinas trabajan conjuntamente distribuyendo el agua de igual manera.

Imagen 2 – 16: Piscina #1
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 2 – 17: Piscina #2
Fuente – Elaboración: Autor

2.4.2.10 Distribución de agua tratada

El agua tratada es distribuida a los siguientes sistemas:

- Sistema de agua blanda: caldero y calderetas.
- Sistema de enfriamiento de: camisas del motor de combustión interna, inyectores, aire del motor de combustión interna, sistema de aceite.
- Aseo personal.
- Sistemas contra incendios.
- Limpieza en áreas administrativas.

Imagen 2 – 18: Distribución de agua tratada
Fuente – Elaboración: Autor

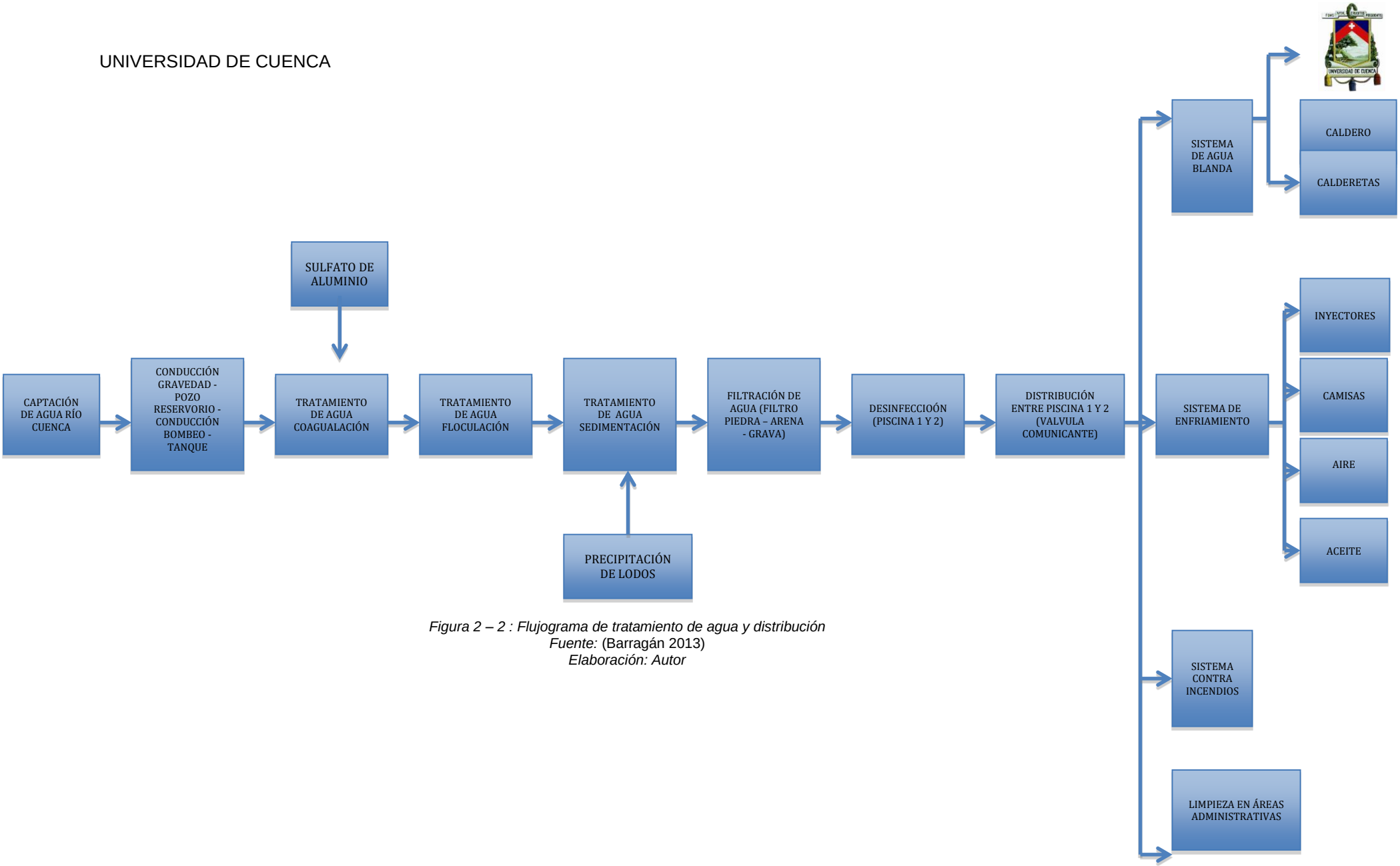


Figura 2 – 2 : Flujograma de tratamiento de agua y distribución
Fuente: (Barragán 2013)
Elaboración: Autor

CAPÍTULO III

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 El agua

El agua es un líquido insípido, incoloro e inodoro. Hablamos de un compuesto químico representado por la formula H2O, la cual indica que es la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno. Sin embargo, el agua químicamente pura es un líquido extremadamente escaso y difícil de obtener, debido precisamente a que es un solvente casi universal y en el que prácticamente todas las substancias son solubles hasta cierto grado. A causa de esta propiedad, el agua se contamina frecuentemente por las substancias con las que entra en contacto. [8]

3.1.2 Estructura química del agua

La molécula de agua está estructurada por la unión entre el oxígeno y los hidrógenos mediante enlaces covalentes que hacen que la molécula sea bastante estable, en los que cada átomo de hidrógeno de una molécula comparte un par de electrones con el átomo de oxígeno, como se observa en la figura 3 – 1. Esto se debe a que el oxígeno posee una mayor electronegatividad que el hidrógeno provocando que los pares de electrones compartidos se ven atraídos con más fuerza por el núcleo del oxígeno que por el del hidrógeno. [9]

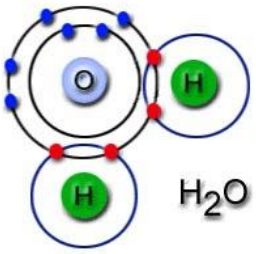


Figura 3 – 1: Estructura de la molécula de agua
Fuente – Elaboración: (Calvo 2005)

3.1.3 Parámetros del agua

El agua natural es una solución que está compuesta por varios agregados, los mismos que se van adhiriendo de acuerdo a los procesos del ciclo hidrológico y que le dan un carácter diferente a las aguas naturales dependiendo de la composición de los suelos, a su ubicación y a los procesos químicos y físicos que se realizan durante su paso. [10]

Tabla 3 – 1: Parámetros del agua

Parámetros Químicos	Dureza, Acidez, Alcalinidad, pH, Fosfatos, Sulfatos, Mn, Fe, Oxígeno disuelto, Cloruros, Grasas y/o Aceites, Amoníaco, Ag., Hg., Cr., Zn., Pb., B., Cd., Ba., As., Cu., Nitratos, Pesticidas.
Parámetros Físicos	Color, Turbiedad, Olor – Sabor, Conductividad, Temperatura, Sólidos.

Fuente: (Ruiz 2013)
Elaboración: Autor

3.1.3.1 Parámetros químicos

a) Dureza

La dureza está definida como la suma de todos los cationes polivalentes presentes en el agua, siendo los más importantes el calcio y el magnesio. [11]
La dureza depende y está relacionada con el pH y la alcalinidad, un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y llegar a obstruirlas por completo. En los tratamientos de agua para realizar la remoción de la dureza se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante le proceso de ablandamiento cal – soda (combinación cal – carbonato). [12]

b) Acidez

La acidez de un agua se puede definir como su capacidad para neutralizar bases, capacidad para reaccionar con iones hidróxido o como su capacidad para ceder protones. La determinación de la acidez es importante debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que suponen la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión. [10]

c) Alcalinidad

La Alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar ácidos, la alcalinidad está influenciada por el pH, la composición del agua, la temperatura, y la fuerza iónica. La alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento y control de la corrosión. [10] [12]

d) pH

El pH influye en varios fenómenos que se producen en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sin embargo, si puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali que por lo general es la cal para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos se requiere volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustaciones. Por lo general, las aguas naturales presentan un pH de 6,5; el pH de las aguas crudas debería mantener el mismo rango. [12]

e) Fosfatos

Es muy común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de la vida acuática y ayudantes del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etc.
Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua. [17]

f) Hierro

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua. La remoción del hierro de las aguas crudas superficiales es relativamente fácil con los procesos comunes de remoción de la turbiedad. [17]

g) Nitritos y Nitratos

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoniaco, nitratos y nitritos. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. [12]

h) Sulfatos

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. [12]

i) Cloruros

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar la calidad del agua. A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo. El método tradicional, que puede resultar más eficiente y práctico para su remoción, es el de la destilación. [17]

j) Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta, son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. El incremento de concentración en las aguas de estos compuestos se debe principalmente a contaminación puntual de origen industrial o minero. [17]

3.1.3.2 Parámetros físicos

a) Color

El agua es incolora, por lo que si presentase color, este debido a la presencia de sustancias extrañas, lo que genera el color es la presencia de sustancias disueltas. Existen dos tipos de colores: el color verdadero, es el color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de las substancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. [13]

Generalmente se acostumbra a medirlo conjuntamente con el pH, pues la intensidad del color depende del pH, ya que normalmente el color aumenta con el incremento del pH.

b) Turbiedad

En el agua la materia puede presentarse en tres estados: disuelta, en suspensión en forma de partícula y en suspensión coloidal. El primer estado está constituido por una sola fase (líquida), mientras que los otros están constituidas por dos fases, una líquida (agua) y otra sólida en suspensión. La suspensión coloidal se diferencia de la suspensión de partículas solo por la razón de que estas son demasiado pequeñas para ser eliminadas por sedimentación o filtración convencional. Los estados en suspensión en forma de partícula y en suspensión coloidal corresponden a la turbiedad y la disuelta al color. [11]

La remoción de turbiedad en general no es un proceso difícil de llevar acabo, sin embargo, es uno de los que más influyen los costos de producción, porque generalmente se requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH y ayudantes de coagulación.

c) Olor – Sabor

El agua es inodora e insípida pero al igual que el color, son los sólidos en suspensión y disueltos los que pueden proporcionar olor y sabor al agua. Puesto que estas características son de apreciación muy personal, son muy difíciles de poder cuantificar.

d) Conductividad

La conductividad representa la capacidad para conducir la electricidad, por lo que el factor que más influye en ello es la presencia de sales disueltas, es decir, los iones presentes. La conductividad se mide en un conductímetro. [13]

e) Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento de agua y análisis de laboratorio. Por otro lado, influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la desinfección y los procesos de mezcla, la floculación, sedimentación y filtración.

La temperatura del agua varía según la región geográfica y el clima, en general, mientras no exceda los 30 °C no presenta problemas mayores. [13]

f) Sólidos

Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos. La distribución de partículas en el agua según su tamaño, es:

- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir el color u olor del agua.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1 000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1 000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo y son también causantes de la turbiedad. [12]

En la figura 3 – 2 se explica los tamaños posibles hasta los que pueden llegar los diferentes sólidos en el agua.

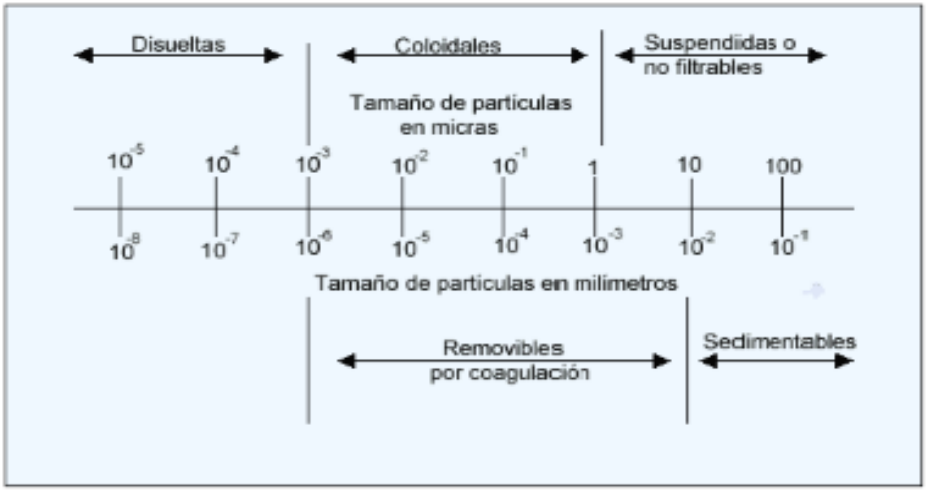


Figura 3 – 2: Tamaño de sólidos
Fuente – Elaboración: (Arboleda 2000)

3.2. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN

3.2.1 Introducción

Las aguas superficiales contienen una gran variedad de materias, el tamaño y la naturaleza de las partículas de estas materias determinan los diferentes tipos de tratamiento dentro de las plantas de agua. Las partículas de tamaño muy grande pueden ser eliminados por los tratamientos de separación física como son:

- 10 a 100 mm son separados por sistema de rejillas.
- 0,2 a 10 mm son separados por desarenación, sedimentación, flotación.
- 0,01 a 0,1 mm son separados por filtración.

Mientras que las partículas muy finas son parte de las materias solubles y de las materias coloidales. [14]

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas se mantienen en suspensión en el agua por tiempo continuo y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. En general su concentración es muy estable y no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras.

La eliminación de estas partículas se lleva a cabo mediante la utilización de los procesos de coagulación y floculación; el objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas en suspensión, en otras palabras facilita su aglomeración, este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. Por su parte la floculación favorece con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas, las mismas que se aglutinan para formar un flóculo (floc) que pueda ser fácilmente eliminado pro los posteriores procesos de sedimentación y filtración. [14]

Es muy importante que estos dos procesos sea utilizados correctamente, ya que la creación de un floc muy pequeño o muy ligero produce una decantación insuficiente, provocando que el agua que llega a los filtros contengan una gran cantidad de partículas de floc que rápidamente ensucian los filtros, provocando la necesidad de que sean lavados frecuentemente.

3.2.2 Partículas en suspensión

Las partículas en suspensión de un agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la descomposición de sustancias orgánicas y de la disolución de sustancias minerales. Se debe adicionar a este aporte natural las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas.
La turbiedad del agua en general es causada por partículas de materias inorgánicas como la arcilla, mientras que el color está formado por partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal como el hierro.

3.2.2.1 Tamaño de las partículas en suspensión

Las partículas se clasifican de acuerdo a su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a un micrómetro (µm) que son partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente.

En función de la densidad y dimensiones de las diferentes partículas se presenta una tabla indicando los diferentes tiempos de decantación:

Tabla 3 – 2: Tiempo de decantación de las partículas

Tipo de Partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de Caída	
		Densidad 1,1	Densidad 2,65
Grava	10	0,2 s.	0,013 s.
Arena gruesa	1,0	20,9 s.	1,266 s.
Arena fina	0,1	34,83 m.	126,66 s.
Tipo de Partículas	**Diámetro (mm)**	**Tiempo de Caída**	
		Densidad 1,1	**Densidad 2,65**
Lodo fino	0,01	58 h.	3,52 h.
Bacterias	0,01	249,1 d.	14,65 d.
Coloides	0,0001	66,59 d.	4,12 año.

Fuente: (Andía 2000)
Elaboración: Autor

Si comparamos las diferentes partículas podemos observar que a la misma densidad, las partículas más pequeñas tienen un tiempo de caída muy grande, esto imposibilita la sedimentación sin la adición de un factor externo.

3.2.3 Coloides

Son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden ser removidos del agua mediante coagulación, filtración o acción bilógica. Son sustancias responsables generalmente de la turbiedad y del color del agua, y su diámetro varía entre 1 – 100 nanómetros (nm). [10]

Dos propiedades únicas están asociadas a los coloides, la primera es el movimiento browniano y la segunda poseer un área superficial extremadamente grande. Estas dos propiedades les permiten a las partículas desafiar a la ley de la gravedad y, por lo tanto, impiden su remoción por sedimentación simple. Debido a su gran área superficial, los coloides absorben iones en cantidades desiguales, originando a la formación de una carga eléctrica que contribuye a su estabilidad. [13]

3.2.3.1 Carga eléctrica y doble capa de los coloides

Las partículas coloidales poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas son llamadas cargas primarias que atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos. Los iones que se adhieren fuertemente y se desplazan con ella, forman la capa comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa; por lo tanto hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta. La figura 3 – 3 nos enseña claramente la carga y las diferentes capas que poseen los coloides. [13]

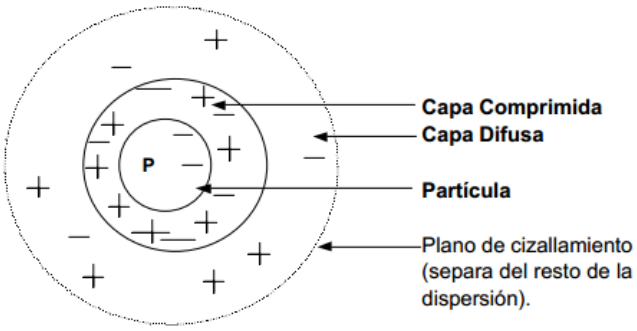


Figura 3 – 3: Coloide
Fuente – Elaboración: (Pérez, Cánepa de Vargas and Ríchter 2010)

3.2.3.2 Factores de estabilidad e inestabilidad de los coloides

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes fuerzas:

- **Fuerzas de atracción de Van der Waals**

  Son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de partículas, factores de inestabilidad. Otra fuerza de atracción puede ser la gravedad.

- **Fuerzas de repulsión electrostáticas**

  Son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras, factor de estabilidad, es decir generan repulsión entre ellas. [14]

3.2.4 Teoría de la coagulación

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las cargas eléctricas de partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; se produce al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. En otras palabras es el proceso por el cual se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores que precipiten. [5]

La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y no precipitan. Gracias al proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas.
En la figura 3 – 4 se puede observar como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formado flóculos.

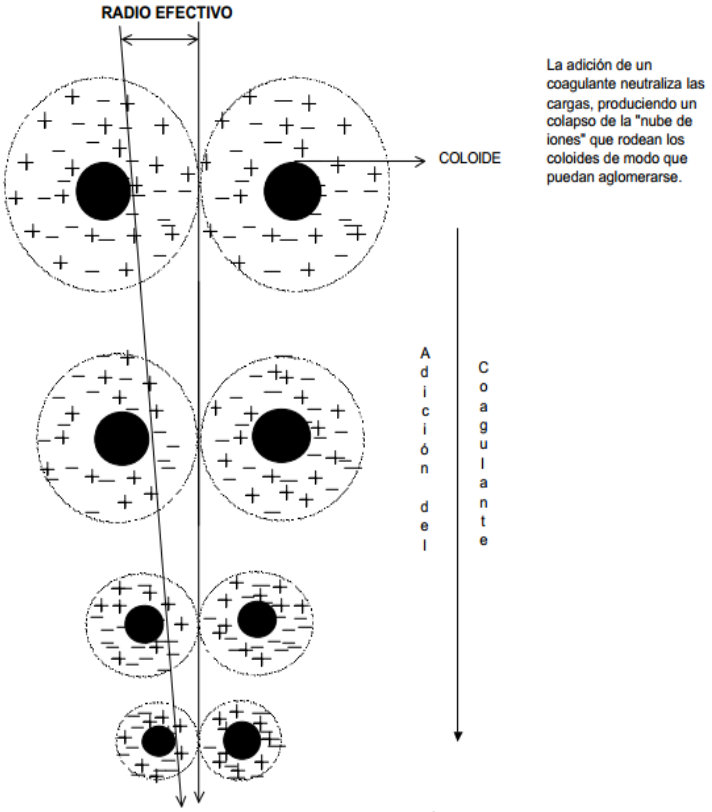


Figura 3 – 4: Coagulación
Fuente – Elaboración: (Andía 2000)

3.2.5 Mecanismos de coagulación

Dicha desestabilización química se puede conseguir mediante los siguientes mecanismos físico – químicos:

a) Coagulación por adsorción (neutralización de carga)

Este tipo de coagulación se presenta cuando existe en el agua una alta concentración de partículas en estado coloidal. En la figura 3 – 5 se puede observar una representación esquematizada de lo que ocurre cuando se agrega una solución de sulfato de aluminio a una agua muy turbia, con alta concentración de coloides, las especies hidrolíticas solubles son adsorbidas por los coloides formándose los flóculos en forma casi instantánea, en un tiempo de 10 E–4 a 1 segundo.

Por la gran cantidad de coloides presentes la distancia entre ellos es pequeña, siendo por lo tanto mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización. [15]

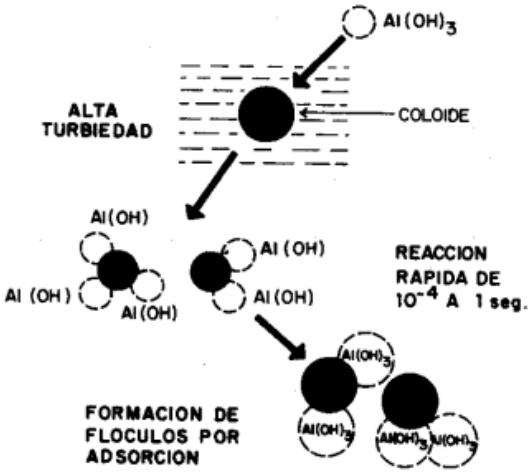


Figura 3 – 5: Coagulación por adsorción
Fuente – Elaboración: (Pérez, Cánepa de Vargas and Ríchter 2010)

b) Coagulación por barrido (incorporación)

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales es pequeña. En este caso como lo explica la figura 3 – 6, las partículas son atrapadas al producirse una sobre saturación de precipitado de sulfato de aluminio.

Debido a la distancia entre las partículas, las fuerzas de atracción son menores y se requiere de mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, el tiempo de reacción puede ser de hasta 7 segundos. [15]

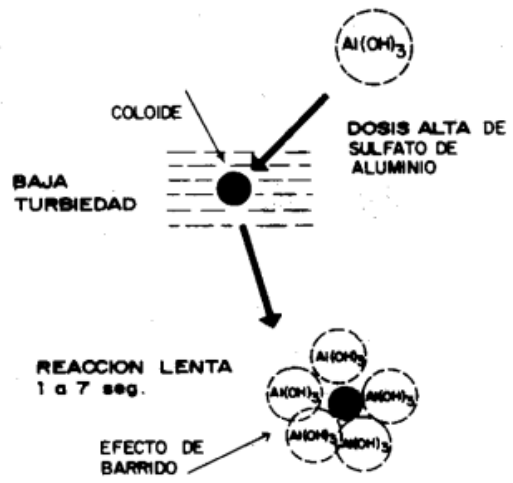


Figura 3 – 6: Coagulación por barrido
Fuente – Elaboración: (Pérez, Cánepa de Vargas and Ríchter 2010)

En este tipo de remoción de turbiedad, no es una verdadera coagulación, pero es lo que más frecuentemente se produce, debido a que en la práctica, las dosis que se usan están por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio o de hierro en el agua, a los pH y temperaturas normales de trabajo.

3.2.6 Factores que influyen en el proceso de coagulación

La coagulación es la fase más importante en un sistema de tratamiento de agua, debido a que una coagulación inadecuada no puede ser corregida en una etapa posterior del tratamiento. Los factores de mayor influencia en el desarrollo del proceso son: la naturaleza del agua cruda, y algunas variables químicas y físicas que estudiaremos a continuación.

3.2.6.1 Naturaleza del agua cruda

Las características del agua cruda que más influyen en la eficiencia del proceso son: la concentración de coloides (turbiedad y color), el tamaño de las partículas y la temperatura.

a) Concentración de coloides

Son medidos normalmente a través de la cantidad de turbiedad o color presentes en el agua.

b) Temperatura

Para explicar la influencia de la temperatura en el proceso de coagulación presentaremos dos regiones según su temperatura; la primera con temperaturas entre 0 y 10 °C y la segunda entre 10 y 40 °C.

En la primera zona se puede decir que los mecanismos dominantes son la viscosidad del agua y el pH y que a medida que la temperatura del agua se acerca a 0 °C, la remoción de turbiedad se dificulta. En la segunda zona la eficiencia es cada vez mejor al aumentar la temperatura porque se incrementa la tasa de colisiones entre las partículas. Dentro de este rango son importantes la alcalinidad y la turbiedad. [17]

3.2.6.2 Variables químicas

La principales son: tipo de coagulante, dosis óptima, pH óptimo, y la concentración óptima de coagulante.

a) Tipo de coagulante

Cada coagulante dependiendo de la calidad y característica del agua, actúa de manera distinta. Por lo que, la selección del tipo de coagulante deberá hacerse mediante pruebas a nivel de laboratorio. Las sales de hierro pueden tener ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman flóculos pesados y debido a que su margen de acción con relación al pH es más amplio. Sin embargo, su manejo a nivel de planta es más complejo que el de las sales de aluminio. En el punto 3.2.8 se hablará más profundamente del tema.

b) Dosis óptima

Para la explicación de la dosis óptima nos basaremos en la figura 3 – 7, en la cual se presentan cuatro curvas de variación de turbiedad residual en función de la dosificación del coagulante con pH constante. Estas curvas están basadas en aguas naturales tratadas con sales de aluminio que contienen grandes cantidades de material coloidal ya sea como color o turbiedad.

Las curvas de coagulación están divididas en cuatro zonas: la zona 1 comprende dosis bajas donde se ha agregado coagulante en cantidad insuficiente para

realizar la desestabilización; la zona 2 corresponde a dosis un poco más altas, donde se realiza la desestabilización y el floc precipita; la zona 3, en donde aún más altas pueden reestabilizar las dispersiones con ciertos valores de pH; por último la zona 4, hay gran cantidad de hidróxidos de aluminio que actúan de tal manera que capturan las partículas colídales (floc de barrido). [15]

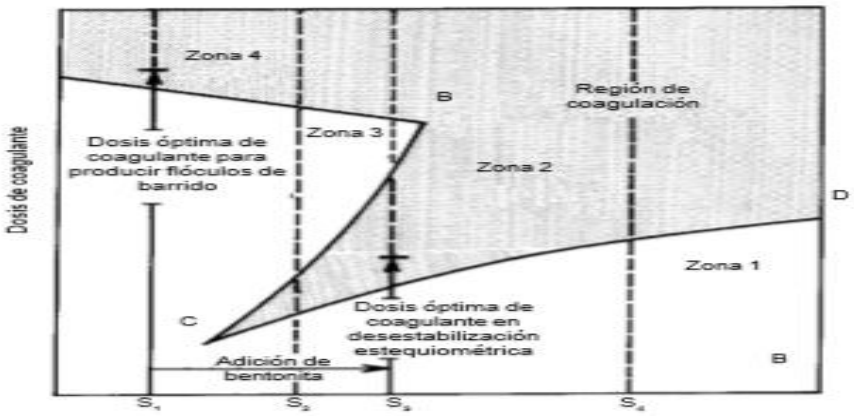


Figura 3 – 7: Concentración de coloide, expresado como concentración de superficie
Fuente – Elaboración: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)

La figura 3 – 7 también presenta la reacción entre la dosis de coagulante y la concentración coloidal (m^2/l) con pH constante. Las concentraciones bajas de coloide (S1) requieren la producción de grandes cantidades de precipitado de hidróxido amorfo. En tales casos, cuando la turbiedad del agua es baja, no hay suficientes partículas en suspensión para producir el contacto necesario en la formación de flóculos. Para mayores concentraciones de coloide (S2, S3) se necesitan menores dosis de coagulante que en el caso S1. En el transcurso de S2 a S4 se puede notar que al aumentar las concentraciones de coloides se requiere también aumentar las de coagulante. [17]

c) Concentración óptima

La aplicación uniforme del coagulante al agua es la principal dificultad para la realización de una coagulación eficiente.

El problema reside en que las cantidades de coagulante son muy pequeñas comparadas con el volumen de la masa de agua, es decir, la dosis es muy pequeña comparada con el volumen de agua que se va a tratar. Una dosis media

de sulfato de aluminio de 30 mg/l a una concentración de 10% representa dispersar un volumen de solución de apenas 300 ml. Con la condición de que haya suficiente turbulencia, la dispersión será más efectiva cuando más diluida sea esta, lo que resultará en una mejor remoción de la turbiedad porque el coagulante entrará más rápido y más fácilmente en contacto con el mayor número de partículas coloidales. [18]

Estudios realizados demuestran que las mejores condiciones para la remoción de turbiedad se producen cuando se utilizan soluciones de sulfato bastante diluidas. Se sugieren valores del orden de 1 a 2% como ideales para adoptar en el proyecto o en la operación de la planta de tratamiento. [17]

d) pH óptima

El pH es un factor muy importante en la coagulación, uno de los procesos químicos más comúnmente utilizados en los sistemas de tratamiento de agua residual es el ajuste del pH. Las aguas residuales demasiados ácidas o alcalinas son perjudiciales para los sistemas colectores, en las plantas de tratamiento y en las corrientes naturales. La eliminación del exceso de acidez o alcalinidad por adición química para proporcionar un pH final próximo a 7 se conoce como neutralización. [14]

En general el pH óptimo para la remoción de aguas con color es más bajo (pH 4 – 6) que para aguas con turbiedad (pH 6,5 – ,5).

3.2.6.3 Variables físicas

Estos factores dependen de las características de la unidad de mezcla rápida por lo que se tratarán extensamente en el punto 3.3.2

3.2.7 Coagulantes

Los coagulantes son productos químicos que al ser adicionados al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos

presentes en el agua, especialmente con la alcalinidad, ya que forman un precipitado voluminoso muy absorbente.

3.2.7.1 Tipos de coagulantes

Cada coagulante dependiendo de las características y la calidad del agua actuará de forma diferente. Por lo que, la selección correcta del tipo de coagulante deberá hacerse mediante trabajos a nivel de laboratorio. Los coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: los coagulantes metálicos y los floculantes llamados también ayudantes de coagulación. [18]

a) Coagulantes metálicos

Existe una gran variedad de coagulantes metálicos, a continuación se presenta una tabla de los tipos de coagulantes existentes en el mercado actual y se procederá a explicar el utilizado en la planta:

Tabla 3 – 3: Clasificación de los coagulantes

Basadas en Aluminio	Basadas en Hierro	Basadas en Calcio	Basadas en Magnesio
Sulfato de aluminio	Sulfato férrico	Cloruro cálcico	Cloruro de magnesio
Polihidroxicloruro de aluminio	Cloruro férrico	Hidróxido cálcico	
Aluminato sódico	Sulfato ferroso		

Fuente: (Gómez 2005)
Elaboración: Autor

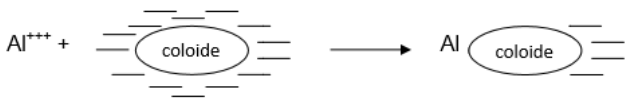
- **Sulfato de aluminio**

Conocido como Alumbre, el producto comercial presenta la formula $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, es el coagulante más empleado en el tratamiento de agua, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Está constituido por una sal de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas, debe tenerse en cuenta esto al proceder a su almacenamiento, preparación y distribución. El coagulante se empaca de diversas maneras: en polvo, molido, en terrones, en granos, y en forma líquida. El alumbre en su forma sólida se empaca normalmente en quintales de 25 y 50 kg. [15]

Se puede presentar en 3 formas:

- Blanco; es más costoso debido a que posee una característica que no es indispensable (libre de fierro).
- Amarillo; es el más común y económico, se produce mediante la reacción del ácido sulfúrico comercial con la bauxita pulverizada.
- Negro; mezcla homogénea de sulfato de aluminio (blanco o amarillo) con 2 a 5% de carbón activo. Se utiliza para el control del sabor y del olor. [19]

El producto comercial tiene la formula $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$.
Cuando se añade soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al+++ y SO4=. El Al+++ puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.



Reduciendo así el potencial zeta a un valor en el que las partículas puedan unirse.
El Al+++ puede también combinarse con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.

$(Al^{+++}) + 3OH^- = Al(OH)_3$

y,

$Al(OH)_3$ + iones positivos $\longrightarrow$ $[Al(OH)_3]^+$

[9]

Entre las ventajas y desventajas del sulfato de aluminio tenemos:

- Conocido, buena disponibilidad.
- Las plantas generalmente están diseñadas para operar con el sulfato de aluminio.
- Los operadores están capacitados y conocen su comportamiento.
- Las autoridades no cuestionan su uso.
- Forma un flóculo blanco casi visible.
- Se requiere un control de pH.

- El rango de trabajo de pH muy limitado.
- Problemas con agua de alta turbiedad.
- Muchas veces requiere un ayudante de coagulación.
- Problemas con el alto contenido de aluminio residual.

3.3 MEZCLA RÁPIDA

Se llama mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. [17]

La intensidad de agitación o el grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien realizada y que se haya producido la neutralización de cargas correspondientes. [14]

Su diseño, operación y construcción ya sea hidráulica o mecánica, debe garantizar la dispersión rápida y homogénea de los coagulantes y ayudantes de coagulación los cuales deben ser aplicados de acuerdo a la dosis óptima determinada por el ensayo de pruebas de jarras.

3.3.1 Parámetros operacionales

Los principales parámetros operacionales de la mezcla rápida son la intensidad de agitación que se debe dar al agua para dispersar al coagulante, el cual es evaluado mediante el gradiente de velocidad, y el tiempo durante el cual debe aplicarse esta agitación al agua. La magnitud de estos parámetros dependerá

del tipo de coagulación que se va a llevar a cabo; ya sea coagulación por adsorción, o coagulación por barrido.

3.3.2 Factores que influyen en el proceso

Sumando a los factores químicos que analizamos anteriormente están los factores físicos, entre los que principalmente tenemos.

a) Intensidad y tiempo de mezcla

Para garantizar una coagulación homogénea, se necesita de una intensa mezcla para poder distribuir uniformemente el coagulante a través del agua, de forma que el mismo entre en contacto con las partículas coloidales antes que la reacción se complete. Por lo tanto, se recomienda que la mezcla sea lo más rápidamente posible, ya que es muy rápida la velocidad de polimerización de estos coagulantes, así como también lo es la velocidad de adsorción de las partículas. [15]

b) Sistema de aplicación del coagulante

El sistema de dosificación debe proporcionar una caudal constante y fácilmente regulable, debe aplicarse siempre en el lugar de mayor turbulencia, La dosis del coagulante que se adicione al agua debe ser en forma constante y uniforme de tal manera que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado en el agua, mientras mayor puntos de aplicación existan mejor será la dispersión del coagulante. [15]

3.3.3 Dosificadores

El coagulante comúnmente utilizado en las plantas de tratamiento de agua es el sulfato de aluminio, para el cual, la dosificación puede ser por dos vías: vía húmeda y vía seca.

a) Dosificadores por vía húmeda

Las soluciones se preparan en tanques apropiados, debidamente protegidos con pintura antiácida, pudiendo ser estos de concreto, asbesto, cemento o fibra de

vidrio. Estos tanques poseen un dispositivo manual o mecánico de agitación para homogenizar la solución. La agitación debe mantenerse durante una a dos horas, dependiendo del tipo de coagulante que se esté empleando. [19]

La solución se debe preparar en concentraciones del 1 o 2% y se debe aplicar en el agua mediante dosificadores que pueden ser los siguientes:

- Tanque de nivel constante con orificio graduable.
- Tanque de nivel constante con dosificador rotativo.
- Tanque de nivel constante y bomba de retorno del líquido excedente.
- Bomba de diafragma regulable.

En la planta de tratamiento de la Central, el coagulante Sulfato de Aluminio es dosificado por vía húmeda en tanques de nivel constante con orificio graduable, los cuales se explicarán a continuación. (Ver imagen 2 – 9 Cap. II).

- **Tanque de nivel constante con orificio graduable**

Este tipo de dosificador es empleado especialmente en plantas pequeñas y medianas. El principio en el que se fundamenta es muy sencillo, y consiste en mantener una carga constante de agua sobre un orificio para obtener un caudal de dosificación constante, el caudal se calibra a la salida mediante una válvula. La figura 3 – 8 es un ejemplar de este tipo de dosificador.

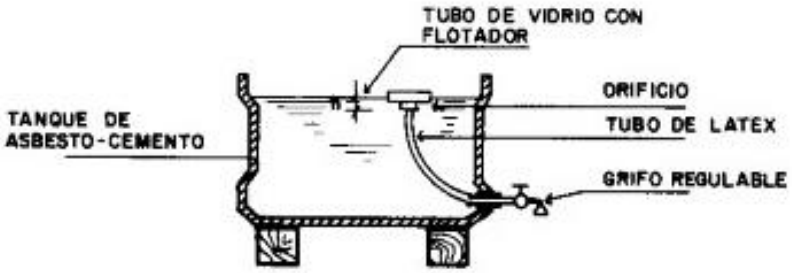


Figura 3 – 8: Tanque de nivel constante con orificio graduable
Fuente – Elaboración: (Pérez, Cánepa de Vargas and Ríchter 2010)

3.3.4 Mezcladores

Las unidades utilizadas normalmente para que se realice la mezcla rápida, se clasifican en dos grandes grupos, dependiendo del tipo de energía empleada para producir la agitación, estos son:

Tabla 3 – 4: Clasificación de las unidades de mezcla rápida

Mecánicos (energía mecánica)	Retromezclador en línea		
Hidráulicos (energía hidráulica)	Resalto hidráulico ✓	Canaleta Parshall	
		Canal de fondo inclinada	
		Vertedero rectangular ✓	
	En línea	Difusores	En tuberías
			En canales
		Inyectores	
		Estáticos	
	Caídas	Orificios	
		Vertederos triangulares	
Hidráulicos (energía hidráulica)	Contracciones	Medidor Venturi	
		Reducciones	
		Orificios ahogados	
	Velocidad o cambio de flujo	Línea de bombeo	
		Codos	

Fuente: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)
Elaboración: Autor

La clase de mezcladores con los que cuenta la planta son de tipo hidráulico, formados por el resalto hidráulico y un vertedero rectangular. (Ver imagen 2 – 7, 2 – 8, Cap. II).

- **Mezcladores hidráulicos**

Los mezcladores rápidos hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente energía en el flujo de entrada. En general se utilizan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante. El mezclador hidráulico tiene la ventaja de no requerir equipo mecánico tampoco energía, consideración muy importante en el diseño de plantas para lugares en los que no se dispone de personal capacitado para mantenimiento ni de suministro apropiado de repuestos.

- **Resalto hidráulico**

El resalto hidráulico es un fenómeno que ocurre cuando una corriente líquida pasa de un régimen rápido a uno tranquilo (régimen supercrítico a un subcrítico), a través de una profundidad crítica, cambiando de una profundidad menor a una mayor que ésta, mientras que la velocidad cambia de mayor a menor que la crítica. Figura 3 – 9 exhibe cómo se produce el resalto hidráulico. [15]

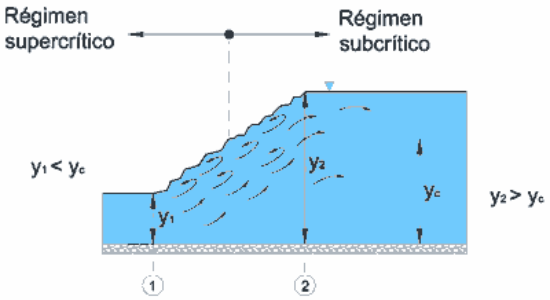


Figura 3 – 9: Resalto hidráulico
Fuente – Elaboración: (Lastra 2010)

En otras palabras, el resalto hidráulico se forma cuando en una corriente rápida existe algún tipo de obstáculo o un cambio violento de la pendiente.

- **Vertedero rectangular**

Estos tipos de vertederos están compuestos de un vertedero rectangular sin contracciones a todo lo ancho del canal, instalado dentro de un canal de sección rectangular. La lámina de agua que pasa sobre el vertedero toca el fondo del canal y se divide en una corriente principal que avanza hacia delante dando lugar al resalto hidráulico y una corriente secundaria, que retrocede formando una masa de agua que se represa agua arriba, como lo enseña la figura 3 – 10. [17]

Este tipo de vertedero generalmente es usado para plantas pequeñas de caudal constante y flujo por gravedad. También se puede indicar que un mezclador hidráulico con un buen sistema de dispersión del coagulante puede superar la desventaja de su poca flexibilidad, en términos de gradiente de velocidad, el cual varía en función del caudal.

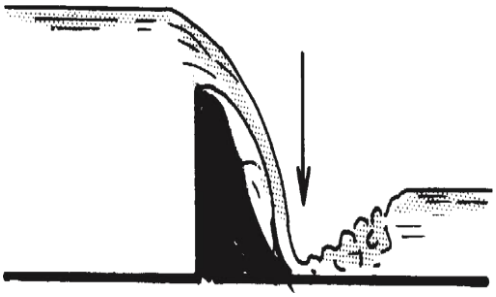


Figura 3 – 10: Vertedero rectangular
Fuente – Elaboración: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)

3.4 TEORÍA DE LA FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA)

La floculación es el proceso que consiste en la agitación moderada de la masa coagulada, la cual permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados (coagulación), con la finalidad de aumentar su peso y tamaño necesarios para poder sedimentar fácilmente. [14]

Esta formación de los flóculos es el resultado de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión.

3.4.1 Factores que influyen en la floculación

Los factores más importantes que intervienen en este proceso son:

a) Forma de producir la agitación

La energía comunicada a la masa líquida para producir agitación puede ser realizada de forma hidráulica o mecánica. Los floculadores mecánicos requieren de una fuente de energía externa que propicie el movimiento de un agitador en un tanque o en una serie de tanques, en los cuales el agua permanece por un tiempo de retención determinado, mientras que en los floculadores hidráulicos derivan su energía de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. [19]

c) Gradiente de velocidad

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

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a 10 s^{-1}. Por ejemplo, se pueden disponer cuatro cámaras de floculación en serie, a las que se les aplican gradientes de 90, 50, 30 y 20 s^{-1}, respectivamente. Después de formados los flóculos en la última cámara de floculación, debe tenerse gran cuidado en la conducción del agua floculada hasta los decantadores. [18]

d) Tiempo de floculación

En todos los modelos sugeridos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones, existe un tiempo óptimo para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos. Mediante ensayos de prueba de jarras, se puede determinar este tiempo. [18]

La permanencia del agua en el floculador durante un tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje este del tiempo óptimo de floculación.

e) Variación del caudal

Se conoce que al variarse el caudal de operación de la planta, se modifican los tiempos de retención y gradientes de velocidad en los reactores.

El floculador hidráulico es algo flexible a estas variaciones. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención disminuye, el gradiente de velocidad se incrementa y viceversa. [18]

3.4.2 Clasificación de los floculadores (cámaras de mezcla lenta)

Los floculadores están destinados a promover una agitación moderada, para que los flóculos se formen bien. Dependiendo del tipo de energía que utilicen para agitar la masa de agua las cámaras de mezcla lenta pueden ser mecanizadas o hidráulicas.

Tabla 3 – 5: Clasificación de las unidades de mezcla lenta

Según la Energía de Agitación	Según el Sentido del Flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo horizontal ✓	Con tabiques de ida y regreso ✓	De tabiques ✓
	Flujo vertical	Con tabiques arriba y abajo del tanque	
		Con codos en el fondo que proyectan el agua arriba y debajo	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox
Mecánicos	Rotatorios	De paletas de eje horizontal o vertical	De paletas
		De turbinas horizontales o verticales	De turbinas
	Reciprocantes	Rejas o cintas oscilantes	Reciprocantes

Fuente: (Arboleda 2000)
Elaboración: Autor

En la planta de la Central encontramos floculadores hidráulicos de flujo horizontal, sus características serán descritas a continuación. (Ver imagen 2 – 11 y 2 – 12 Cap. II).

- **Floculador hidráulicos de flujo horizontal**

En los floculadores de flujo horizontal predomina el flujo de pistón, por lo que se consigue un buen ajuste del tiempo de retención. En este tipo de floculadores, el agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno.

Para utilizar un floculador de flujo horizontal, el tanque debe estar dividido por pantallas de concreto, asbesto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas. Son recomendables para plantas que trabajan con caudales menores a 50 litros, figura 3 – 11. [20]

Los floculadores de pantallas de flujo horizontal se calculan de acuerdo con la cantidad de agua que se va a tratar. Cuando la cantidad aumenta, el agua pasa más rápidamente y la floculación no es buena. Si, por el contrario, la cantidad de agua disminuye, la velocidad del agua también lo hace, el flóculo no se forma bien y se produce sedimentación entre las pantallas.

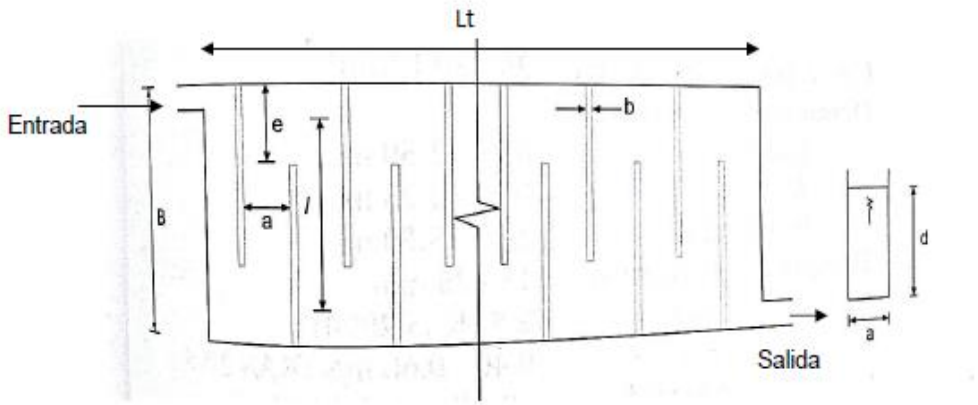


Figura 3 – 11: Esquema de un floculador de tabiques de flujo horizontal
Fuente – Elaboración: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)

CAPITULO IV

4. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

Hasta la fecha, desde el inicio de su funcionamiento, la planta de tratamiento de agua de la Central Térmica “El Descanso“ no ha contado con la dosis óptima de coagulante, por lo que hasta antes del presente estudio operaba sin aplicar una dosis adecuada. El operador de la planta se basa visualmente en la calidad del agua que entraba al tanque de carga para dosificar la cantidad de coagulante. Por lo que el principal objetivo de este estudio es determinar la curva de dosificación del coagulante Sulfato de Aluminio basándonos en una serie de pruebas de jarras que permitan determinar la dosis óptima de coagulante y posteriormente elaborar la curva de dosificación final, con la cual se podrá trabajar en la dosificación y volver el proceso más eficiente.

4.1 DOSIS ÓPTIMA Y CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El principal análisis para el tratamiento de coagulación es la determinación de la dosis óptima del coagulante. En la práctica no es adecuado adicionar una cantidad arbitraria de coagulante, porque esto podría representar sobrecostos al proceso de tratamiento del agua o, si se agrega una cantidad menor que la necesaria, la coagulación no sería efectiva. Por esta razón se deben realizar ensayos previos para determinar la dosis óptima de coagulante que se debe adicionar a un agua cruda con diferentes turbiedades.

Imagen 4 – 1: Equipo de prueba de jarras
Fuente – Elaboración: Autor

Este ensayo se realiza, con una simulación a nivel de laboratorio o escala, mediante la denominada Prueba de Jarras. La misma que es un sistema simple de vasos y paletas que permite simular condiciones hidráulicas (Imagen 4 – 1).

4.1.1 Descripción de la prueba de jarras

4.1.1.1 Objetivo de la prueba de jarras

La prueba de jarras es un método común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este procedimiento permite realizar variaciones en las dosis de coagulante alternando velocidades de mezclado a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. [21]

4.1.1.2 Equipo de prueba de jarras

La prueba de jarras es la técnica más usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (rpm). En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, como pueden ser:

- pH.
- Temperatura.
- Concentración de coagulante.
- Secuencia de aplicación de las sustancias químicas.
- Grado de agitación.
- Tiempo de sedimentación.

[21]

La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 o 400 rpm. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares o circulares de uno a dos litros en acrílico transparente (Figura 4 – 1). [21]

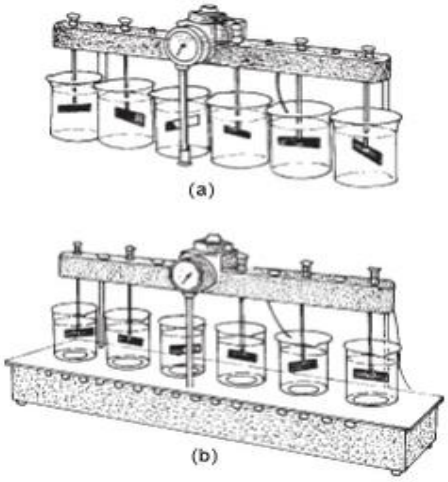


Figura 4 – 1: Equipo de prueba de jarras
Fuente - Elaboración: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)

4.1.1.3 Condiciones de la prueba de jarras

Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos.

- **Mezcla rápida**

El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo. El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del coagulante.

El tiempo recomendado para la mezcla rápida según la bibliografía revisada es de un minuto a 300 rpm.

- **Mezcla lenta**

Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 20 min. Un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar.

- **Reposo (sedimentación)**

El tiempo necesario para que ocurra una buena sedimentación es de alrededor de los 20 minutos. Durante este tiempo los coloides sedimentan por gravedad y se obtiene el agua clarificada.

4.1.1.4 Procedimientos para llevar una prueba de jarras

- Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se beneficien con el tiempo, la mayoría se deterioran
- Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas.
- La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH.
- Se debe tener cuidado de no demorar la adición de los químicos si se necesita una adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alternando las condiciones de la prueba. [21]

El procedimiento a seguir en la prueba de Jarras para simular el proceso en la planta de tratamiento de agua se indica en el numeral 4.3.2.4

4.2 DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD Y TIEMPO DE MEZCLA PARA LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

La planta de tratamiento de aguas de la Central Termoeléctrica no dispone de datos, memorias de cálculos, planos ni documentos que indiquen cuál es la intensidad y tiempo de mezcla con los que se encuentran trabajando los procesos de la planta. Por esta razón se procedió a calcular experimentalmente todos los datos necesarios.

4.2.1 Mezcla rápida

La intensidad de la mezcla se determina mediante el gradiente de velocidad (G) expresado en s^{-1}.

Las gradientes que muestra la tabla 4 – 1 fueron tomadas de recomendaciones de ciertos autores como Ruey y Hudson, que mediante una serie de pruebas determinaron los gradientes de velocidad según en el tipo de mezclador.

Tabla 4 – 1: Variación del gradiente de velocidad de acuerdo con el tipo de mezclador

Tipo de Mezclador	Gradiente (G) s^{-1}
Retromezcladores	500 – 1 000
Resalto hidráulico	700 – 1 200
Difusores	700 – 1 000
Mezcladores en línea	3 000 – 5 000

Fuente: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)
Elaboración: Autor

Como se indicó en el Cap. II la planta cuenta con un vertedero rectangular seguido de un resalto hidráulico donde se produce la mezcla rápida. Se observa en la tabla 4 – 1 que el gradiente óptimo para el resalto hidráulico se encuentra entre los 700 – 1200 s^{-1}.

En la figura 4 – 2 podemos relacionar este gradiente de velocidad con las revoluciones por minuto (rpm) de un equipo de pruebas de jarras de sección circular sin deflectores.

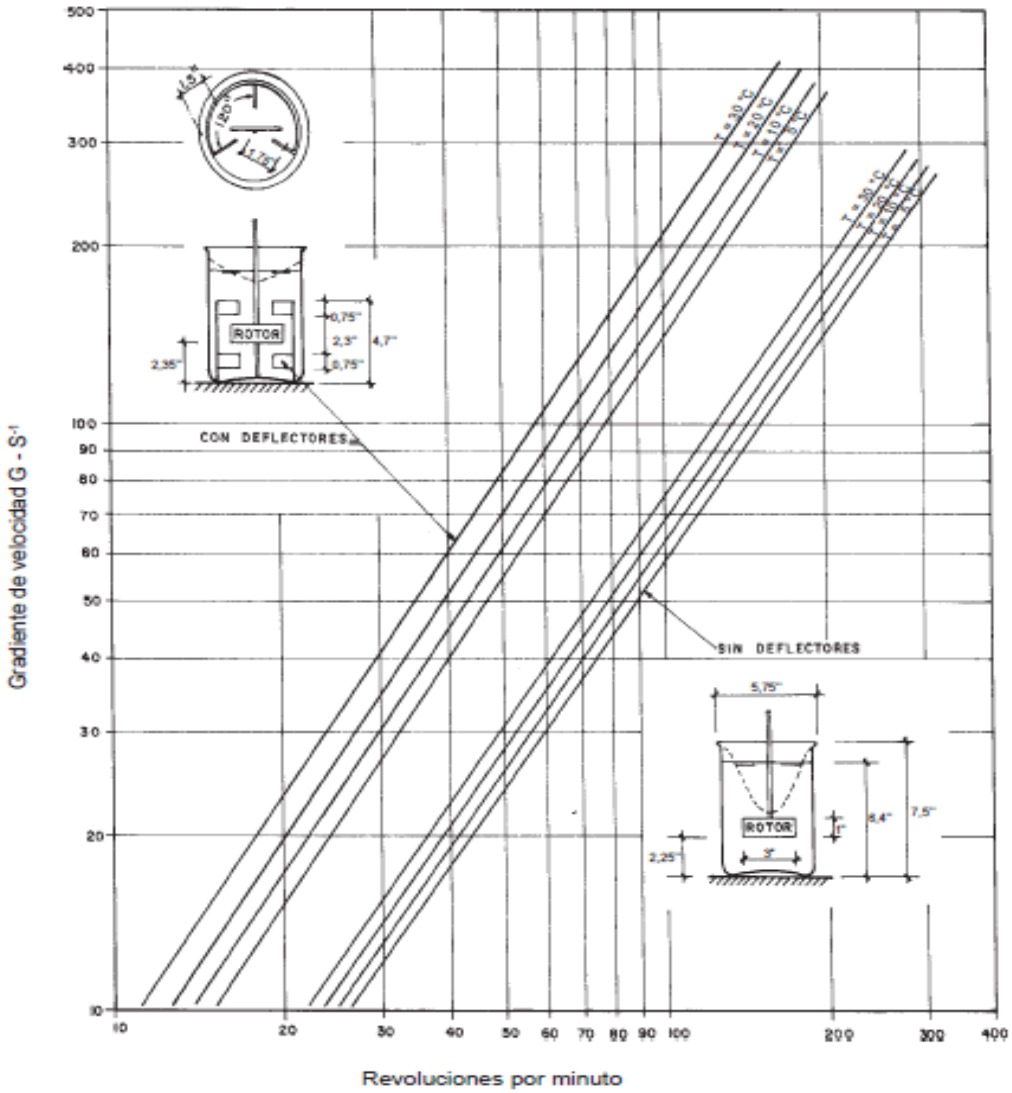


Figura 4 – 2: Relación del gradiente de velocidad en s-1 con las revoluciones por minuto de un equipo de prueba de jarras con recipientes de 1 litros. Jarra de sección circular
Fuente – Elaboración: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)

Se puede observar que la figura 4 – 2 no presenta el gradiente de 700 s-1 el cual se recomienda en el resalto hidráulico, por lo que se empleó el máximo de revoluciones que posee el equipo.

Dicho esto, el equipo de prueba de jarras con el que cuenta el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca posee un máximo de 300 rpm, por lo que este fue el gradiente utilizado para la mezcla rápida durante todos los ensayos, con un tiempo de mezcla o llamado también tiempo de retención de 1 minuto, que es el tiempo recomendado por los mismos Ruey y Hudson para la mezcla rápida donde se homogeniza todo el coagulante.

Tabla 4 – 2: Gradiente de velocidad – tiempo de retención, mezcla rápida

Gradiente de Velocidad (G) rpm	Tiempo de Mezcla Rápida (Tr) min
300	1

Fuente – Elaboración: Autor

4.2.2 Mezcla lenta

Para la mezcla lenta se evaluó el floculador de la planta, el cual es de tipo hidráulico de pantallas de flujo horizontal, de tres cámaras.
El propósito fue determinar la intensidad y tiempo de mezcla con la que trabaja cada tramo del floculador, para una vez obtenidos, ingresarlos en el equipo de prueba de jarras y trabajar la mezcla lenta con estos datos.

4.2.2.1 Determinación del tiempo de mezcla

El tiempo de retención es un parámetro que se emplea en las evaluaciones de plantas de tratamiento de agua, el mismo que se lo calcula con el propósito de medir la rapidez o lentitud con la que ocurren las reacciones en el floculador. La medición del tiempo de mezcla es complicada debido a la presencia de zonas muertas, cortocircuitos hidráulicos, que imposibilita la estabilidad de las condiciones de flujo.

Se determinó el tiempo de retención mediante la técnica de trazadores, el equipo utilizado para determinar el tiempo fue un conductímetro marca YSI 30 modelo 30/10 FT que mide la conductividad en microsiemens/cm (µS/cm), el cual fue adquirido gracias al apoyo de la Dra. Guillermina Pauta, jefe del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Cuenca.
La información del equipo se encuentra en el ANEXO A.

Para su evaluación usamos una sustancia trazadora como es el Cloruro de Sodio NaCl (sal de mesa). La cantidad de trazador P (kg) que se necesita añadir al floculador fue determinada por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{P = \frac{V\ x\ K\ x\ Co}{I\ x\ 10^3}}$$

(Ecuación 4 – 1)

Dónde:

V = volumen del floculador (m^3)

K = constante de corrección

Co = concentración (mg/l)

I = grado de pureza del trazador, fracción de la unidad.

Se empleó la dosificación instantánea ya que es la recomendada cuando se utilizan cloruros, consta en la aplica de una concentración (Co) a la entrada del floculador en un tiempo muy corto y en un punto tal que se mezcle instantáneamente con la masa de agua afluente de la cámara que se va a analizar.

En la dosificación instantánea, la concentración (Co) que se escoja debe ser tal que se pueda determinar con facilidad en el agua. Para el caso del cloruro de sodio como trazador, es común usar concentraciones de entre 50 a 200 mg/l dependiendo del volumen del floculador.

La constante de corrección (K) depende de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{K = \frac{Peso\ de\ NaCl}{Peso\ Cl}}$$

(Ecuación 4 – 2)

$$K = \frac{23 + 35{,}5}{35{,}5} = 1{,}65$$

El volumen (V) varió según la cámara del floculador que se analizó:

Tabla 4 – 3: Dimensiones del floculador

Cámaras del Floculador	Dimensiones largo, ancho, profundidad (m)	Volumen (m^3)
Primera	5,75 – 3,15 – 0,12	2,17
Segunda	19,0 – 3,20 – 0,15	9,12
Tercera	16,5 – 3,45 – 0,16	9,10

Fuente – Elaboración: Autor

El trazador que se utilizó como se indicó fue cloruro de sodio (NaCl) con pureza del 89%.

Cabe recalcar que se realizaron dos pruebas para que los resultados del tiempo tengan repetitividad y sean confiables.

Procedimiento:

1. Se colocó el equipo en el punto de medición (al final de la cámara).
2. Se midió la conductividad inicial del agua en el punto de medición, su valor fue = 102,5 µS/cm .
3. Adicionamos la sustancia (trazador) previamente preparada al inicio de la cámara.
4. El cronómetro se puso en marcha al agregar la sustancia.
5. Se destacó el tiempo en la que la conductividad llego a su máximo nivel, el tiempo de retención fue el que expresó la mayor concentración de la sustancia trazadora.

Imagen 4 – 2: Preparación de la sustancia, trazador
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 4 – 3: Adición de la sustancia previamente preparada al inicio de cámara del floculador
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 4 – 4: Determinación de la conductividad en el punto de medición
Fuente – Elaboración: Autor

Cámara #1

Datos:

$V = 2{,}17$ m³

$K = 1{,}65$

$Co =$ 50 mg/l

$I = 0{,}89$

$$P = \frac{2{,}17\ m^3\ x\ 1.65\ x\ 50\ {}^{mg}/_{l}}{0.89\ x\ 10^3}$$

$$P = 0{,}20\ kg$$

Después del ensayo con trazadores, obtuvimos las curvas de análisis de tiempo de residencia para cada cámara del floculador (Figura 4 – 3).

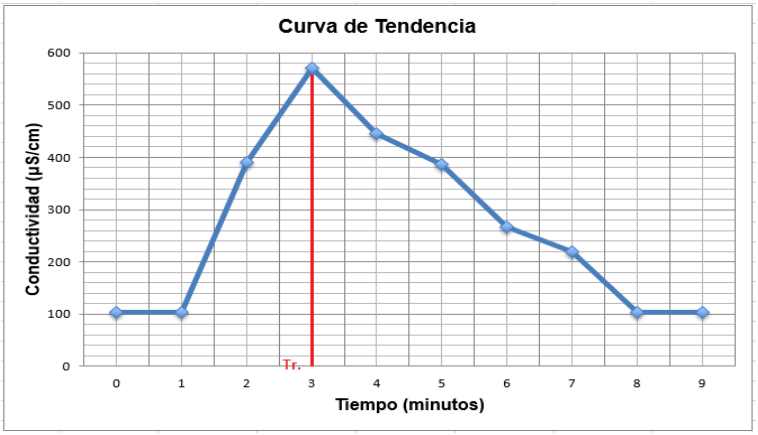


Figura 4 – 3: Curva de tendencia, cámara #1
Fuente - Elaboración: Autor

Tiempo de retención (Tr) de la cámara #1 = 3 minutos.

Cámara #2

Datos:

$V = 9{,}12$

$K = 1{,}65$

$Co =$ 50 mg/l

$I = 0{,}89$

$$P = \frac{9{,}12\ m^3\ x\ 1.65\ x\ 50\ {}^{mg}/_{l}}{0.89\ x\ 10^3}$$

$$P = 0{,}85\ kg$$

Curva de análisis de tiempo de residencia (Figura 4 – 4).

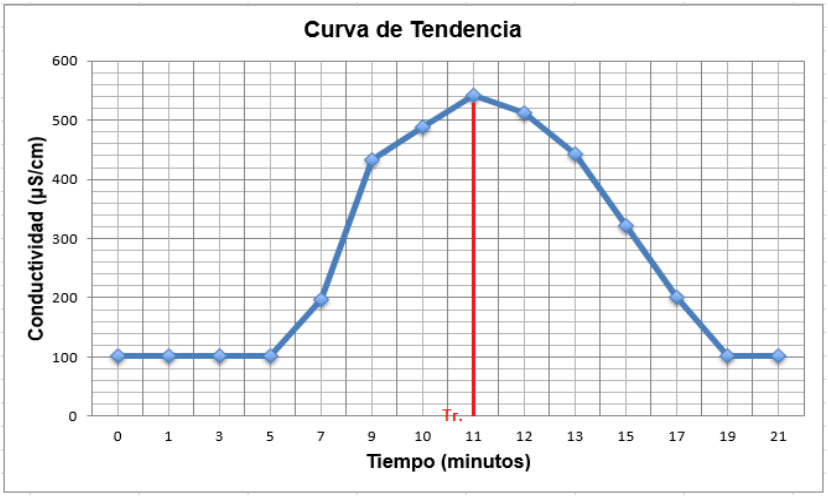


Figura 4 – 4: Curva de tendencia, cámara #2
Fuente - Elaboración: Autor

Tiempo de retención (Tr) de la cámara #2 = 11 minutos.

Cámara #3

Datos:

$V = 9{,}10$

$K = 1{,}65$

$Co =$ 50 mg/l

$I = 0{,}89$

$$P = \frac{9{,}10\ m^3\ x\ 1.65\ x\ \ 50\ mg/l}{0.89\ x\ 10^3}$$

$$P = \ 0{,}84 \text{ kg}$$

Curva de análisis de tiempo de residencia (Figura 4 – 5).

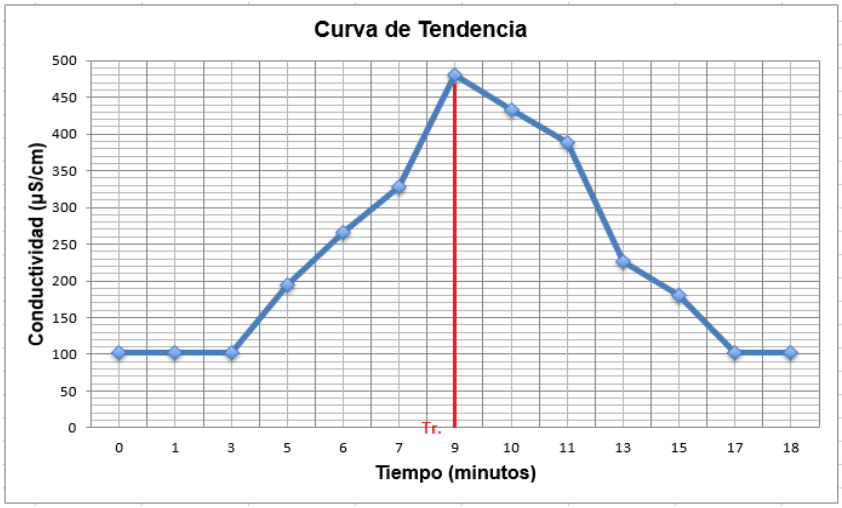


Figura 4 – 5: Curva de tendencia, cámara #3
Fuente - Elaboración: Autor

Tiempo de retención (Tr) de la cámara #3 = 9 minutos.

La tabla 4 – 4 muestra un resumen de los resultados de los tiempos de retención del floculador.

Tabla 4 – 4: Resultados de los tiempos de retención del floculador

Cámaras del Floculador	Tiempo (min)
Uno	3
Dos	11
Tres	9
Tiempo total de retención	23

Fuente – Elaboración: Autor

Calculados los tiempos de retención en el floculador, necesitamos también el tiempo de retención en el sedimentador, el cual fue tomado según las recomendaciones de la bibliografía revisada, el tiempo es de 15 minutos.
Se podría decir que hablamos entonces de un tiempo total de 39 min, en el cual se realizan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

4.2.2.2 Intensidad de mezcla

La intensidad de la mezcla se calcula mediante el gradiente de velocidad (G) expresado en s^{-1}, el cual presenta la siguiente ecuación.

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{H}{T_R}}$$

(Ecuación 4 – 3)

Procedimiento:

- Determinar el tiempo de mezcla (Tr).
- Determinar la pérdida de carga (H).
- Determinar $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ según la temperatura del agua.

4.2.2.2.1 Determinación de la pérdida de carga

La pérdida de carga se determinó nivelando la superficie del agua en cada una de las cámaras del floculador. Se utilizó una cuerda tipo piola, clavos de acero, un flexómetro y un nivel.

Procedimiento:

1. Ubicamos la cuerda diagonalmente de extremo a extremo en el floculador, a cierta distancia de la superficie del agua (espejo de agua).
2. Utilizamos el nivel para nivelar la cuerda con la superficie del agua.
3. Con la ayuda del flexómetro, se midió la distancia del espejo de agua hasta la cuerda en los puntos h1. y h2.

Imagen 4 – 5: Determinación de la pérdida de carga
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen 4 –6: Determinación de la pérdida de carga
Fuente – Elaboración: Autor

Cámara #1:

En el gráfico 4 – 1 podemos observar una representación de cómo se trazó la cuerda de extremo a extremo en la cámara #1, la tabla 4 – 5 nos muestra las alturas medidas en h1. y h2. respectivamente.

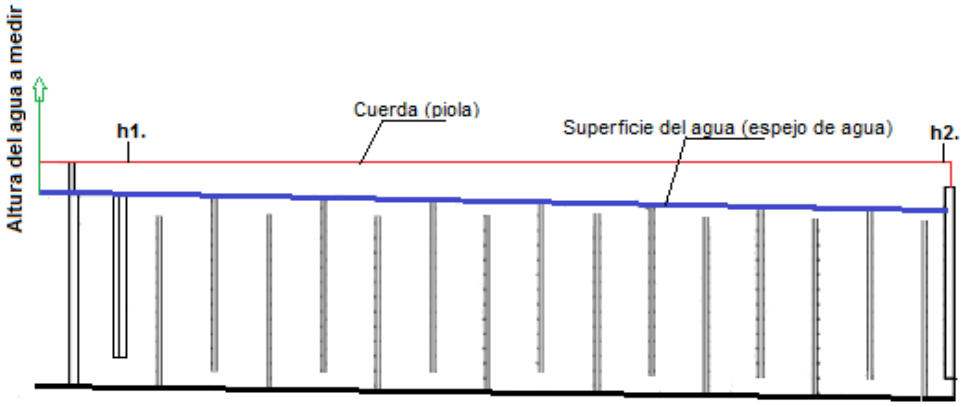


Gráfico 4 – 1: Determinación de la pérdida de carga, cámara #1 (vista lateral)
Fuente - Elaboración: Autor

Tabla 4 – 5: Pérdida de carga, cámara #1

Pérdida de carga por diferencia de nivel de agua	
Tramo	**Altura de agua (cm)**
h1.	27
h2.	36,5

Fuente – Elaboración: Autor

La pérdida de carga (H) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{H = Altura\ del\ agua\ h2. - Altura\ del\ agua\ h1.}$$

(Ecuación 4 – 4)

$$H = 36{,}5\ cm - 27\ cm$$

$$H = 9{,}5\ cm$$

$$H = 0{,}095\ m$$

Cámara #2 :

En el gráfico 4 – 2 podemos observar una representación de cómo se trazó la cuerda de extremo a extremo en la cámara #2, la tabla 4 – 6 nos muestra las alturas medidas en h1. y h2. respectivamente.

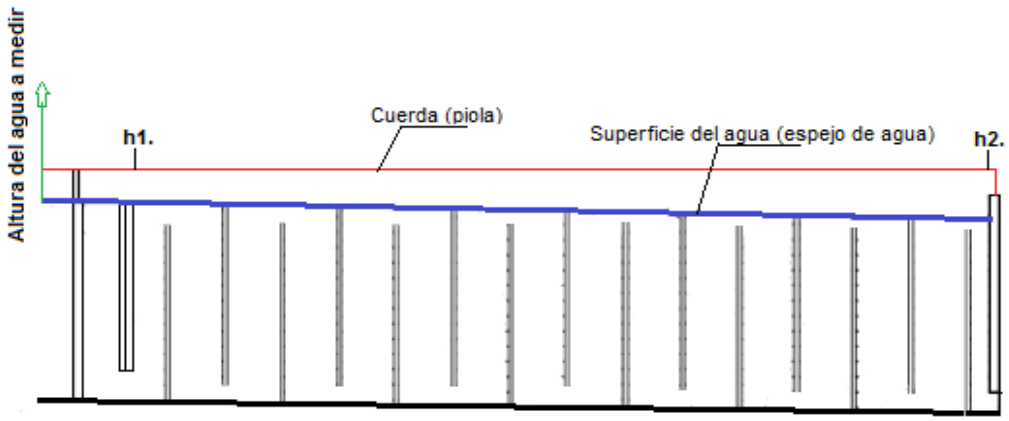


Gráfico 4 – 2: Determinación de la pérdida de carga, cámara 2 (vista lateral)
Fuente - Elaboración: Autor

Tabla 4 – 6: Pérdida de carga, cámara #2

Pérdida de carga por diferencia de nivel de agua	
Tramo	**Altura de agua (cm)**
h1.	36,5
h2.	53,3

Fuente – Elaboración: Autor

$$H = 53{,}3\ cm - 36{,}5\ cm$$

$$H = 16{,}8\ cm$$

$$H = 0{,}168\ m$$

Cámara #3 :

En el gráfico 4 – 3 podemos observar una representación de cómo se trazó la cuerda de extremo a extremo en la cámara #3, la tabla 4 – 7 nos muestra las alturas medidas en h1. y h2. respectivamente.

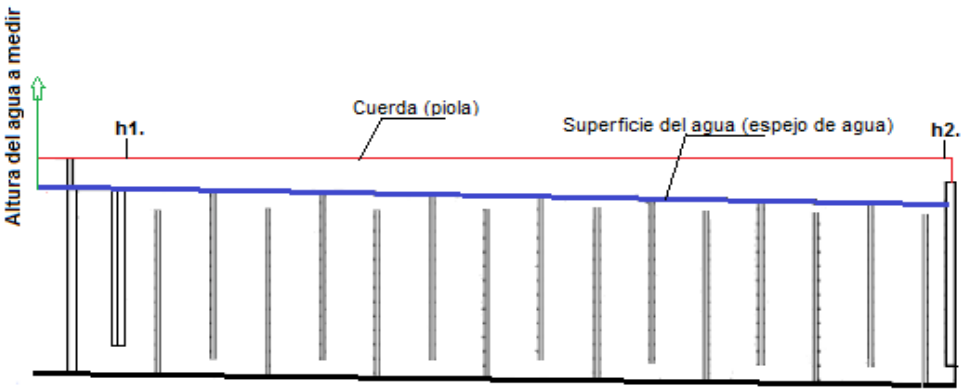


Gráfico 4 – 3: Determinación de la pérdida de carga, cámara3 (vista lateral)
Fuente - Elaboración: Autor

Tabla 4 –7: Pérdida de carga, cámara 3

Pérdida de carga por diferencia de nivel de agua	
Tramo	**Altura de agua (cm)**
h1.	53,3
h2.	64,5

Fuente – Elaboración: Autor

$$H = 64{,}5\ cm - 53{,}3\ cm$$

$$H = 11{,}2\ cm$$

$$H = 0{,}112\ m$$

4.2.2.2.2 Determinación de $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ según la temperatura del agua

El valor de $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ viene dado en función de la temperatura del agua, según la tabla 4 – 8:

Tabla 4 – 8: Relación de temperatura

Temperatura (ºC)	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ (1/m.s)
0	2 337
4	2 502
10	2 737
15	2 920
17	2 998
20	3 115
25	3 267

Fuente: (De Vargas, Tratamiento de Agua para el Consumo Humano 2004)
Elaboración: Autor

La temperatura del agua se midió mediante un termómetro de laboratorio en cada una de las cámaras, su temperatura fue de 15 ºC, por lo tanto:

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = \mathbf{2\ 920}$$

4.2.2.2.3 Determinación del tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla en cada una de las cámaras del floculador fue calculado en el punto 4.2.2.1.

Obtenidos todos los datos necesarios calculamos los gradientes de velocidad (G) igualmente para cada cámara del floculador según la ecuación 4 – 3.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}\ x\ \sqrt{\frac{H}{Tr}}$$

Cámara #1

Datos:

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2\ 920$

$H = 0{,}095\ (m)$

$Tr = 180\ (s)$

$$G = 2\,920 \;\; x \;\; \sqrt{\frac{0{,}095}{180}}$$

$$G = 67{,}08 \;\; s - 1$$

$$\boldsymbol{G = 67\; s - 1}$$

El gradiente debe encontrarse en rpm para poder ingresarlo en el equipo de jarras, por lo que observamos en la figura 4 – 2 su relación en rpm.

$$\boldsymbol{G = 95\; rpm}$$

Cámara #2

Datos:

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2\,920$

$H = 0{,}168\ (m)$

$Tr = 660\ (s)$

$$G = 2\,920 \;\; x \;\; \sqrt{\frac{0{,}168}{660}}$$

$$G = 46{,}58 \;\; s - 1$$

$$\boldsymbol{G = 47\; s - 1}$$

$$\boldsymbol{G = \; 76\; rpm}$$

Cámara #3

Datos:

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2\,920$

$H = 0{,}112\ (m)$

$Tr = 540\ (s)$

$$G = 2\,920\ x\ \sqrt{\frac{0{,}112}{540}}$$

$$G = 42{,}05\ s - 1$$

$$\boldsymbol{G = 42\ s - 1}$$

$$\boldsymbol{G = 69\ rpm}$$

En resumen:

Tabla 4 – 9: Tiempos de retención utilizados en la prueba de jarras

Tr (min) Mezcla Rápida	Tr 1 (min) Mezcla Lenta	Tr 2 (min) Mezcla Lenta	Tr 3 (min) Mezcla Lenta	Tr (min) Sedimentación
1	3	11	9	15

Fuente – Elaboración: Autor

Tabla 4 – 10: Gradientes transformados a rpm utilizados en la prueba de jarras

G (rpm) Mezcla Rápida	G 1 (rpm) Mezcla Lenta	G 2 (rpm) Mezcla Lenta	G 3 (rpm) Mezcla Lenta	G (rpm) Sedimentación
300	95	76	69	0

Fuente – Elaboración: Autor

4.3 PARTE EXPERIMENTAL DE LA PRUEBA DE JARRAS

4.3.1 Muestreo

4.3.1.1 Recolección de muestras

La toma de muestras se llevó a cabo mediante un muestreo manual. Se emplearon muestras de agua cruda de origen superficial provenientes del río Cuenca. El tipo de muestra analizada fue una muestra simple que se tomó en el tanque de carga, en la estructura de ingreso a la Planta de agua.

El número total de muestras analizadas fueron 26, que se llegaron a tomar durante un período de tres meses (enero, febrero y marzo), las muestras fueron tomadas en función de las condiciones climáticas del sector, en especial de días lluviosos donde se presentaron elevadas variaciones de turbiedad y color.

Las muestras fueron recogidas por el Autor los días domingo o lunes y los miércoles (Imagen 4 – 7). Las muestras fueron obtenidas según la variación de turbiedad obteniendo niveles desde 12,9 hasta 835 UNT.

Imagen 4 – 7: Recolección de muestras
Fuente – Elaboración: Autor

4.3.1.2 Sistema de toma de muestras

Para la toma de muestras se siguieron las técnicas presenten en la norma INEN 2176 la cual se encuentra detallada en el ANEXO B. Las técnicas empleadas al momento de tomar las muestras fueron sumamente importantes para de esta manera garantizar la calidad del agua que se analizó posteriormente en el laboratorio, para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Los envases utilizados fueron dos recipientes plásticos de 20 litros cada uno, los cuales eran lavados previamente antes de la recolectar la muestra y luego que se terminaba cada prueba.
- Al momento de tomar la muestra lo primero que se realizaba era la homogenización completa del recipiente, llenándolo y vaciándolo el mismo con agua cruda algunas veces.
- Los envases eran llenados casi en su totalidad para luego de ser sellados eran trasportados y guardados en un lugar fresco para preservar la muestra hasta el momento de realizar los análisis respectivos, los cuales se realizaban al día siguiente de haber tomado la muestra (Imagen 4 – 8).

Imagen 4 – 8: Toma de muestras
Fuente – Elaboración: Autor

4.3.1.3 Tratamiento de las muestras

Los respectivos análisis físicos – químicos se los realizó en el laboratorio Tecnológico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, de acuerdo al cronograma asignado por la Dra. Diana León e Ing. Verónica Saetama, responsables de los laboratorios, en base a la disponibilidad del mismo (lunes o martes de 8h00 a 10h00 y jueves de 10h00 a 12h00).

4.3.2 Pruebas de laboratorio

4.3.2.1 Descripción de equipos y materiales

a) Equipo de prueba de jarras

Para efectuar los ensayos de simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se utilizó un equipo de velocidades variables marca Orbeco Hellige. Este equipo dispone de los siguientes elementos.

- Un agitador mecánico provisto de cuatro paletas, apto para operar a velocidades variables de 0 a 300 rpm.
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo.
- Cuatro Vasos de precipitado de 1 litro (1 000 ml) de capacidad, forma redonda, de cristal refractario.
- Un microprocesador que permite programar gradientes en rpm y tiempo en minutos – horas.

b) Turbidímetro

La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante en una prueba de jarras. El equipo utilizado fue un Turbidímetro nefelométrico marca Hach 2100 – P.

c) Medidor de pH

La efectividad de los procesos de coagulación y floculación depende del pH, por lo tanto, la medición de este parámetro antes y después de dichos procesos es de gran importancia. En las pruebas de laboratorio se utilizó un potenciómetro marca Hanna pH 2.

d) Comparador de color

Se presenta el interés en muchas ocasiones de la remoción del color en lugar de la turbiedad, en dichos casos la medición del color residual del agua puede servir para determinar el ensayo. Para las mediciones de color se utilizó un colorímetro marca Hach DR – 890.

e) Materiales

- Balanza analítica marca Sartorius y luna de reloj.
- Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A.
- Un balón de aforo de 100 ml.
- Un vaso de precipitación de 250 ml.
- Una probeta graduada de 100 ml.
- Una pipeta graduada de 10 ml.
- Jeringas hipodérmicas desechables con sus respectivas ajugas de 1, 2,5 y 5 ml.
- Cuatro vasos plásticos de 250 ml enumerados (1 al 4), y tres vasos más de la misma capacidad.
- Tres litros de agua destilada.
- Cronómetro, para controles más precisos de tiempo.
- Una espátula.

En el ANEXO C se presenta un registro fotográfico de los distintos equipos y materiales utilizados en los ensayos de pruebas de jarras.

4.3.2.2 Preparación del coagulante sulfato de aluminio a nivel de planta y laboratorio

a) En planta

Para el tratamiento de agua cruda en la planta de la Central “El Descanso” se utiliza como coagulante el Sulfato de Aluminio Tipo A (Imagen 4 – 9)

La solución de sulfato de aluminio es preparada por el operador de la planta en dos tanques conectados de PVC de 1 000 litros de volumen cada uno, donde se adicionan un saco de 50 kilogramos de sulfato de aluminio a cada tanque. Se realiza una agitación constante para una buena homogenización, finalmente se obtiene una solución final con una concentración de 50 000 mg/l (ppm), que equivale a una concentración del 5%.

Explicación:

Las partes por millón (ppm) es una medida de concentración, que determina cuantas partes de soluto están contenidos de un millón de partes de solución.

$$\boldsymbol{ppm = \frac{mg\ soluto}{kg\ solución}}$$

Cuando se trata de soluciones acuosas se asume que 1 l. de solución pesa 1 kg.

$$\boldsymbol{ppm = \frac{masa\ de\ soluto}{volumen\ de\ solución}}$$

(Ecuación 4 – 5)

La concentración se puede expresar en:

$$\frac{mg}{l} = \frac{g}{m3} \simeq ppm\ (partes\ por\ millón)$$

De hecho se podría tomar la equivalencia siguiente:

$$10\ 000\ ppm = 1\ \%$$

Entonces,

$$50\ kg \rightarrow\ \ mg - - - - - - - - - - - 50\ 000\ 000\ mg$$

$$ppm = \frac{50\,000\,000\ (\,mg\,)}{1\,000\ (\,l\,)} = 50\,000\ \frac{mg}{l}$$

Por lo tanto,

$$\mathbf{50\,000\ ppm\ = 5\%}$$

El porcentaje masa – volumen (% m/V), indica la masa de soluto disuelto en el volumen total de la solución por cien.

$$\%\frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{V}} = \frac{\boldsymbol{masa\ de\ soluto}}{\boldsymbol{volumen\ de\ disolución}}\ \boldsymbol{x\ 100}$$

(Ecuación 4 – 6)

Se expresa en:

g/ml

Entonces,

$$50\ kg\ \rightarrow\ g - - - - - - - - - - - - 50\,000\ g$$
$$1\,000\ l \rightarrow\ ml - - - - - - - - - - - 1\,000\,000\ ml$$

$$\%\frac{m}{V} = \frac{50\,000\ (\,g\,)}{1\,000\,000\ (\,ml\,)}\ x\ 100\ =\ 5\%\ \frac{m}{V}$$

Por lo tanto, se disponen 5 g de sulfato de aluminio (soluto) disueltos en un volumen de 100 ml de agua (solución).

Imagen 4 – 9: Sulfato de aluminio tipo "A"
Fuente – Elaboración: Autor

En el ANEXO D encontramos la hoja de seguridad y la ficha técnica del coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A.

b) En laboratorio

La solución empleada en la realización de las pruebas de jarras no fue la que se prepara y utiliza en la planta, esta fue preparada en el laboratorio diariamente previo a la realización de los ensayos. Hubo que preparar la solución a la misma concentración que en la planta.

Procedimiento:

1. Calcular el número exacto de gramos de soluto necesarios para preparar la solución (5 g).
2. Pesar los 5 g de Sulfato de Aluminio Tipo A.
3. Trasladar todo el soluto a un vaso de precipitación, con la ayuda de una espátula para no perder nada del coagulante.
4. Disolver todo el soluto con una mínima cantidad de agua.
5. Trasladar la solución al balón de 100 ml.
6. Agregar agua hasta el aforo.
7. Agitar varias veces.
8. Dejar reposar por unos segundos.

Explicación:

$$5\ g \rightarrow mg\ ----------\ 5\ 000\ mg$$

$$100\ ml \rightarrow l\ ----------\ 0.1\ l$$

$$ppm = \frac{5\ 000\ (\ mg\ )}{0.1\ (\ l\ )} = 50\ 000 \frac{mg}{l}$$

$$\%\frac{m}{V} = \frac{5\ (\ g\ )}{100\ (\ ml\ )}\ x\ 100 = 5\ \%\ \frac{m}{V}$$

$$50\ 000\ ppm = 5\%$$

4.3.2.3 Sistema de dosificación de la solución

La cantidad de coagulante que se aplicó a cada jarra en los distintos ensayos realizados se obtuvo utilizando la siguiente ecuación de balance de masas:

$$\boldsymbol{V\ x\ D = v\ x\ C}$$

(Ecuación 4 – 7)

Donde:

V = volumen de la jarra (l)

D = dosis del coagulante (mg/l)

v = volumen de solución por aplicar (ml)

C = concentración de la solución (mg/l)

Explicación:

Se aplicó una dosis de 20 mg/l a una jarra de 0,8 l con una solución al 5%. A continuación se calculó el volumen de solución que se debe colocar en la jeringa.

$$V = 0{,}8\ l \rightarrow ml\ ---------- \ 800\ ml$$

$$D = 20\ mg/l$$

$$C = 5\% \simeq 50\ 000\ mg/l$$

$$v = ?$$

$$v = \frac{20\ \left(\frac{mg}{l}\right)\ x\ \ 800\ (ml)}{50\ 000\ (\frac{mg}{l})} = \ 0{,}32\ ml$$

Esta operación se realizó para las diferentes dosis a aplicar a las jarras dependiendo de los niveles de turbiedad y color que presentaba el agua cruda en los diferentes ensayos.

El volumen que se tomó fue de 800 ml, los vasos fueron de 1 000 ml pero para evitar que se derrame se usó 800 ml.

4.3.2.4 Métodos de ensayos

Para todos los ensayos que se realizaron se tuvieron en consideración los siguientes aspectos.

1. Parámetros medidos al inicio y final de los ensayos.

UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad)	UPC (Unidades de Platino Cobalto)	pH

2. Condiciones a las cuales fue calibrado el equipo.

Tabla 4 – 11: Calibración de equipo de jarras

Equipo de Jarras		Tiempo de retención (min)	Gradiente de Velocidad (rpm)
Memoria 1	Mezcla rápida	1	300
Memoria 2	Mezcla lenta, tramo 1	3	95
Memoria 3	Mezcla lenta, tramo 2	11	76
Memoria 4	Mezcla lenta, tramo 3	9	69
Memoria 5	Sedimentación	15	0

Fuente – Elaboración: Autor

- **Prueba de jarras**

a) Objetivo

El propósito de estos ensayos fue determinar la dosis de coagulante que efectúe la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un flóculo grande, pesado, compacto y que no se rompa (Imagen 4 – 10).

b) Procedimiento

1. Homogenizamos totalmente el recipiente plástico que contiene la muestra de agua cruda.

2. Tomamos una muestra considerable de agua y determinamos las condiciones iniciales de turbiedad, color, y pH.
3. Anotamos las condiciones iniciales, y elaboramos una tabla de contenido y resultados.
4. Preparamos el coagulante sulfato de aluminio al 5% lo colocamos en un vaso de precipitación y determinamos las dosis según los parámetros iniciales.
5. Calculamos los volúmenes de solución a aplicar a cada jarra mediante la ecuación 4 – 7, mediante una pipeta graduada se extrajo del vaso de precipitación las cantidades exactas de coagulante a utilizar y los vertimos en diferentes vasos plásticos, desde los cuales succionamos la solución mediante jeringas con sus correspondientes ajugas, para extraer toda la cantidad.
6. Una vez que cada jeringa se encuentra con la dosis respectiva, retiramos su ajuga y la colocamos delante de la jarra correspondiente.
7. Colocamos 0,8 litros de agua cruda en cada una de las cuatro jarras, las ubicamos en el equipo y centramos.
8. Encendemos el equipo con su respectivo iluminador.
9. Ponemos en funcionamiento el equipo para homogenizar el agua en las jarras y a los 20 segundos aproximadamente añadimos el coagulante, la aplicación del coagulante se lo realiza de forma rápida y simultánea por lo que se requería la ayuda de una persona del laboratorio para su aplicación correcta, considerando que cada persona aplica dos jarras.
10. Programamos el equipo según la tabla 4 – 11 en la cual se encuentran los respectivos tiempos y gradientes.
11. Trascurridos los minutos de agitación en el equipo, procedemos a dejar sedimentar las partículas floculadas durante un tiempo de 15 minutos, en los cuales podemos observar la apariencia y consistencia del floc.
12. Después de finalizado el tiempo de sedimentación, retiramos las paletas y succionamos el sobrenadante con una pipeta, colocándola a la misma profundidad en los cuatro vasos, descartamos aproximadamente 10 ml de agua y luego tomamos algo más de 35 ml de muestra los colocamos en sus respectivos vasos para la determinación de los parámetros.

13. Procedemos a leer los datos finales de color, turbiedad y pH de cada una de las muestras en los respectivos equipos.
14. Finalmente determinamos la dosis óptima de coagulante del ensayo, seleccionando aquella en donde los valores de color y turbiedad fueran los más bajos.

Imagen 4 – 10: Ensayo prueba de jarras
Fuente – Elaboración: Autor

Tabla 4 – 12: Meses y número de ensayos

Mes	Número de Ensayos Realizados
Enero	9
Febrero	8
Marzo	9

Fuente – Elaboración: Autor

4.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE OPERACIÓN DEL VERTEDERO RECTANGULAR

La determinación del caudal se realiza en función de la carga de agua en el vertedero, para determinar la altura del agua se utiliza una reglilla graduada que se coloca en el vertedero cada vez que se realiza la medición o puede ser adaptada al vertedero.

Con esta medida de la altura se acude a una tabla que es obtenida en función a la ecuación siguiente para vertederos rectangulares de cresta ancha.

$$\boldsymbol{Q = 1.71(L)\ H^{1.5}}$$

(Ecuación 4 – 8)

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

L = ancho del vertedero (m)

H = carga o altura del líquido sobre el vertedero (m)

Los resultados obtenidos de la tabla se encuentra detallada en el Capítulo V punto 5.3.

4.4.1 Determinación del lugar de ubicación de la reglilla

La carga de agua que pase sobre la cresta del vertedero debe medirse a una distancia aguas arriba tal, que no sea afectada por la depresión de la superficie del agua que se produce al aproximarse a la cresta. Esto se consigue haciendo las mediciones a una distancia de por lo menos seis veces la altura máxima a la que puede llegar el vertedero. En este punto se fija una reglilla graduada en centímetros, con su origen, el cero, que quede a la altura de la cresta del vertedero. [22]

La altura máxima a la que puede llegar la carga de agua en el vertedero de la planta de agua de la Central es de 10 cm, este dato fue determinado mediante la tabla 5 – 20 “Caudal de Operación” que se encuentra en el punto 5.3.
Realizando las mediciones indicadas, de por lo menos seis veces la altura máxima a la que puede llegar el agua en el vertedero, tenemos la distancia de 60 cm a la cual debe ser colocada la reglilla (Gráfico 4 – 4)

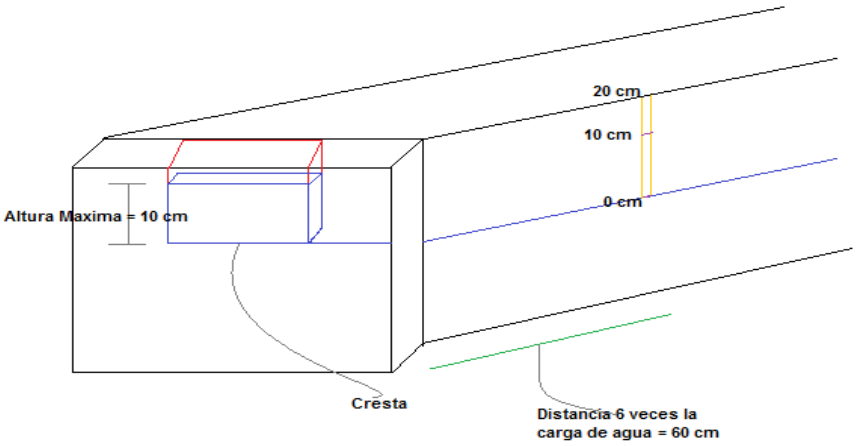


Gráfico 4 – 4: Vertedero rectangular, esquema de ubicación de la reglilla
Fuente – Elaboración: Autor

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS, OBTENCIÓN DE LA CURVA DE DOSIFICACIÓN

5.1 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE

5.1.1 Ensayos de jarras con diferentes dosis de sulfato de aluminio

A continuación se presentan los datos de los análisis experimentales agua cruda evaluada, y sus correspondientes resultados después del tratamiento con Sulfato de Aluminio Tipo A mediante el ensayo de jarras, organizados de acuerdo a los meses en los que se realizaron las pruebas.

a) Ensayos en el mes de enero:

En el mes de enero se analizaron nueve muestras, las cuales tuvieron diferentes condiciones de turbiedad, color y pH.

En la tabla 5 – 1 se encuentran las fechas en las cuales se realizaron las pruebas al igual que los parámetros iniciales de turbiedad, color y pH.

Tabla 5 – 1: Parámetros fisicoquímicos iniciales en el mes de enero

# De Ensayo	Fecha	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
1	5/1/15	13,1	136	7,42
2	8/1/15	21,1	133	7,11
3	9/1/15	18,2	115	7,75
4	13/1/15	32,4	241	7,71
5	15/1/15	262	910	6,87
6	20/1/15	86,1	478	7,15
7	22/1/15	210	766	7,02
8	27/1/15	110	500	7,27
9	29/1/15	63,8	357	7,55

Fuente – Elaboración: Autor

La tabla 5 – 2 presenta los datos iniciales y residuales de turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de turbiedad luego de realizada la prueba de jarras.

Tabla 5 – 2: Resultados de la turbiedad final y dosis óptima en el mes de enero

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Dosificación mg/l				Turbiedad Residual (UNT)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
1	13,1	5	10	15	20	9,95	8,55	5,44	2,63	20
2	21,1	10	15	20	25	12	10,5	9,14	4,24	25
3	18,2	15	20	25	30	12,5	5,85	2,74	3,96	25
4	32,4	20	25	30	35	1,46	1,33	1,12	1,18	30
5	262	40	45	50	55	4,66	1,46	1,21	0,83	55
6	86,1	30	35	40	45	7,46	3,15	2,85	1,73	45
7	210	45	50	55	60	2,12	1,25	1,68	3,39	50
8	110	35	40	45	50	5,43	2,95	2,04	2,15	45
9	63,8	25	30	35	40	26,7	5,35	1,94	1,49	40

Fuente – Elaboración: Autor

*J1=jarra #1, J2=jarra #2, J3=jarra #3, J4=jarra #4.

La tabla 5 – 3 presenta los datos iniciales y residuales de color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de color luego de realizada la prueba de jarras.

Tabla 5 – 3: Resultados del color final y dosis óptima en el mes de enero

# De Ensayo	Color Inicial (UPC)	Dosificación mg/l				Color Residual (UPC)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
1	136	5	10	15	20	81	68	44	16	20
2	133	10	15	20	25	109	96	65	21	25
3	115	15	20	25	30	91	51	15	33	25
4	241	20	25	30	35	33	31	26	22	35
5	910	40	45	50	55	46	40	21	24	50
6	478	30	35	40	45	112	54	49	26	45
7	766	45	50	55	60	17	5	9	26	50
8	500	35	40	45	50	19	16	8	8	45
9	357	25	30	35	40	191	49	17	15	40

Fuente – Elaboración: Autor

*J1=jarra #1, J2=jarra #2, J3=jarra #3, J4=jarra #4.

La tabla 5 – 4 presenta los datos finales de turbiedad, color, pH, así como la dosis óptima correspondientes de las pruebas realizadas en el mes de enero.

Tabla 5 – 4: Datos de turbiedad, color y pH finales en el mes de enero

# De Ensayo	Dosis Óptima mg/l	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
1	20	2,63	16	7,03
2	25	4,24	21	6,98
3	25	2,74	15	7,48
4	30	1,12	26	7,03
5	55	0,83	24	6,3
6	45	1,73	26	6,92
7	55	1,25	5	6,82
8	50	2,04	8	7,1
9	40	1,49	15	7,2

Fuente – Elaboración: Autor

Finalmente se puede observar en la tabla 5 – 4 que el pH final en los ensayos realizados en el mes de enero se mantiene dentro del rango recomendado de 6,5 a 8.

Discusión de resultados:

En el ensayo 1 se presentó una turbiedad inicial de 13,1, disminuyendo hasta una turbiedad de 2,63 con un porcentaje de remoción del 79,9%, en el ensayo 2 se presentó una turbiedad inicial de 21,1, disminuyendo hasta una turbiedad de 4,24 con un porcentaje de remoción del 79,9%, en el ensayo 3 se presentó una turbiedad inicial de 18,2, disminuyendo hasta una turbiedad de 2,74 con un porcentaje de remoción del 84,9%, en el ensayo 4 se presentó una turbiedad inicial de 32,4, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,12 con un porcentaje de remoción del 96,5%, en el ensayo 5 se presentó una turbiedad inicial de 262, disminuyendo hasta una turbiedad de 0,83 con un porcentaje de remoción del 99,7%, en el ensayo 6 se presentó una turbiedad inicial de 86,1, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,73 con un porcentaje de remoción del 98%, en el ensayo 7 se presentó una turbiedad inicial de 210, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,25 con un porcentaje de remoción del 99,4%, en el ensayo 8 se presentó una turbiedad inicial de 110, disminuyendo hasta una turbiedad de 2,04 con un porcentaje de remoción del 98,1%, en el ensayo 9 se presentó una turbiedad inicial de 63,8, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,49 con un

porcentaje de remoción del 97,7%, los porcentajes de remoción se encuentran en la tabla 5 – 17.

b) Ensayos en el mes de febrero:

En el mes de febrero se analizaron ocho muestras, las cuales tuvieron diferentes condiciones de turbiedad, color y pH.

En la tabla 5 – 5 se encuentran las fechas en las cuales se realizaron las pruebas al igual que los parámetros iniciales de turbiedad, color y pH.

Tabla 5 – 5: Parámetros fisicoquímicos iniciales en el mes de febrero

# De Ensayos	Fecha	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
10	3/2/15	24,7	168	7,76
11	6/2/15	16,4	138	7,35
12	9/2/15	428	1650	6,92
13	10/2/15	20	204	7,63
14	12/2/15	78,4	399	7,21
15	19/2/15	18,8	164	7,67
16	24/2/15	12,9	153	7,94
17	26/2/15	341	976	6,74

Fuente – Elaboración: Autor

La tabla 5 – 6 presenta los datos iniciales y residuales de turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de turbiedad luego de realizada la prueba de jarras.

Tabla 5 – 6: Resultados de la turbiedad final y dosis óptima en el mes de febrero

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Dosificación mg/l				Turbiedad Residual (UNT)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
10	24,7	15	20	25	30	6,92	2,08	1,33	2,43	25
11	16,4	10	15	20	25	2,65	1,32	1,25	1,6	20
12	428	45	50	55	60	11,9	14,3	1,95	5,5	55
13	20	15	20	25	30	14,4	4,87	1,3	2,03	25
14	78,4	30	35	40	45	2,27	1,14	0,82	1,53	40
15	18,8	10	15	20	25	6,47	2,49	1,6	1,24	25
16	12,9	10	15	20	25	10,7	5,38	1,5	2,64	20
17	341	40	45	50	55	2,36	1,78	1,12	1,03	55

Fuente – Elaboración: Autor

*J1=jarra #1, J2=jarra #2, J3=jarra #3, J4=jarra #4

La tabla 5 – 7 presenta los datos iniciales y residuales de color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de color luego de realizada la prueba de jarras.

Tabla 5 – 7: Resultados del color final y dosis óptima en el mes de febrero

# De Ensayo	Color Inicial (UPC)	Dosificación mg/l				Color Residual (UPC)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
10	168	15	20	25	30	72	21	15	19	25
11	138	10	15	20	25	34	25	15	11	25
12	1650	45	50	55	60	56	55	26	86	55
13	204	15	20	25	30	123	87	13	19	25
14	399	30	35	40	45	32	21	14	17	40
15	164	10	15	20	25	55	19	13	10	25
16	153	10	15	20	25	147	107	46	55	20
17	976	40	45	50	55	27	24	12	9	55

Fuente – Elaboración: Autor

*J1=jarra #1, J2=jarra #2, J3=jarra #3, J4=jarra #4

La tabla 5 – 8 presenta los datos finales de turbiedad, color, pH, así como la dosis óptima correspondientes de las pruebas realizadas en el mes de febrero.

Tabla 5 – 8: Datos de turbiedad, color y pH finales en el mes de febrero

# De Ensayos	Dosis Óptima mg/l	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
10	25	1,33	15	7,4
11	20	1,25	15	7,05
12	55	1,95	26	6,48
13	25	1,3	13	7,44
14	40	0,82	14	7,05
15	25	1,24	10	7,31
16	20	1,5	46	7,58
17	55	1,03	9	6,4

Fuente – Elaboración: Autor

Finalmente se puede observar en la tabla 5 – 8 que el pH final en los ensayos realizados en el mes de febrero se mantiene dentro del rango recomendado de 6,5 a 8.

Discusión de resultados:

En el ensayo 10 se presentó una turbiedad inicial de 24,7, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,33 con un porcentaje de remoción del 94,6%, en el ensayo 11 se presentó una turbiedad inicial de 16,4, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,25 con un porcentaje de remoción del 92,4%, en el ensayo 12 se presentó una turbiedad inicial de 428, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,95 con un porcentaje de remoción del 99,5%, en el ensayo 13 se presentó una turbiedad inicial de 20, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,3 con un porcentaje de remoción del 93,5%, en el ensayo 14 se presentó una turbiedad inicial de 78,4, disminuyendo hasta una turbiedad de 0,82 con un porcentaje de remoción del 99%, en el ensayo 15 se presentó una turbiedad inicial de 18,8, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,24 con un porcentaje de remoción del 93,4%, en el ensayo 16 se presentó una turbiedad inicial de 12,9, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,5 con un porcentaje de remoción del 88,4%, en el ensayo 17 se presentó una turbiedad inicial de 341, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,03 con un porcentaje de remoción del 99,7%, los porcentajes de remoción se encuentran en la tabla 5 – 17.

c) Ensayos en el mes de marzo:

En el mes de marzo se analizaron nueve muestras, las cuales tuvieron diferentes condiciones de turbiedad, color y pH.

En la tabla 5 – 9 se encuentran las fechas en las cuales se realizaron las pruebas al igual que los parámetros iniciales de turbiedad, color y pH.

Tabla 5 – 9: Parámetros fisicoquímicos iniciales en el mes de marzo

# De Ensayos	Fecha	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
18	3/3/15	835	2060	6,93
19	5/3/15	53,8	376	7,18
20	9/3/15	19,2	147	7,75
21	12/3/15	15,6	160	7,88

#De Ensayo	Fecha	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
22	16/3/15	64,4	289	7,2
23	19/3/15	410	1096	7,2
24	23/3/15	192	610	7,21
25	26/3/15	157	726	7,52
26	30/3/15	105	496	7,33

Fuente – Elaboración: Autor

La tabla 5 – 10 presenta los datos iniciales y residuales de turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de turbiedad luego de realizada la prueba de jarras.

Tabla 5 – 10: Resultados de la turbiedad final y dosis óptima en el mes de marzo

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Dosificación mg/l				Turbiedad Residual (UNT)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
18	835	45	50	55	60	5,41	4,57	4,16	3,54	60
19	53,8	25	30	35	40	5,49	2,37	1,02	1,15	35
20	19,2	20	25	30	35	4,67	1,17	1,66	2,78	25
21	15,6	10	15	20	25	11	5,03	1,66	1,82	20
22	64,4	25	30	35	40	7,44	3,7	1,81	1,12	40
23	410	40	45	50	55	12,5	4,98	2,92	1,86	55
24	192	35	40	45	50	12,4	4,25	1,74	1,3	50
25	157	35	40	45	50	56,8	21,9	9,37	2,04	50
26	105	30	35	40	45	31,5	11,7	7,38	2,71	45

Fuente – Elaboración: Autor

*J1=jarra #1, J2=jarra #2, J3=jarra #3, J4=jarra #4

La tabla 5 – 11 presenta los datos iniciales y residuales de color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de color luego de realizada la prueba de jarras.

Tabla 5 – 11: Resultados del color final y dosis óptima en el mes de marzo

# De Ensayo	Color Inicial (UPC)	Dosificación mg/l				Color Residual (UPC)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
18	2060	45	50	55	60	115	135	64	31	60
# De Ensayo	Color Inicial (UPC)	Dosificación mg/l				Color Residual (UPC)				Dosis Óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	
19	376	25	30	35	40	108	53	17	22	35
20	147	20	25	30	35	73	18	14	22	30
21	160	10	15	20	25	122	98	34	24	25
22	289	25	30	35	40	79	32	19	10	40
23	1096	40	45	50	55	132	57	35	16	55
24	610	35	40	45	50	131	40	23	18	50
25	726	35	40	45	50	412	240	91	37	50
26	496	30	35	40	45	166	88	39	19	45

Fuente – Elaboración: Autor

*J1=jarra #1, J2=jarra #2, J3=jarra #3, J4=jarra #4

La tabla 5 – 12 presenta los datos finales de turbiedad, color, pH, así como la dosis óptima correspondientes de las pruebas realizadas en el mes de marzo.

Tabla 5 – 12: Datos de turbiedad, color y pH finales en el mes de marzo

# De Ensayos	Dosis Óptima mg/l	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH
18	60	3,54	31	6,38
19	35	1,02	17	7,05
20	25	1,17	18	7,57
21	20	1,66	34	7,63
22	40	1,12	10	6,88
23	55	1,86	16	6,88
24	50	1,3	18	6,95
25	50	2,04	37	7,22
26	45	2,71	19	6,97

Fuente – Elaboración: Autor

Finalmente se puede observar en la tabla 5 – 12 que el pH final en los ensayos realizados en el mes de marzo se mantiene dentro del rango recomendado de 6,5 a 8.

Discusión *de resultados:*

En el ensayo 18 se presentó una turbiedad inicial de 835, disminuyendo hasta una turbiedad de 3,54 con un porcentaje de remoción del 99,6%, en el ensayo 19 se presentó una turbiedad inicial de 53,8, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,02 con un porcentaje de remoción del 98,1%, en el ensayo 20 se presentó una turbiedad inicial de 19,2, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,17 con un porcentaje de remoción del 93,9%, en el ensayo 21 se presentó una turbiedad inicial de 15,6, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,66 con un porcentaje de remoción del 89,4%, en el ensayo 22 se presentó una turbiedad inicial de 64,4, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,12 con un porcentaje de remoción del 98,3%, en el ensayo 23 se presentó una turbiedad inicial de 410, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,86 con un porcentaje de remoción del 99,5%, en el ensayo 24 se presentó una turbiedad inicial de 192, disminuyendo hasta una turbiedad de 1,3 con un porcentaje de remoción del 99,3%, en el ensayo 25 se presentó una turbiedad inicial de 157, disminuyendo hasta una turbiedad de 2,04 con un porcentaje de remoción del 98,7%, en el ensayo 26 se presentó una turbiedad inicial de 105, disminuyendo hasta una turbiedad 2,71 con un porcentaje de remoción del 97,4, los porcentajes de remoción se encuentran en la tabla 5 – 17.

5.1.2 Turbiedad inicial y dosis óptimas

Las siguientes tablas presentan los resultados obtenidos de las turbiedades iniciales del agua cruda organizadas por rangos y las dosis óptimas encontradas después de tratamiento con Sulfato de Aluminio Tipo A en los ensayos de jarras, además de sus respectivos gráficos, con el fin de analizar los datos de una manera más clara.

a) Turbiedad Inicial rango 0 a 50 UNT:

La tabla 5 – 13 y el gráfico 5 – 1 corresponden a las pruebas que están dentro del rango de turbiedad de 0 a 50 UNT, encontrándose 11 ensayos los cuales están organizados de menor a mayor turbiedad.

Tabla 5 – 13: Turbiedad inicial y su dosis óptima, rango 0 a 50 UNT

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Dosis Óptima mg/l
16	12,9	20
1	13,1	20
# De Ensayo	**Turbiedad Inicial (UNT)**	**Dosis Optima mg/l**
21	15,6	20
11	16,4	20
3	18,2	25
15	18,8	25
20	19,2	25
13	20	25
2	21,1	25
10	24,7	25
4	32,4	30

Fuente – Elaboración: Autor

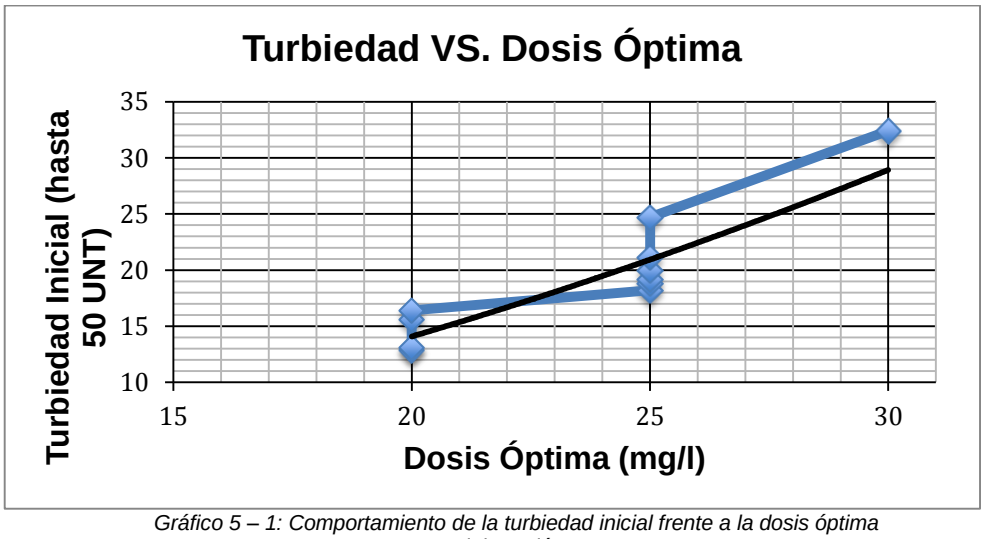


Gráfico 5 – 1: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima
Fuente – Elaboración: Autor

b) Turbiedad inicial rango 51 a 150 UNT:

La tabla 5 – 14 y el gráfico 5 – 2 corresponden a las pruebas que están dentro del rango de turbiedad de 51 a 150 UNT, encontrándose 7 ensayos los cuales están organizados de menor a mayor turbiedad.

Tabla 5 – 14: Turbiedad inicial y su dosis óptima, rango 51 a 150 UNT

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Dosis Óptima mg/l
19	53,8	35
9	63,8	40
# De Ensayo	**Turbiedad Inicial (UNT)**	**Dosis Óptima mg/l**
22	64,4	40
14	78,4	40
6	86,1	45
26	105	45
8	110	45

Fuente – Elaboración: Autor

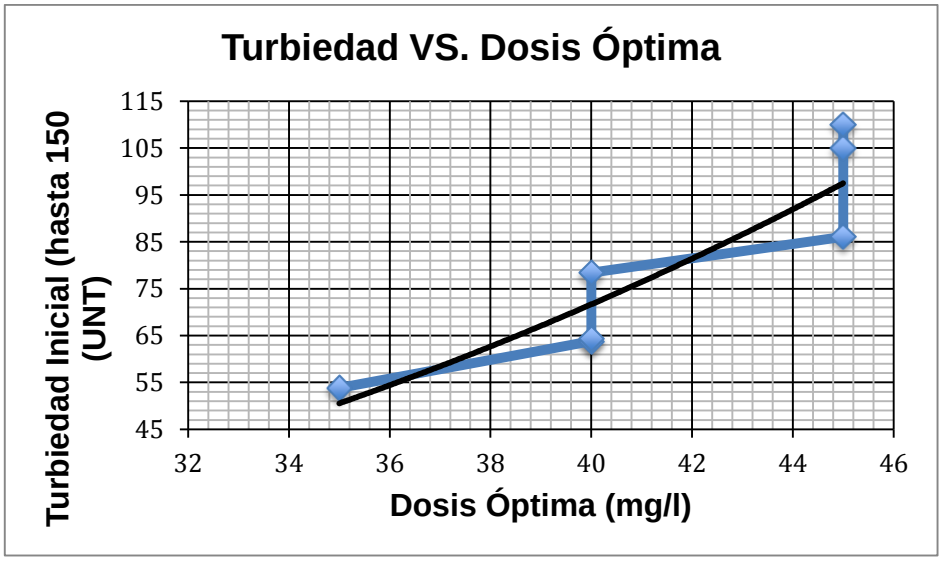


Gráfico 5 – 2: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima
Fuente – Elaboración: Autor

c) Turbiedad inicial rango 151 a 900 UNT:

La tabla 5 – 15 y el gráfico 5 – 3 corresponden a las pruebas que están dentro del rango de turbiedad de 151 a 900 UNT, encontrándose 8 ensayos los cuales están organizados de menor a mayor turbiedad.

Tabla 5 – 15: Turbiedad inicial y su dosis óptima, rango 151 a 900 UNT

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Dosis Óptima mg/l
25	157	50
24	192	50
# De Ensayo	**Turbiedad Inicial (UNT)**	**Dosis Óptima mg/l**
7	210	50
5	262	55
17	341	55
23	410	55
12	428	55
18	835	60

Fuente – Elaboración: Autor

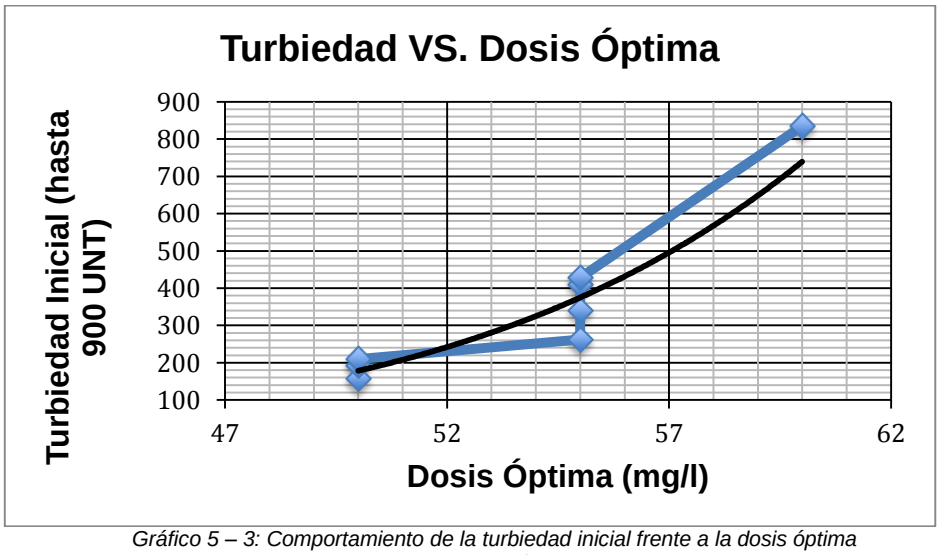


Gráfico 5 – 3: Comportamiento de la turbiedad inicial frente a la dosis óptima
Fuente – Elaboración: Autor

Discusión de resultados:

El agua captada del río Cuenca se comporta siempre de un modo muy distinto, debido a que las sustancias que pueda llevar disueltas en ella alteran notablemente los parámetros fisicoquímicos de esta, haciendo que el tratamiento a aplicar no siempre sea el mismo.

La dosis óptima frente a la turbiedad debería seguir un comportamiento exponencial o logarítmico dado que a medida que la turbiedad aumenta lo debería hacer también la dosis de coagulante. El agua se comporta de una manera totalmente distinta, ya que no solo son importantes los factores de turbiedad, color y pH sino también influyen otros factores como la alcalinidad y la dureza.

5.1.3 Relación entre condiciones iniciales y finales con sus respectivas dosis óptimas encontradas

En la tabla 5 – 16 encontramos todos los ensayos con sus respectivos parámetros iniciales y finales así como también con la dosis óptima determinada. Se exponen los gráficos 5 – 4 y 5 – 5 que nos enseñan la dosis óptima VS. el color y VS. la turbiedad para poder apreciar la cantidad de coagulante necesaria más detalladamente.

Tabla 5 – 16: Condiciones iniciales – finales y sus respectivas dosis óptimas

# De Ensayo	Turbiedad (UNT)		Color (UPC)		pH		Dosis Óptima mg/l
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
1	13,1	2,63	136	16	7,42	7,03	20
2	21,1	4,24	133	21	7,11	6,98	25
3	18,2	2,74	115	15	7,75	7,48	25
4	32,4	1,12	241	26	7,71	7,03	30
5	262	0,83	910	24	6,87	6,3	55
6	86,1	1,73	478	26	7,15	6,92	45
7	210	1,25	766	5	7,02	6,82	55
8	110	2,04	500	8	7,27	7,1	50
9	63,8	1,49	357	15	7,55	7,2	40
10	24,7	1,33	168	15	7,76	7,4	25
11	16,4	1,25	138	15	7,35	7,05	20

12	428	1,95	1650	26	6,92	6,48	55
13	20	1,3	204	13	7,63	7,44	25
14	78,4	0,82	399	14	7,21	7,05	40
15	18,8	1,24	164	10	7,67	7,31	25
16	12,9	1,5	153	46	7,94	7,58	20
17	341	1,03	976	9	6,74	6,4	55
18	835	3,54	2060	31	6,93	6,38	60
19	53,8	1,02	376	17	7,18	7,05	35
20	19,2	1,17	147	18	7,75	7,57	25
21	15,6	1,66	160	34	7,88	7,63	20
22	64,4	1,12	289	10	7,2	6,88	40
23	410	1,86	1096	16	7,2	6,88	55
24	192	1,3	610	18	7,21	6,95	50
25	157	2,04	726	37	7,52	7,22	50
26	105	2,71	496	19	7,33	6,97	45

Fuente – Elaboración: Autor

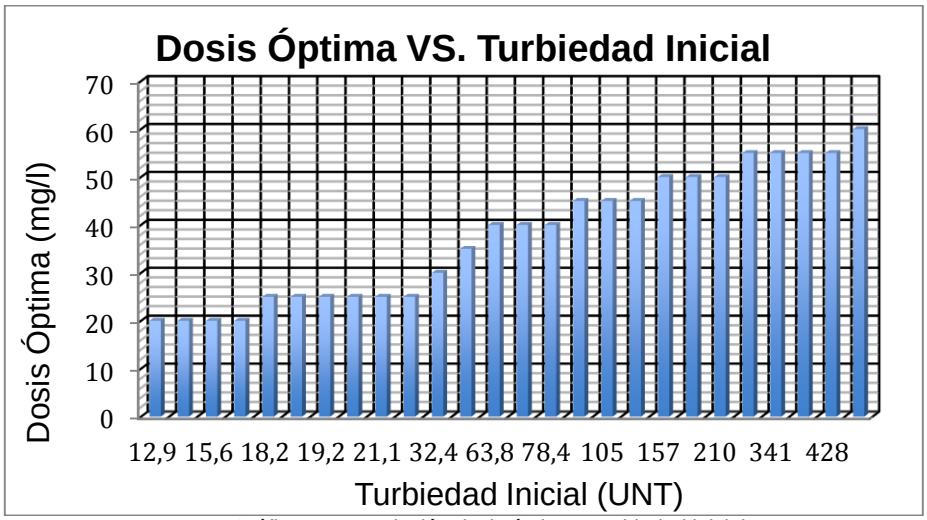


Gráfico 5 – 4: Relación dosis óptima y turbiedad inicial
Fuente – Elaboración: Autor

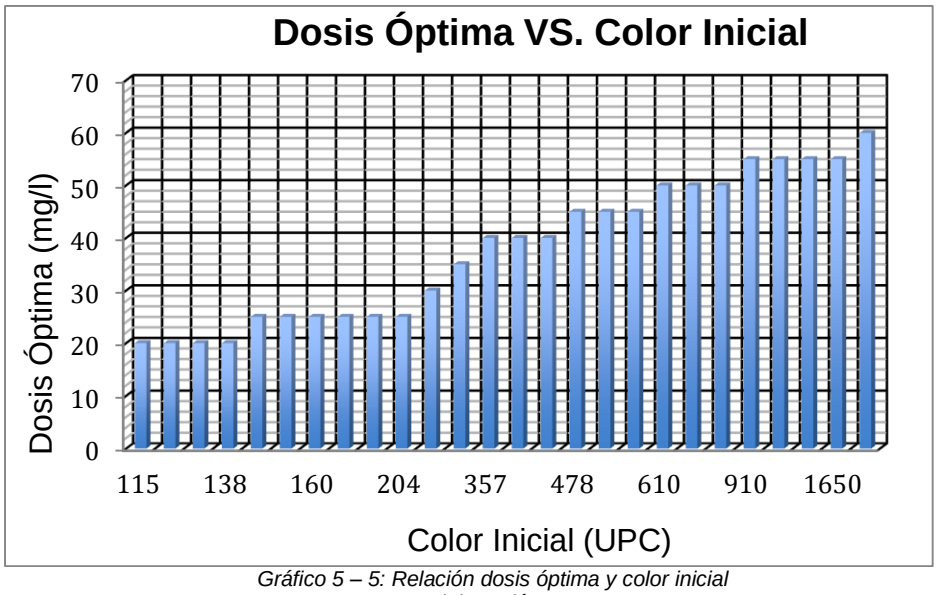


Gráfico 5 – 5: Relación dosis óptima y color inicial
Fuente – Elaboración: Autor

5.1.4 Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos estudiados

Las tablas que se encuentran a continuación nos enseñan el porcentaje de remoción de turbiedad y color que alcanzaron los diferentes ensayos aplicando la dosis óptima de coagulante.

a) **Remoción de turbiedad**:

Para la obtención de los porcentajes de remoción de turbiedad se empleó la siguiente ecuación.

$$\%\ Remoción\ de\ Turbiedad = \frac{Turbiedad\ Inicial - Turbiedad\ Final}{Turbiedad\ Inicial}\ x\ 100$$

(Ecuación 5 – 1)

En la tabla 5 – 17 y el gráfico 5 – 6 se puede apreciar el porcentaje de remoción de turbiedad en cada uno de los ensayos después de aplicada la dosis óptima.

Tabla 5 – 17: Porcentaje de remoción de turbiedad

# De Ensayo	Turbiedad Inicial (UNT)	Turbiedad Final (UNT)	% Remoción
1	13,1	2,63	79,9
2	21,1	4,24	79,9
3	18,2	2,74	84,9
4	32,4	1,12	96,5
5	262	0,83	99,7
6	86,1	1,73	98,0
7	210	1,25	99,4
8	110	2,04	98,1
9	63,8	1,49	97,7
10	24,7	1,33	94,6
11	16,4	1,25	92,4
12	428	1,95	99,5
13	20	1,3	93,5
14	78,4	0,82	99,0
15	18,8	1,24	93,4
16	12,9	1,5	88,4
17	341	1,03	99,7
18	835	3,54	99,6
19	53,8	1,02	98,1
20	19,2	1,17	93,9
21	15,6	1,66	89,4
22	64,4	1,12	98,3
23	410	1,86	99,5
24	192	1,3	99,3
25	157	2,04	98,7
26	105	2,71	97,4

Fuente – Elaboración: Autor

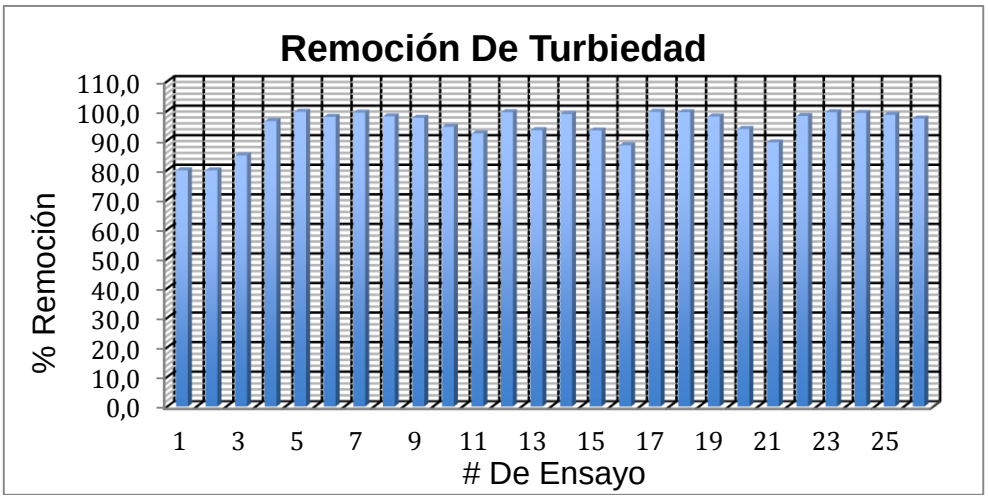


Gráfico 5 – 6: Remoción de turbiedad
Fuente – Elaboración: Autor

b) Remoción de color:

Para la obtención de los porcentajes de remoción de color se empleó la siguiente ecuación.

$$\%\ Remoción\ de\ Color = \frac{Color\ Inicial - Color\ Final}{Color\ Inicial}\ x\ 100$$

(Ecuación 5 – 2)

En la tabla 5 – 18 y el gráfico 5 – 7 se puede apreciar el porcentaje de remoción de color en cada uno de los ensayos después de aplicada la dosis óptima.

Tabla 5 – 18: Porcentaje de remoción de color

# De Ensayo	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC)	% Remoción
1	136	16	88,2
2	133	21	84,2
3	115	15	87,0
4	241	26	89,2
5	910	24	97,4
6	478	26	94,6
7	766	5	99,3
8	500	8	98,4

9 **# De Ensayo**	357 **Color Inicial (UPC)**	15 **Color Final (UPC)**	95,8 **% Remoción**
10	168	15	91,1
11	138	15	89,1
12	1650	26	98,4
13	204	13	93,6
14	399	14	96,5
15	164	10	93,9
16	153	46	69,9
17	976	9	99,1
18	2060	31	98,5
19	376	17	95,5
20	147	18	87,8
21	160	34	78,8
22	289	10	96,5
23	1096	16	98,5
24	610	18	97,0
25	726	37	94,9
26	496	19	96,2

Fuente – Elaboración: Autor

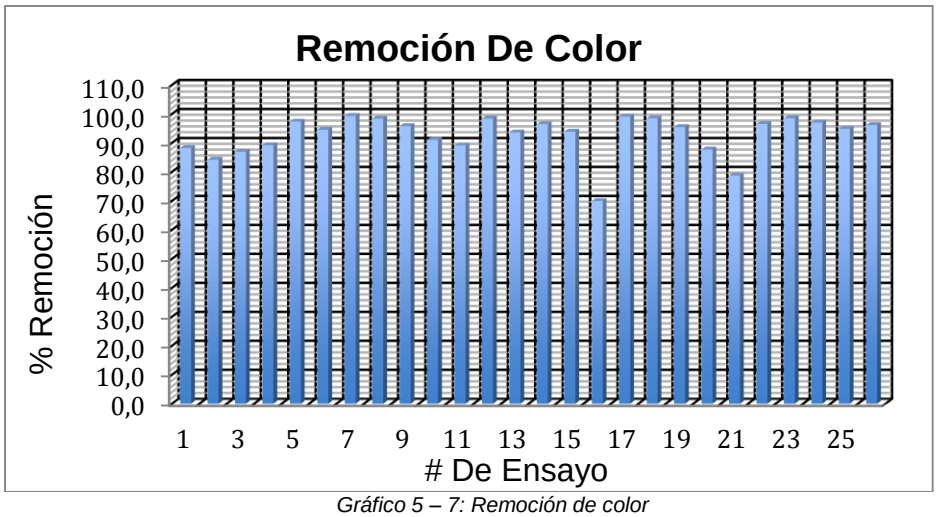


Gráfico 5 – 7: Remoción de color
Fuente – Elaboración: Autor

Discusión de resultados:

Se puede apreciar que los porcentajes de remoción de turbiedad se encuentran por encima del 80% y los de color encima del 70%, lo que demuestra que el Sulfato de Aluminio Tipo A es efectivo al momento de utilizarlo en el tratamiento de aguas de la Central. También nos indica que las dosis de coagulante halladas

son efectivas, ya que se logró la remoción de turbiedad y color en casi todos los ensayos.

5.1.5 Comportamiento del pH en los ensayos realizados

A continuación se encuentra detallado en la tabla 5 – 19 y el gráfico 5 – 8 el comportamiento que tuvo el pH antes y después de realizadas las pruebas con Sulfato de Aluminio tipo A.

Tabla 5 – 19: Comportamiento del pH

# De Ensayo	pH Inicial	pH Final
1	7,42	7,03
2	7,11	6,98
3	7,75	7,48
4	7,71	7,03
5	6,87	6,3
6	7,15	6,92
7	7,02	6,82
8	7,27	7,1
9	7,55	7,2
10	7,76	7,4
11	7,35	7,05
12	6,92	6,48
13	7,63	7,44
14	7,21	7,05
15	7,67	7,31
16	7,94	7,58
17	6,74	6,4
18	6,93	6,38
19	7,18	7,05
20	7,75	7,57
21	7,88	7,63
22	7,2	6,88
23	7,2	6,88
24	7,21	6,95
25	7,52	7,22
26	7,33	6,97

Fuente – Elaboración: Autor

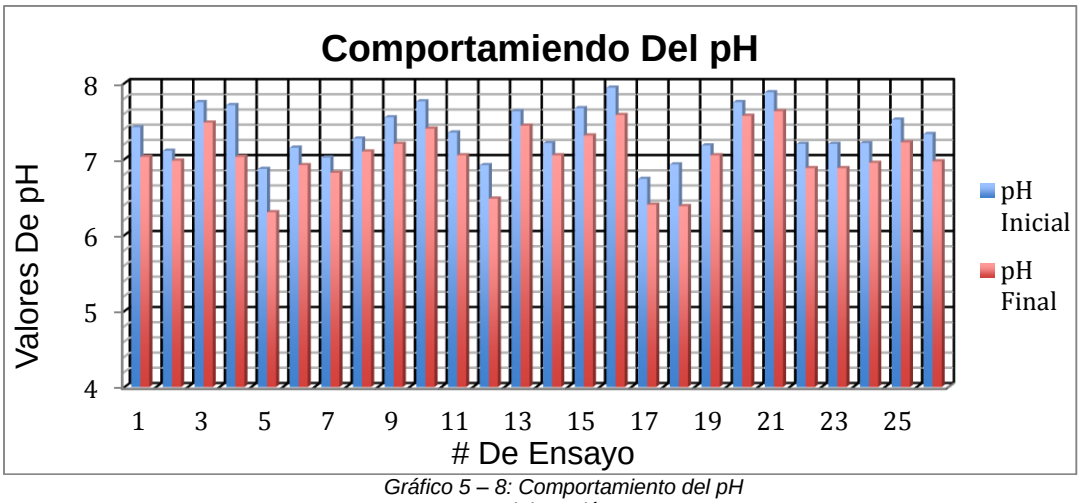


Gráfico 5 – 8: Comportamiento del pH
Fuente – Elaboración: Autor

Discusión de Resultados:

Al agregar el coagulante al agua este se hidroliza provocando una disminución del pH, debido a esto se puede observar que el comportamiento del pH en todos los ensayos es casi el mismo, no obstante en algunas pruebas este ha disminuido más que en otras. En varios ensayos el pH después de aplicado el Sulfato de Aluminio se ubica por debajo del rango establecido, sin embargo en la planta de la Central cuentan con una etapa posterior donde se agrega cal para ajustarlo, debido que para el uso del agua en las calderas el pH debe ser elevado.

5.2 Obtención de la curva de dosificación

La siguiente curva de dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A se la obtuvo mediante las pruebas de jarras realizadas en el laboratorio tecnológico de la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, utilizando el agua cruda que llegaba a la planta de la termoeléctrica.

Con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos de jarras se procedió a analizarlos y estudiarlos, posteriormente se graficó la curva de dosificación con los respectivos ajustes que esta requería, en la misma se relacionó la dosis de sulfato de aluminio a aplicar en la planta en función de la turbiedad del agua de ingreso.

Esta gráfica servirá para que pueda efectuarse la correcta dosificación del coagulante por parte del operador en la planta. Con este método de ensayos de jarras se logró determinar las condiciones de operación óptimas para el tratamiento de agua, y que de esta forma se consiga optimizar su costo en el tratamiento.

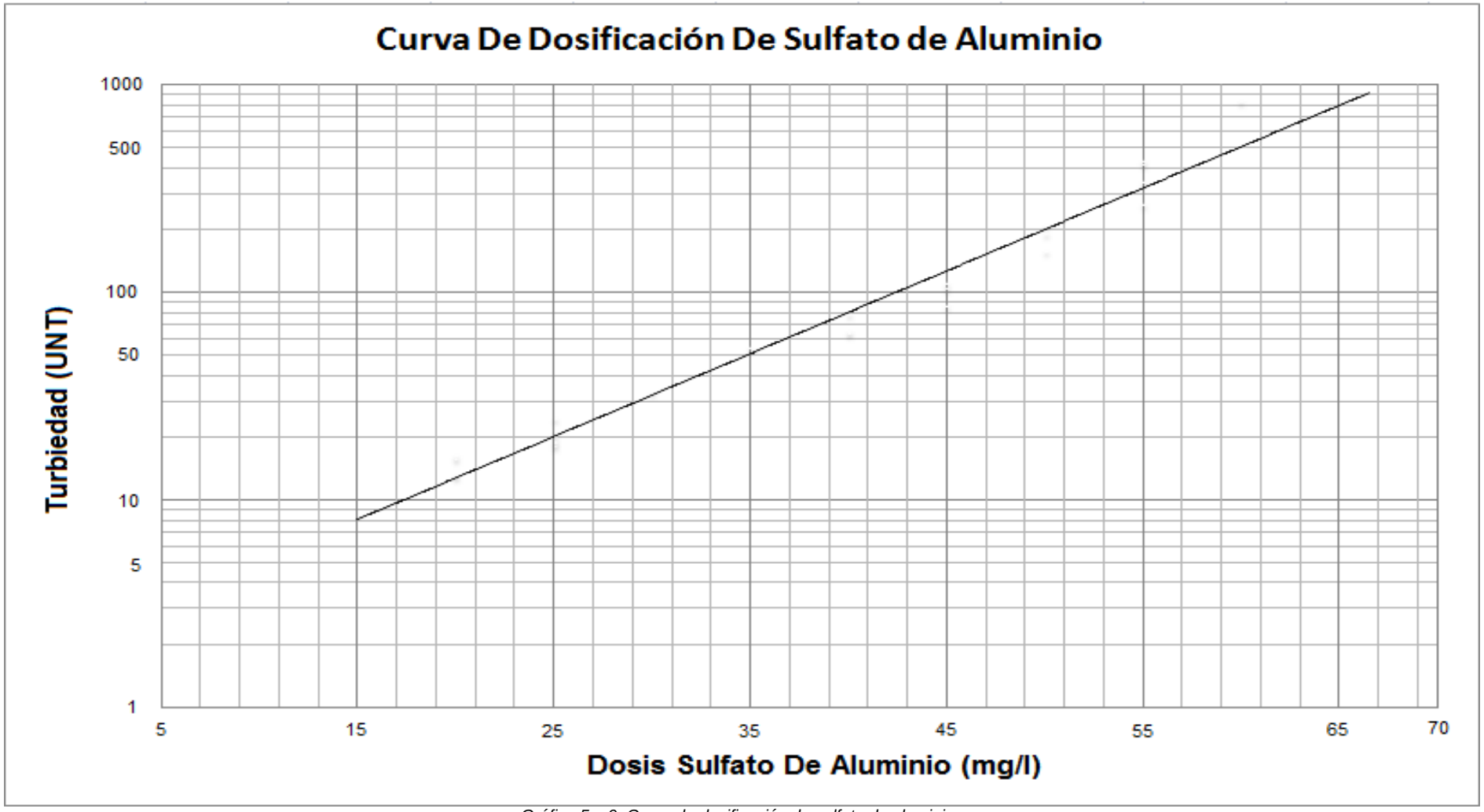


Gráfico 5 – 9: Curva de dosificación de sulfato de aluminio
Fuente – Elaboración: Autor

5.3 ELABORACIÓN DE LA TABLA DEL CAUDAL DE OPERACIÓN

Se elaboró una tabla para obtener la medida de caudales dependiendo de la altura de la cresta de agua cruda en el vertedero rectangular.

Para la evaluación utilizaremos la fórmula de medición de caudal para vertederos rectangulares de cresta ancha.

$$\boldsymbol{Q = 1.71(L)\ H^{1.5}}$$

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

L = ancho del vertedero (m) = 0,40 cm

H = carga o altura del líquido sobre el vertedero (m)

Tabla 5 – 20: Caudal de operación

Caudal de operación para vertedero rectangular			
Altura (cm)	**Caudal (l/s)**	**Altura (cm)**	**Caudal (l/s)**
0,2	0,061	5,2	8,111
0,4	0,173	5,4	8,583
0,6	0,318	5,6	9,064
0,8	0,489	5,8	9,554
1	0,684	6	10,053
1,2	0,899	6,2	10,560
1,4	1,133	6,4	11,075
1,6	1,384	6,6	11,598
1,8	1,652	6,8	12,129
2	1,935	7	12,668
2,2	2,232	7,2	13,215
2,4	2,543	7,4	13,769
2,6	2,868	7,6	14,331
2,8	3,205	7,8	14,900
3	3,554	8	15,477
3,2	3,915	8,2	16,061
3,4	4,288	8,4	16,652
3,6	4,672	8,6	17,251
3,8	5,067	8,8	17,856
4	5,472	9	18,468
4,2	5,887	9,2	19,087
4,4	6,313	9,4	19,713
4,6	6,748	9,6	20,345
4,8	7,193	9,8	20,984
5	7,647	10	21,630

Fuente – Elaboración: Autor

El operador de la planta ahora podrá trabajar en la dosificación del coagulante usando la tabla de caudales con respecto a la altura conjuntamente con la gráfica de dosificación determinada para poder obtener el caudal de coagulante necesario dependiendo de la turbiedad de agua cruda.

Utilizando la siguiente fórmula el operador sabrá que cantidad exacta de coagulante deberá añadir al agua cruda según la turbiedad y la altura del agua en el vertedero:

$$\boldsymbol{Q * D = q * C}$$

(Ecuación 5 – 3)

Donde:

Q = caudal del vertedero (l/s) (tabla 5 – 20)

D = dosis de sulfato de aluminio (mg/l) (gráfico 5 – 19)

q = caudal de coagulante a añadir (l/minuto)

C = concentración de la solución (5%)

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Los procesos de Coagulación y Floculación son fundamentales en una planta de tratamiento de agua, ya que su eficiencia recae en el funcionamiento de los procesos siguientes. Si el proceso de coagulación y floculación son ineficientes no solo causaría complicaciones en los procesos posteriores sino también provocarían problemas en el tratamiento en general, pudiendo ocasionar inclusive la parada de las operaciones de la planta.
Para que se produzca una adecuada coagulación y una eficaz floculación es necesario una dosificación correcta de coagulante, si se agrega una cantidad arbitraria de coagulante al agua el proceso no es provechoso y producirá problemas de tiempo y aumento de costos de operación para la empresa.

Viendo la necesidad de mejorar estos procesos, se propuso como objetivo general de esta tesis la determinación de la dosis óptima del Coagulante Sulfato de Aluminio, en función de la turbiedad, color, pH del agua, y desarrollado en este proyecto; podemos presentar las conclusiones siguientes.

- Se evidenció que los parámetros físicos y químicos del agua varían en relación al clima, los días que presentaban fuertes precipitaciones era donde se recolectaba muestras con mayor niveles de turbiedad y color.
- Mediante la realización de los ensayos de jarras, podemos demostrar que el Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A es efectivo para la planta de tratamiento de agua de la Central “El Descanso”, dado que, se presentaron buenos porcentajes de remoción de turbiedad y color en las muestras de agua cruda analizadas.
- Al no tener determinada la dosis óptima para cada turbiedad, hace que los proceso se vuelvan ineficientes, al utilizar una cantidad empírica de coagulante puede causar problemas como el desperdicio de coagulante o una dosificación pobre e ineficiente. Se elaboró la curva de dosificación de coagulante, a partir de ensayos en el equipo de prueba de jarras de diferentes muestras de agua con distintos valores de los parámetros de

turbiedad, color y pH, lo que permitirá añadir la cantidad exacta de sulfato de aluminio, optimizando el proceso.

- Se obtuvo la tabla de caudales de operación, a partir de la altura del agua y el ancho del vertedero. Para la utilización de la tabla, primero se deberá medir la altura del agua con ayuda de una regla la misma que puede ser acoplada e instalada en el vertedero, y según la altura obtenida, calculamos el caudal de operación, el cual servirá para la dosificación adecuada de coagulante.
- El operador podrá trabajar en la dosificación usando la tabla de caudales de operación con respecto a la altura conjuntamente con la gráfica de dosificación, para obtener el caudal de coagulante necesario, dependiendo de la turbiedad de agua cruda que se presente en el momento. Para la regulación de dicho caudal, deberá realizar un aforo en una probeta en función del tiempo, maniobrando la apertura de la llave del dosificador, hasta obtener el caudal deseado.
- En muestras de agua con colores elevados se hace necesario la adición de una dosis de coagulante mayor, debido a que es más complejo disminuir los niveles de color que los de turbiedad, evidenciándose en los ensayos en los cuales se logró que los valores de turbiedad quedara dentro de un rango favorable pero los del niveles de color no tuvieron una remoción adecuada como fueron los ensayos # 4, 16, 20, 21.
- Después del tratamiento con el coagulante el pH del agua se hidroliza provocando su disminución, quedando muchas veces fuera del rango establecido, por eso, la planta de tratamiento de agua de la Central “El Descanso” cuenta con una adición posterior de cal al agua, que sirve para elevar el pH del agua y poder ser utilizarla en las calderas.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los directivos de la empresa que es necesario realizar una inversión en equipos y material de laboratorio, son indispensables para la aplicación del trabajo realizado, si, no se cuenta con los equipos para la determinación de la turbiedad del agua cruda que entra al tanque de carga de poco o nada serviría el estudio elaborado.
- Se sugiere la elaboración de la reglilla graduada en centímetros y su colocación en la pared interior izquierda del vertedero, necesaria para la lectura de la carga de agua que entra al vertedero.
- Actualmente se realiza la dosificación del coagulante en el punto adecuado, en donde se produce la mayor turbulencia y proporcionando una buena mezcla; sin embargo el difusor de coagulante o llamado también flautín, no se encuentra funcionando correctamente, la función de este instrumento es el de dispersar el coagulante uniformemente en el resalto hidráulico a lo ancho del canal, en este caso, no se encuentra trabajando de esta manera, sino dispersando el coagulante a un solo lado del canal, provocando una repartición errónea de coagulante. Se recomienda un estudio para la elaboración y colocación de un nuevo difusor de coagulante.
- El caudal de la planta no siempre es el mismo, y este varía según la demanda de agua en la Central, sin embargo, se recomienda trabajar la planta con un caudal de operación de 15 l/s, ya que el estudio realizado se utilizó empleo el caudal señalado.
- Se recomienda que en un futuro se hagan pruebas con Policloruro de Aluminio (PAC) para determinar si se puede mejorar aún más el proceso de coagulación y floculación. Además es un producto que no produce incrustaciones ni corrosión en las tuberías, es muy eficiente, su manejo y utilización no es peligroso y ni de cuidado, trabaja en un mayor rango de pH que el sulfato de aluminio.

Bibliografía

[1] AQUASTAT;. «Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).» *AQUASTAT.* 2014. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecuador/indexesp.stm (último acceso: Septiembre de 2014).

[2] Buckalew, James, Paul Reed, Lisa Scott, y Maurice James. «Evaluacion de los Recursos de Agua del Ecuador.» Reporte, Centro de Ingeniería y Topografía, Cuerpos de Ingenieros de los Estados Unidos de América, Ecuador, 1998, 90.

[3] Endesa, Sociedad Anónima. «Endesa Corporation.» *Endesa, Centrales Térmicas.* Julio de 2002. http://www.endesa.com/es/conoceendesa/lineasnegocio/Electricidad/Centrales_termoel%C3%A9ctricas (último acceso: Septiembre de 2014).

[4] Lama, Francisco; Rosell, María; Suero, Cristina. *Junta de Andalucia.* Servicio de Andaluz de Empleo. http://www.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdeempleo/web/websae/export/sites/sae/es/empleo/buscarTrabajo/eligeProfesion/galeriaPDFs/Detalle/002016IngAmb.pdf (último acceso: 2014).

[5] Andía, Ylonada. «Tratamiento de Agua Coagulacion y Floculacion.» Curso, Evaluacion de Plantas y Desarrollo Tecnológico, SEDAPAL, Lima, 2000, 45.

[6] Elecaustro, Empresa Electro Generadora Del Austro. *Elecaustro S. A.* 2005. www.elecaustro.com.ec.

[7] Barragán, Antonio. «Estudio de Impacto Ambental Definitivo Expost Central Termoeléctrica El Descanso.» EIAD Expost, Cuenca, 2013, 380.

[8] Sheppard, Powell. *Acondicionamiento de Aguas para la Industria.* 1ra. edición. Editado por Salvador Ayanehui. Mexico D.F.: Limusa-Wiley, S.A., 1966.

[9] Albuja, Daniela, y Juana Illescas. «Optimización de los Procesos de Potabilizacion de Agua en la Planta de Tratamiento de Sústag-Etapa.» Tesis previo al Título de Ingeniero Químico, Departamento de Ciencias Químicas, Universidad De Cuenca, Cuenca, Azuay, 2010, 366.

[10] Murillo, Diana. «Análisis de la Influencia de dos Materias primas Cogulantes en el Aluminio residual del Agua Tratada.» Tesis previo a la obtencion del título de Ingeniero Industrial, Escuela de Tecnologías Química Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2011, 122.

[11] López, Luis. *Estudio y Evaluacion de Impacto Ambiental en Ingeniería Civil.* Vol. I. I vols. San Vicente, Alicate: Editorial Club Universitario, 2013.

[12] Mejía, Jackelin. «Calidad del Agua Potable del Cantón Gualaquiza.» Tesis previo a la obtención del Título de Magister en Gestión Ambiental para Industrias de Produccion y Servicios, Facultada de Ciencias Químicas, Universidad Estatal de Cuenca, Cuenca, 2010, 98.

[13] Romero, Jairo. «Análisis Físico del Agua.» En *Calidad del Agua*, de Jairo Romero, editado por Jimena Garzón, 468. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenería, 2005.

[14] Gómez, Nestor. «Remocion de materia Orgánica por Coagulación y Floculación.» Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacinal de Colomba, Manizales, 2005, 115.

[15] Pérez, J.M., L.M. Cánepa de Vargas, y C. Ríchter. *Teoría de la Coagulación.* Octubre de 2010. http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3938/5/BVCI0003303_3.pdf (último acceso: Marzo de 2015).

[16] Lastra, Tania. *Estudio de la Floculación con energía cinética en un reactor tubular.* Tesis previo a la obtención del Título de Ingeniero Químico, Departamento de Ingeniería, Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010, 100.

[17] De Vargas, Lidia. *Tratamiento de Agua para el Consumo Humano.* Vol. I, de *Plantas de filtracion rápida*, de Ada Barrenechea, 304. Lima, Camacho: Los Pinos, 2004.

[18] Arboleda, Jorge. *Tería y Práctica de la Purificación de la Agua.* Vol. I, de *Teoría de la Coagulación*, de Jorge Arboleda, 836. Bogotá: Interamericana de Colombia, 2000.

[19] Restrepo, Hernán. «Evaluación del Proceso de Coagulación y Floclación de una Plant de Agua Potable.» Tesis previo al título de Ingeniero Civil, Departamento de Minas, Universidad Nacional De Colombia, Medellín, 2009, 110.

[20] Núñez, Ángel. «Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable en las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico Y Chocaví Central de la Parroquia San Isidro de Patulu.» Tesis de Grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Químico, Departamento de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2014, 210.

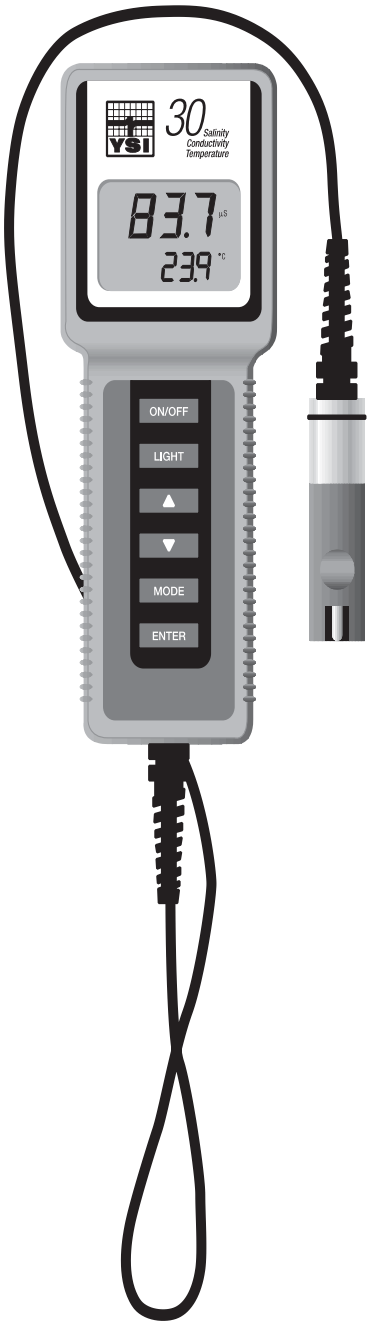
[21] Lorenzo, Yaniris. «Estado del Arte del Tratamiento de Aguas por Coagulación y Floculación.» *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, Agosto 2006: 10.

[22] Bello, Marco, y María Pino. «Medición de Presión y Caudal.» Boletín, Comisión Nacinal de Riego, Instituto de Investigación Agropecuarias , Punta Arenas, Chile, 2000, 21.

ANEXOS

ANEXO A

Imagen A – 1 : Equipo Conductímetro Marca YSI 30
Fuente – Elaboración: Autor



YSI Model 30
YSI Model 30M

Handheld Salinity, Conductivity and Temperature System

Operations Manual

APPENDIX F GENERAL SPECIFICATIONS

Probe Operating Environment

Medium: fresh, sea, or polluted water and most other liquid solutions.

Temperature: -5 to +95°C

Depth: 0 to 10, 0 to 25, or 0-50 feet (depending on cable length); 0-100 feet (30M Only)

Meter Ambient Operating/Storage Temperature: -10 to +50°C

Material: ABS, Stainless Steel, and other materials.

Dimensions:

Height:	9.5 inches	(24.13 cm)
Thickness:	2.2 inches	(5.6 cm)
Width:	3.5 inches max.	(8.89 cm)
Weight:	1.7 pounds (w/ 10' cable)	(0.77 kg)
Display	2.3"W x 1.5"L	(5.8 cm W x 3.8 cm L)

Power: 9 VDC - 6 AA-size Alkaline Batteries (included)

Approximately 100 hours operation from each new set of batteries

Water Tightness: Meets or exceeds IP65 standards

Extensive testing of the YSI Model 30 indicates the following typical performance:

MEASUREMENT	RANGE	RESOLUTION	ACCURACY
Conductivity	0 to 499.9 µS/cm	0.1 µS/cm	± 0.5% FS*
	0 to 4999 µS/cm	1.0 µS/cm	± 0.5% FS
	0 to 49.99 mS/cm	0.01 mS/cm	± 0.5% FS
	0 to 200.0 mS/cm	0.1 mS/cm	± 0.5% FS
Salinity	0-80 ppt	0.1 ppt	± 2%, or ± 0.1 ppt
Temperature	-5 to 95° C	0.1° C	± 0.1° C (± 1 lsd)

* For 50 Ft. cables, specification is for specific conductance > 100 µS/cm

Adjustable Reference Temperature: 15° C - 25° C

Adjustable Temperature Compensation Factor: 0% - 4%

Temperature Compensation: Automatic

Range: User selected or Autoranging

Data Storage: 50 points with ID (Model 30M only)

ANEXO B

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA **NTE INEN 2176:2013**
Primera revisión

AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO

Primera Edición

WATER QUALITY. SAMPLING. GUIDANCE ON SAMPLING TECHNIQUES

First Edition

DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, equipo de muestreo, condiciones generales.
AL 01.06-203
CDU: 614.777:620.113
CIIU: 4100
ICS: 13.060.01

CDU: 614.777:620.113
ICS: 13.060.01

CIIU: 4100
AL 01.06-203

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO	NTE INEN 2176:2013 Primera revisión 2013-06

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a las técnicas de muestreo generales.

2.2 No se aplica a los procedimientos para situaciones especiales de muestreo.

3. DEFINICIONES

3.1 Para el propósito de esta norma, se aplican las siguientes definiciones:

3.1.1 *Muestra compuesta*. Es la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas, de la cual se puede obtener un resultado promedio de una característica determinada. Las proporciones para la mezcla se basan en las mediciones del tiempo y el flujo.

3.1.2 *Muestra instantánea, puntual, individual*. Es la muestra tomada al azar (con relación al tiempo y/o lugar de un volumen de agua).

3.1.3 *Equipo de muestreo:* Es el equipo usado para obtener una muestra de agua, para el análisis de varias características predefinidas.

3.1.4 *Muestreo*. Es el proceso de tomar una porción, lo más representativa, de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Tipos de muestra. Son necesarios para indicar la calidad del agua, todos los datos analíticos obtenidos mediante la determinación de parámetros como: las concentraciones de material inorgánico, minerales o químicos disueltos, gases disueltos, materia orgánica disuelta y materia en suspensión en el agua o en el sedimento en un tiempo y lugar específicos o a intervalos de tiempo y en un lugar en particular.

4.1.1 Ciertos parámetros, como las concentraciones de gases disueltos deben medirse "in situ", para obtener resultados exactos. Se debe tener en cuenta que los procesos para conservar la muestra se realizará en los casos específicos (ver NTE INEN 2169).

4.1.2 Se recomienda separar las muestras que van a ser usadas en los análisis químicos, microbiológicos y biológicos, debido a que el proceso y el equipo para la recolección y manejo de las muestras es diferente.

4.1.3 Las técnicas de muestreo varían de acuerdo a situaciones específicas. Los diferentes tipos de muestreo son descritos en el capítulo 5.

4.1.4 Es necesario diferenciar el muestreo para agua estancada y el muestreo para agua corriente.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, equipo de muestreo, condiciones generales

4.1.5 El muestreo puntual (4.2) y el muestreo compuesto (4.6) se aplican a aguas estancadas y corrientes, mientras que el muestreo en serie (4.5) es más adecuado para aguas estancadas.

4.2 Muestras puntuales

4.2.1 Las muestras puntuales son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, para aguas en la superficie, a una profundidad específica y en el fondo.

4.2.2 Cada muestra, normalmente, representará la calidad del agua solamente en el tiempo y en el lugar en que fue tomada. El muestreo automático equivale a una serie de muestras tomadas en un tiempo preestablecido o en base a los intervalos de flujo.

4.2.3 Se recomienda tomar muestras puntuales si: el flujo del agua a muestrear no es uniforme, si los valores de los parámetros de interés no son constantes o si el uso de la muestra compuesta presenta diferencias con la muestra individual debido a la reacción entre las muestras.

4.2.4 La muestra puntual es adecuada para la investigación de una posible polución y en estudios para determinar su extensión o en el caso de recolección automática de muestra individual para determinar el momento del día cuando los contaminantes están presentes. También se puede tomar muestras puntuales para establecer un programa de muestreo más extensivo. Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo del programa de muestreo es estimar si la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio de calidad.

4.2.5 La toma de muestras puntuales se recomienda para la determinación de parámetros inestables como: la concentración de gases disueltos, cloro residual y sulfitos solubles.

4.3 Muestras periódicas

4.3.1 Muestras periódicas tomadas a intervalos de tiempo fijos (dependientes del tiempo), estas muestras se toman usando un mecanismo cronometrado para iniciar y finalizar la recolección del agua durante un intervalo de tiempo específico. Un procedimiento común es bombear la muestra dentro de uno o más recipientes durante un período fijo, el volumen está determinado para cada recipiente (Ver nota 1).

4.3.2 Muestras periódicas tomadas a intervalos fijos de flujo (dependientes del volumen), estas muestras son tomadas cuando el criterio de la calidad del agua y el volumen del efluente no están relacionados. Para cada unidad de volumen de flujo, se toma una muestra controlada independientemente del tiempo.

4.3.3 Muestras periódicas tomadas a intervalos fijos de flujo (dependientes del flujo), estas muestras se toman cuando las variaciones en el criterio de calidad del agua y la variación del flujo del efluente no están relacionados. Se toman volúmenes diferentes de muestra a intervalos constantes de tiempo. El volumen depende del flujo.

4.4 Muestras continuas

4.4.1 Muestras continuas tomadas a flujos fijos, las muestras tomadas por esta técnica contienen todos los constituyentes presentes durante un período de muestreo, pero en muchos casos no proporciona información de la variación de la concentración de parámetros específicos durante el período de muestreo.

NOTA 1. El parámetro de estudio puede verse afectado durante el intervalo de tiempo.

(Continúa)

4.4.2 Muestras continuas tomadas a flujos variables, las muestras de flujo proporcional son representativas de la calidad del cuerpo de agua. Si el flujo y la composición varían, las muestras de flujo proporcional pueden variar, las muestras de flujo proporcional pueden revelar variaciones las cuales no pueden ser observadas con el uso de muestras puntuales, siempre que las muestras se mantengan individuales y que el número de muestras sea suficiente para diferenciar los cambios de composición. Por lo tanto, este es el método más preciso para el muestreo de agua corriente, aún cuando el rango de flujo y la concentración de contaminantes varíen significativamente.

4.5 Muestras en serie

4.5.1 Muestras para establecer perfiles en profundidad, es una serie de muestras de agua tomadas a varias profundidades en el cuerpo de agua y en un punto específico.

4.5.2 Muestras para establecer perfiles de áreas, es una serie de muestras de agua tomadas a una profundidad específica del cuerpo de agua en varios puntos.

4.6 Muestras compuestas

4.6.1 Las muestras compuestas se pueden obtener de forma manual o automática, sin importar el tipo de muestreo (dependiente del flujo, tiempo, volumen o localización). Se toman continuamente muestras que se reúnen para obtener muestras compuestas.

4.6.2 Las muestras compuestas suministran el dato de composición promedio. Por lo tanto, antes de mezclar las muestras se debe verificar que ese es el dato requerido o que los parámetros de interés no varían significativamente durante el período de muestreo.

4.6.3 Las muestras compuestas son recomendables cuando la conformidad con un límite está basado en la calidad promedio del agua.

4.7 Muestras de grandes volúmenes

4.7.1 Algunos métodos de análisis para ciertas determinaciones requieren del muestreo de grandes volúmenes, desde 50 litros a varios m^3. Estas muestras son necesarias cuando se analizan pesticidas o microorganismos que no pueden ser cultivados. La muestra se recolecta de la manera convencional, tomando precauciones para asegurar la limpieza total del recipiente o del contenedor de la muestra, o pasando un volumen medido a través de un cartucho absorbente o filtro dependiendo de la determinación. Un cartucho intercambiador de iones o de carbón activado se usa en muestras que se someten al análisis de pesticidas; mientras que un filtro con cartucho de polipropileno de 1 µm de diámetro de poro se recomienda cuando se analiza criptosporidium. Cuando se va a muestras de aguas turbias que contengan sólidos suspendidos que pueden saturar rápidamente los cartuchos filtrantes, se necesita disponer de un arreglo de filtros en serie para que al final la muestra llegue con un contenido bajo de material sólido y se haya retenido efectivamente las sustancias deseadas.

4.8 Tipos de muestreo

4.8.1 Hay varias situaciones de muestreo, algunas de las cuales pueden ser satisfechas tomando una simple muestra puntual, en cambio otras pueden requerir de un equipo de muestreo sofisticado.

4.9 Prevención de la contaminación

4.9.1 Prevenir la contaminación de las muestras es esencial para realizar controles apropiados.

4.9.2 *Fuentes de contaminación.* Las potenciales fuentes de contaminación incluyen las siguientes:

4.9.2.1 Residuos de otras muestras en los contenedores, frascos, espátulas y otros equipos de muestreo.

4.9.2.2 Contaminación del sitio de muestreo durante el mismo.

4.9.2.3 Aguas residuales sobre y dentro de cuerdas, cadenas y manijas extensibles.

(Continúa)

4.9.2.4 Contaminación de matraces con muestras conservadas por periodos largos de tiempo.

4.9.2.5 Contaminación de tapas o coberturas con polvo o agua.

4.9.2.6 Contaminación de manos, dedos y guantes.

4.9.2.7 Uso de instrumentos, botellas y medios filtrantes inadecuados.

4.9.2.8 Uso de reactivos degradados.

4.9.3 *Control de la contaminación.* El control y la identificación de la contaminación pueden ser alcanzados tomando las siguientes acciones:

4.9.3.1 Adoptar una ideología de maximizar el grado de aislamiento de la botella de cualquier fuente de contaminación.

4.9.3.2 Tomar medidas para evitar perturbaciones durante el muestreo.

4.9.3.3 Enjuagar el equipo antes de conservar una muestra.

4.9.3.4 Guardar las tapas y coberturas protegidas de contaminación.

4.9.3.5 Escurrir y secar las cuerdas, cadenas y manijas extensibles entre muestras y antes de guardarlas.

4.9.3.6 Evitar tocar la muestra directamente con los dedos, manos o guantes. Es importante en la toma de muestras para análisis microbiológicos que no haya contacto con el interior de la botella o tapas.

5. INSPECCIÓN

5.1 Muestreo

5.1.1 *Características del equipo de muestreo*

5.1.1.1 Se debe consultar la NTE INEN 2169 Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras para el muestreo en situaciones específicas; los lineamientos dados aquí ayudan en la selección de materiales de aplicación general. Los constituyentes químicos (determinantes) en el agua, que son analizados para evaluar la calidad del agua, en un rango de concentración desde nanogramos o trazas hasta grandes cantidades. Los problemas que con mayor frecuencia se presentan son la adsorción en las paredes del equipo para toma de muestra o en los recipientes, la contaminación anterior al muestreo causada por un inadecuado lavado del equipo para toma de muestra o de los recipientes y la contaminación de la muestra por el material del que está hecho el equipo para toma de muestra o el recipiente.

a) El recipiente tiene que proteger la composición de la muestra de pérdidas debidas a adsorción y volatilización, o de la contaminación por sustancias extrañas. El recipiente usado para recoger y guardar la muestra se debe elegir luego de considerar, por ejemplo: su resistencia a temperaturas extremas, resistencia a la rotura, facilidad para cerrar y reabrir, tamaño, forma, peso, disponibilidad, costo, facilidad para el lavado y la reutilización.

b) Se deben tomar precauciones cuando las muestras se conservan por congelación, especialmente si se usan recipientes de vidrio. Se recomienda el uso de recipientes de polietileno de alta densidad para la determinación en el agua de: silicio, sodio, alcalinidad total, cloruro, conductancia específica, pH y dureza. Para los elementos sensibles a la luz, se debe usar vidrio absorbente de luz. El acero inoxidable se debe usar para muestras con temperaturas y/o presión altas, o cuando se muestree para concentraciones de trazas de material orgánico.

c) Los recipientes de vidrio son recomendados para la determinación de compuestos químicos orgánicos y de especies biológicas, y los recipientes plásticos para la determinación de radionucléidos. Es importante anotar que el equipo de muestreo disponible tiene muchas veces relleno de neopreno y válvulas lubricadas con aceite. Este material no es adecuado para recolectar muestras que sean usadas para el análisis orgánico y microbiológico.

(Continúa)

d) Aparte de estas características físicas deseables, descritas anteriormente, los recipientes usados para recolectar y guardar las muestras, se deben seleccionar tomando en cuenta los siguientes criterios predominantes (especialmente cuando los constituyentes a ser analizados están presentes como trazas):

d.1) Reducir la contaminación en la muestra de agua causada por el material del que está hecho el recipiente y la tapa, por ejemplo: la migración de los constituyentes inorgánicos del vidrio (especialmente del vidrio suave), de los compuestos orgánicos de los materiales plásticos y de los elastómeros (de las tapas de vinilo plastificado, y de las envolturas de neopreno).

d.2) Facilidad para limpiar y tratar las paredes de los recipientes, a fin de reducir la superficie de contaminación por trazas de metales pesados o radionucléidos.

d.3) El material del cual están hechos los recipientes debe ser inerte química y biológicamente, para prevenir o reducir la reacción entre los constituyentes de la muestra y el recipiente.

d.4) Los recipientes pueden ser causa de errores debido a la adsorción de los constituyentes. Las trazas de metales son particularmente propensas a este efecto; pero otros constituyentes (detergentes, pesticidas, fosfatos) también pueden estar sujetos a error (Ver nota 2).

5.1.1.2 *Líneas de muestreo*

a) Las líneas de muestreo son generalmente usadas en muestreos automáticos para proporcionar muestras a los analizadores continuos o monitores. Durante el tiempo de permanencia, la muestra puede considerarse como almacenada en un recipiente acoplado a la línea de muestreo. Por eso, las guías para la selección del material de los recipientes se aplican también a las líneas de muestreo.

5.1.2 *Tipos de recipiente para muestras*

5.1.2.1 *Recipientes normales*

a) Son adecuadas las botellas de polietileno y las de vidrio de borosilicato para la toma de muestras en las que se realizará el análisis de los parámetros físicos y químicos de las aguas naturales. Otros materiales químicamente más inertes, por ejemplo: politetrafluoroetileno (PTFE), son preferidos pero su uso no esta muy extendido en los análisis de rutina. La tapa de tornillo, en las botellas de boca angosta y ancha se debe acoplar con tapas y tapones de plástico inerte o tapones de vidrio esmerilado (propenso a trabarse con las soluciones alcalinas). Si las muestras son transportadas en caja al laboratorio para los análisis, la tapa de la caja debe ser construida para prevenir el aflojamiento de los tapones, lo que puede producir derramamientos y/o contaminación de la muestra.

5.1.2.2 *Recipientes especiales*

a) A las consideraciones ya mencionadas se suma el almacenamiento de muestras que contienen materiales foto sensitivos, incluidas las algas, que requieren ser protegidas de la exposición a la luz. En estos casos, se recomiendan los recipientes de materiales opacos o de vidrio no actínico, y deben ser colocados en cajas a prueba de luz durante el almacenamiento por largos períodos. La recolección y el análisis de las muestras que contengan gases disueltos o constituyentes que puedan alterarse por aireación plantea un problema específico. Las botellas de boca angosta para análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) deben tener tapones de vidrio esmerilado para minimizar la inclusión de aire, y se requiere de un sellante especial durante el transporte.

NOTA 2 Se recomienda que las sugerencias sobre el material de los recipientes sean conocidas por el analista antes de seleccionar los recipientes y el equipo de muestreo.

(Continúa)

5.1.2.3 *Recipientes para el análisis de contaminantes orgánicos, en trazas*

a) Las botellas para muestras en las que se analizarán contaminantes orgánicos en trazas, deben ser de vidrio, debido a que los recipientes plásticos interfieren con la alta sensitividad del análisis. La tapa debe ser de vidrio o de politetrafluoroetileno (PTFE).

5.1.2.4 *Recipientes para el análisis microbiológico*

a) Los recipientes para las muestras en las que se realizará el análisis microbiológico deben resistir las altas temperaturas de esterilización. Durante la esterilización o en el almacenamiento de muestras los materiales no deben producir o liberar químicos que puedan inhibir la viabilidad microbiológica, liberar químicos tóxicos o químicos que aceleren el crecimiento. Las muestras deben permanecer selladas hasta que sean abiertas en el laboratorio y deben estar tapadas para prevenir la contaminación.

b) Los recipientes deben ser de vidrio o de plástico de la mejor calidad y estar libres de sustancias tóxicas. Para análisis de rutina es suficiente que tengan una capacidad de 300 cm^3. Los recipientes se deben tapar con tapas de vidrio esmerilado o tapas de tornillo, y si es necesario con bandas elásticas de silicona, que resistan esterilizaciones repetidas a 160°C.

5.1.3 *Equipo de muestreo para el análisis de características físicas o químicas*

5.1.3.1 El volumen de muestra recogida debe ser suficiente para los análisis requeridos, y para cualquier repetición del análisis. El uso de volúmenes muy pequeños de muestra puede ser causa de que no sean representativos, y del incremento de los problemas de adsorción debido a la relación de volúmenes relativamente pequeños al área. El muestreo para la determinación de gases disueltos, se debe realizar según 5.1.7.

a) Las personas que realizan el muestreo deben:

a.1) Reducir el tiempo de contacto entre la muestra y la persona.

a.2) Usar materiales que no permitan la contaminación en la muestra;

a.3) Ser de diseño simple para facilitar la limpieza, ser de superficies lisas y que eviten la modificación del flujo como los recodos y con tan pocas tapas y válvulas como sea posible (todas las personas que realizan el muestreo deben ser chequeados para asegurar que no introduzcan errores);

a.4) Ser diseñados luego de considerar que el sistema es apropiado con relación al análisis de la muestra de agua (por ejemplo: físico, químico, biológico o microbiológico).

5.1.3.2 Equipo para el muestreo puntual, las muestras puntuales son usualmente tomadas manualmente de acuerdo a las condiciones descritas en 4.2.

a) *Equipo para el muestreo puntual en superficie*, el equipo elemental para tomar muestras en superficie es una cubeta o botella de boca ancha que se sumerge dentro del cuerpo de agua y se retira luego de haberse llenado.

b) *Equipo para muestreo puntual a profundidad escogida*, en la práctica se usa una botella con lastre tapada que se sumerge dentro del cuerpo de agua. A una profundidad preestablecida la tapa se retira, la botella se llena y se recupera. Los efectos que el aire u otros gases pudieran tener, deben considerarse ya que estos pueden cambiar el parámetro a ser analizado (por ejemplo: oxígeno disuelto). Se recomienda botellas especiales para evitar este problema (por ejemplo: botellas a las que se les ha evacuado el aire). Para cuerpos de agua estratificados, se sumerge una probeta graduada de vidrio, plástico o acero inoxidable, abierta en ambos extremos, para obtener un perfil vertical del cuerpo de agua. En el punto de muestreo, la probeta se cierra por ambos extremos mediante un mecanismo antes de sacarla a la superficie (botella operada por mensajero).

c) *Tenazas o dragas para muestrear sedimentos*, los sedimentos se muestrean por medio de tenazas o dragas diseñadas para penetrar el substrato como resultado de su propio peso o por la acción de palancas. Hay varios diseños que incluyen: un resorte activado, un peso, o una cerradura en forma de mordaza. También varían en la forma de atrapar el substrato, en la exactitud del ángulo, en el área y en el tamaño de la muestra tomada. Para seleccionar la draga es necesario considerar: la región, el movimiento del agua, el área de muestreo, y el equipamiento del bote. Por lo tanto, la muestra obtenida es afectada por factores como:

a.1) La profundidad de penetración en el substrato;

a.2) El ángulo de la mordaza de la cerradura;

a.3) La eficiencia de la cerradura (posibilidad de evitar la obstrucción por objetos);

a.4) La creación de una onda de "choque" y la pérdida resultante o el lavado de los constituyentes u organismos de la interfase agua-lodo;

a.5) La estabilidad de las muestras en corrientes de movimiento rápido.

d) *Cucharones de mordazas (excavadoras),* los cucharones de mordaza (excavadoras) se asemejan al equipo usado en excavaciones de tierra. Usualmente se operan desde una grúa, y se introducen en el lugar de muestreo elegido para obtener una muestra de componentes sólidos. La muestra resultante está definida con más precisión respecto al lugar de muestreo que cuando se ha utilizado la draga.

e) *Equipo para toma de muestra de núcleo*, son usados cuando la información proveniente del perfil vertical de un sedimento es de interés. A menos que la muestra obtenida tenga fuerza mecánica, proceder cuidadosamente en la remoción del mecanismo saca núcleos para conservar su integridad longitudinal.

5.1.3.3 *Equipo de muestreo automático*

a) Los criterios para la selección del equipo adecuado están indicados en el Anexo A. El equipo necesario es para proteger, llenar, calentar, enfriar, etc.

b) Dos tipos de equipos para toma de muestra automáticos están disponibles: tiempo dependientes y volumen dependientes; los equipos para toma de muestra tiempo dependientes recolectan muestras individuales, compuestas o continuas pero ignoran las variaciones del flujo; en cambio los equipos de volumen dependientes también recogen ese tipo de muestra pero tomando en cuenta las variaciones del flujo. La selección del tipo de equipo para toma de muestra depende del propósito del estudio.

c) Los instrumentos usados para investigación, por ejemplo, para monitorear o controlar flujos de ríos, pueden usarse para guiar el muestreo automático.

d) Bajo ciertas circunstancias, particularmente cuando la sustancia esta presente en trazas en la muestra, se puede necesitar una muestra de grandes volúmenes de agua. En este caso es más conveniente usar, en el sitio de muestreo, un sistema que concentre a los constituyentes. Sistemas con esa autonomía tienen ciertos tipos de centrífugas que permiten una recolección continua de microorganismos en resinas macro-reticulares, y aparatos con espacio libre para la recolección de organismos microcontaminantes.

e) En condiciones de congelamiento, es importante asegurar la eficiencia del trabajo del mecanismo de toma de muestra y del equipo asociado.

5.1.4 *Equipo de muestreo para análisis biológico*, como en el caso del muestreo para los análisis físicos y químicos, algunas determinaciones deben ser ejecutadas "in situ", sin embargo, la mayoría de muestras son trasladadas al laboratorio para su análisis. Varios instrumentos han sido desarrollados para permitir la recolección y observación manual (por medio de un sumergidor) o automática y la observación a distancia, de ciertas especies biológicas o grupos de organismos. Para muestras destinadas al análisis biológico, es indispensable utilizar una botella de boca ancha, el diámetro ideal de la boca debe ser similar al del recipiente mismo. Este recipiente puede ser de plástico o de vidrio.

(Continúa)

5.1.4.1 *Plancton*

a) *Fitoplancton,* las técnicas y los equipos usados son similares a los descritos para tomar muestras puntuales para el análisis de sustancias químicas en el agua. Para la mayoría de las investigaciones limnológicas, se recomienda una botella de 0,5 litros a 2 litros de capacidad, sin embargo, se deben considerar los requerimientos analíticos. Se requiere de un mecanismo para abrir la botella a la profundidad de muestreo deseada y para poder cerrarla inmediatamente. No se recomienda, para los análisis cuantitativos, recolectar la muestra usando redes.

b) *Zooplancton*, para este grupo de análisis se recomiendan muestras grandes, de hasta 10 litros. Para la botella operada con mensajero se recomienda una red de nylon medidora de plancton. Se usan diferentes tamaños de redes dependiendo de las especies a ser estudiadas.

5.1.4.2 *Fauna y flora de profundidad*

a) *Perifiton,* en el muestreo para el análisis cuantitativo, se recomienda, una lámina de vidrio para microscopio (porta objetos de: 25 mm x 75 mm). Las láminas deben permanecer expuestas en el agua mínimo dos semanas. Si se requiere resultados inmediatos (por ejemplo del hábitat natural) se debe recoger el perifiton del fondo. Se requiere de dos tipos de soporte de láminas para dos situaciones acuáticas diferentes:

a.1) en ríos pequeños y poco profundos o en áreas del borde de los lagos, donde la turbiedad no es problema, la lámina debe estar adherida a un rastrillo anclado al fondo.

a.2) en ríos largos o lagos, donde la turbiedad es un problema, las láminas deben estar suspendidas de un rastrillo de plástico transparente flotante sobre la superficie.

b) *Macrofitos*

b.1) en el muestreo para el análisis cualitativo, el equipo de muestreo varía de acuerdo a la situación específica, dependiendo de la profundidad del agua. En aguas poco profundas, un rastrillo de jardín será suficiente. Para aguas profundas se puede emplear una draga; se debe considerar el buceo de exploración, usando un equipo completo para respirar bajo el agua siempre que se cumpla las regulaciones de seguridad.

b.2) en el muestreo para el análisis cuantitativo, se puede aplicar técnicas similares, para determinar el crecimiento o masa por unidad de área; excepto cuando las áreas a ser muestreadas estén delimitadas y los macrofitos estén medidos o asignados de otro modo.

c) Macro invertebrados, en el estudio de la forma comparativa de los macrobentos, se debe anotar el efecto de las diferencias en el hábitat físico entre las varias estaciones de muestreo seleccionadas. Sin embargo, por la gran variedad de técnicas de muestreo y de equipo disponible, el tipo de hábitat a estudiarse es relativamente ilimitado. El tipo específico de equipo de muestreo a usarse dependerá de muchos parámetros: profundidad del agua, velocidad de la corriente, propiedades físicas y químicas del substrato, etc.

5.1.4.3 *Peces*

a) Los peces se puede recoger de forma activa o pasiva, dependiendo del hábitat y del propósito del muestreo. En arroyos y ríos de hasta 2 m de profundidad, la pesca eléctrica usando corriente d.c.; pulsadores d.c. o a.c. son generalmente las técnicas activas más usadas. Algunos ríos extensos se pueden muestrear usando juegos de aperos múltiples. En los grandes ríos de movimiento suave y en aguas quietas, se usan de preferencia las técnicas de pesca con red. La pesca activa se recomienda cuando el agua está libre de obstrucciones. La pesca pasiva (agallas y redes para obstaculizar o redes de pescador y otras trampas) se recomienda cuando hay maleza u obstrucción. Las trampas especiales construidas dentro de una represa se usan particularmente para peces migratorios.

b) Las técnicas de muestreo para peces están limitadas por la selectividad del mecanismo (tamaño de la malla, características del campo eléctrico), por el comportamiento de los peces y si el pez se requiere vivo o muerto. Tales factores deben, por lo tanto, tomarse en cuenta antes de decidir sobre las técnicas de muestreo.

5.1.5 *Equipo de muestreo para análisis microbiológico*

5.1.5.1 Para la mayoría de muestras, son adecuadas las botellas de vidrio o de plástico esterilizado (ver 5.1.2.4). Para recoger muestras bajo la superficie del agua, como en lagos y reservorios, están disponibles varios mecanismos para muestreo de profundidad y son convenientes los equipos de muestreo descritos en 5.1.3.2.b.

5.1.5.2 Todos los equipos que se usen, incluida la bomba y el equipo de bombeo, deben estar libres de contaminación y no deben introducir nuevos microorganismos.

5.1.6 *Equipo y técnicas de muestreo para análisis de radioactividad*

5.1.6.1 Dependiendo del objetivo y de las regulaciones legales nacionales, la mayoría de las técnicas de muestreo y el equipo disponible para el muestreo de aguas y aguas residuales para análisis químico se aplican generalmente para la medición de radioactividad.

5.1.6.2 Las muestras se deben recoger en botellas plásticas, previamente lavadas con detergente y enjuagadas con agua destilada y ácido nítrico diluido (1 + 1).

5.1.7 *Equipo de muestreo para gases disueltos (y material volátil)*

5.1.7.1 Las muestras adecuadas para la determinación exacta de gases disueltos, se deben obtener solamente con un equipo que recoja la muestra por desplazamiento de agua, antes que de aire, desde el equipo de muestreo.

5.1.7.2 Si se usan sistemas de bombeo para la recolección de muestras de gases disueltos, es indispensable que el agua sea bombeada en la misma dirección que la presión aplicada, para que no haya una caída significativa más abajo de la presión atmosférica. La muestra debe ser bombeada directamente dentro de la botella de almacenamiento o análisis, dejándola sifonar con una cantidad igual de por lo menos tres veces su volumen antes de tapar la botella o de iniciar el análisis.

5.1.7.3 Si se aceptan resultados aproximados, las muestras para la determinación de oxígeno disuelto se pueden recoger usando una botella o una cubeta. El error introducido a estas determinaciones debido al contacto entre la muestra y el aire varía con el grado de saturación del gas en el agua.

5.1.7.4 Cuando las muestras son recogidas en una botella desde un grifo o a la salida de la bomba, se recomienda el uso de un tubo flexible e inerte, el cual introduzca directamente el líquido al fondo de la botella, para asegurar que el líquido sea desplazado desde el fondo y que ocurra una mínima aireación.

6. ROTULADO

6.1 El origen de las muestras, las condiciones bajo las cuales han sido recogidas deben ser anotadas y esta información ser adherida a la botella inmediatamente luego de ser llenada. Un análisis de agua es de valor limitado si no está acompañado por la identificación detallada de la muestra.

6.2 Los resultados de cualquier análisis realizado en el sitio, también se deben incluir en un informe anexo a la muestra. Las etiquetas y los formatos deben llenarse al momento de la recolección de la muestra.

6.3 Debe incluirse al menos los siguientes datos en el informe de muestreo:

a) localización (y nombre) del sitio del muestreo, con coordenadas (lagos y ríos) y cualquier información relevante de la localización;

b) detalles del punto de muestreo;

c) fecha de la recolección;

d) método de recolección;

e) hora de la recolección;

f) nombre del recolector;
g) condiciones atmosféricas;
h) naturaleza del pretratamiento;
i) conservante o estabilizador adicionado;
j) datos recogidos en el campo.

(Continúa)

ANEXO C

Imagen C – 1: Equipo de Prueba de Jarras
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen C – 2: Turbidímetro Nefelométrico Hach 2100 – P.
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen C – 3: Colorímetro Hach DR – 890.
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen C – 4: Potenciómetro Hanna pH 20
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen C – 5: Balanza Analítica Sartorius
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen C – 6: Materiales
Fuente – Elaboración: Autor

Imagen C – 7: Materiales
Fuente – Elaboración: Autor

ANEXO D

ARIS INDUSTRIAL

CONDUCTA RESPONSABLE CON EL MEDIO AMBIENTE

Campo limpio

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCIÓN PANTERA

TIPO A y TIPO B **Versión: 001-2015**

1. DESCRIPCION

Nombre comercial: SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCIÓN TIPO A Y TIPO B
Dirección/ Teléfono de la empresa: Aris Industrial S.A.
Av. Industrial 491- Lima 1 – PERU
Teléfono: 336-5428 Anexo 5519
e-mail: vquímicos@aris.com.pe

2. COMPOSICION E INFORMACION SOBRE SUS INGREDIENTES

$Al_2(SO_4)_3$
Contiene 8% de Aluminio, expresado como Al_2O_3 (valor típico).
N° CAS: 17927-65-0

3. IDENTIFICACION DE RIESGOS.

Clasificación de los riesgos de la sustancia química: 8
Grupo de embalaje o envasado ONU: I
a. Riesgos para la salud humana:
Inhalación: La inhalación de vapores puede causar irritación al tracto respiratorio y pulmones.
Ojos: Puede irritar hasta Causar quemaduras.
Piel: Puede causar quemaduras.
Ingestión: Las cantidades ingeridas accidentalmente por el manipuleo no causan daño. Cantidades mayores pueden causar dolor abdominal, nausea, vómitos; puede causar quemaduras en la boca, sangrado en el estomago, descoordinación, espasmos musculares y daños renales.
b. Riesgos para el medio ambiente: Es un producto no peligroso.
c. Riesgos especiales de la sustancia: Corrosivo
d. Carcinogénico: No esta clasificado como carcinógeno.

4. PRIMEROS AUXILIOS.

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con:
Inhalación: No requiere.
Contacto con los Ojos: Sostenga el ojo abierto y enjuague suavemente con abundante agua durante 15-20 minutos. Sacarse los lentes de contacto, si están presentes, después de los primeros 5 minutos; y luego continuar enjuagando, si la irritación persiste, solicitar asistencia médica.
Contacto con la piel: Lavar inmediatamente con abundante agua corriente y jabón durante 15-20 minutos. Si la irritación persiste, solicite asistencia médica.
Ingestión: No Inducir al vómito y pedir asistencia médica.

En caso de EMERGENCIA:
CICOTOX 0800-1-30-40
Essalud 117 (Las 24 horas del día)
Aris Industrial S. A: 01-336-5428 Anexo 2549
Notas para quien preste los primeros auxilios: Utilizar ropa protectora.
Notas para el médico tratante: inducir el vómito

5. EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Medios de extinción adecuados: Espuma química, agua, dióxido de carbono o polvo seco ABC.
Riesgos especiales: Los bomberos deben colocarse el traje completo de protección.
Información adicional: Por si solo no genera riesgos de fuego y explosión. Sometido al fuego, puede generar gases irritantes y tóxicos, incluidos óxidos de azufre y óxidos de aluminio.
Procedimientos especiales para combatir el fuego: Asperjar con agua para enfriar envases, los recipientes cerrados al ser calentados pueden reventar por incremento de presión interna.
Equipo de protección personal para el combate del fuego: El personal debe ingresar utilizando ropa adecuada para combatir incendios de productos químicos corrosivos, y equipo de respiración autónoma, botas de seguridad.
Productos peligrosos que se liberan de la combustión: Óxido de azufre.

6. DERRAMES ACCIDENTALES

Medidas de emergencia a tomar si hay derrames del material: Aislar la zona, 25metros alrededor. Recoger el material derramado usando un material absorbente como tierra, arena o aserrín; neutralizar el suelo con bicarbonato de sodio o una solución de soda cáustica, cal. Recoger y depositar en un envase para su posterior eliminación.

Equipo de Protección Personal para atacar la emergencia: Usar equipo de protección personal adecuado que cubra el cuerpo, así como también guantes, anteojos.
Precauciones a seguir para evitar daños al ambiente: Evitar que el producto y la solución de lavado ingresen a cursos de agua, alcantarillas y/o desagües.

ARIS INDUSTRIAL S.A.
Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCIÓN PANTERA

TIPO A y TIPO B **Versión: 001-2015**

Métodos de Eliminación de Desechos: Barrer y recoger en recipientes claramente identificados, finalmente trasladar a un botadero autorizado para este tipo de sustancias, de acuerdo a lo dispuesto por la autoridad competente.

7. MANIPULACION Y ALMACENAJE

Precauciones a Tomar: Manipulación con implementos de seguridad, guantes de goma puño largo, lentes, ropa para productos químicos.
Recomendaciones específicas sobre manipulación segura: Manipular en un local de trabajo bien ventilado. Durante la manipulación no beber, comer ni fumar. Evitar el contacto con los ojos. El personal involucrado con su manipulación debe tener todos los elementos de protección recomendados.
Condiciones de Almacenamiento: Almacene en un lugar fresco y seco y bien ventilado; los envases deben ser resistente al ácido, estar cerrados; para preservar el producto del medio ambiente.

8. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Medidas para reducir la posibilidad de exposición: Utilizar los elementos de protección recomendados.
Parámetros de Control: No Aplicables.
Límites Permisibles ponderados (LPP) y Absoluto (LPA): No establecidos.
Protección respiratoria: Se recomienda el uso de un respirador adecuado para vapores inorgánicos, niebla y gases.
Guantes de protección: De Neopreno o PVC.
Protección de la vista: Gafas de seguridad o protector facial.
Otros equipos de Protección: Usar overol de algodón, delantal de PVC, botas de goma.
Ventilación: Use sólo en áreas bien ventiladas.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico: Líquido
Color: Incoloro (tipo A) y beige (tipo B)
Olor: Olor característico.
Valor pH: 2.3 Máximo.
Densidad, g/ml (20 °C): 1.29 – 1.30 mínimo (dependiendo del tipo).
Solubilidad en agua: 100% soluble
Aluminio, Al_2O_3, %: 7.8, 7.9 mínimo (dependiendo del tipo).
Basicidad, Al_2O_3, %: 0.20 Máximo.
Hierro, Fe_2O_3, %: 0.10, 0.35 Máximo (dependiendo del tipo)
Insolubles, %: 0.20 Máximo.
Temperatura de Ebullición: 101 -109°C. (Dependiendo de la concentración.)
Temperatura de Fusión: No aplicable.
Temperatura de Inflamación: No aplicable

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD QUÍMICA

Estabilidad: Estable en las condiciones normales de almacenamiento; lugar fresco y seco. En periodos largos de almacenaje se recomienda agitar antes del empleo.
Condiciones que deben evitarse: Se debe evitar almacenar con álcalis o agentes oxidantes fuertes.
Materiales incompatibles: Agentes fuertemente oxidantes. Reacciona con álcalis y ataca a muchos metales en presencia de agua.

11. INFORMACIÓN TOXICOLOGICA

Toxicidad oral Aguda: DL_{50} (ratón): 6207mg/Kg.
Toxicidad crónica: EPA determina que no son necesarios este tipo de estudios.
Efecto crónico / Agudo: El contacto frecuente y prolongado puede causar dermatitis.
Toxicidad para la reproducción: No disponible.
Efectos mutagénicos: No disponible.
Efectos carcinogénicos: No disponible.

12. INFORMACION RELACIONADA AL MEDIO AMBIENTE

Toxicidad a los peces: TLM (48 horas, pez mosquito) 240mg/L
Biodegradabilidad: No disponible
Consideraciones generales: En exceso puede ser dañino para la vida acuática. Su toxicidad esta asociada con el pH ácido. Cuando el suelo se contamina con este material se acidifica.

13. CONSIDERACIONES PARA SU DISPOSICION

Cumplir con todas las reglamentaciones estatales y locales. Desechar en forma segura de acuerdo a la normativa nacional.
Para obtener información sobre la eliminación de los no utilizados, producto no deseado, póngase en contacto con el fabricante o el organismo regulador provincial y también para la limpieza de vertidos.

ARIS INDUSTRIAL S.A.
Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCIÓN PANTERA

TIPO A y TIPO B **Versión: 001-2015**

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

Se requieren los códigos y clasificaciones de acuerdo con las regulaciones y normas nacionales, para el transporte de sustancias peligrosas.
Clase: 8
N° CAS: 17927-65-0
N° ONU: 1760
Grupo de embalaje: III
Clasificación NFPA:
Salud: 1
Inflamabilidad: 0
Reactividad: 0

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Normas internacionales aplicables: IATA, IMDG
Normas nacionales aplicables: DS 298/94 – 198/0
Marcas en etiquetas: Corrosivo.

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuente confiable, como las Normas Internacionales para productos químicos usados en el tratamiento de aguas ANSI/AWWA B403-93 ESTANDAR FOR ALUMINUM SULFATE-LIQUID, GROUND OR LUMP; para el tratamiento de aguas sin embargo, se entregan sin garantía expresa o implícita respecto a su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son de profesionales capacitados. La información que se entrega en él, es la conocida actualmente sobre la materia. Considerando que el uso de esta información y de sus productos está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Es obligación del usuario trabajar en condiciones de uso seguro del producto, en base a la presente información.

ARIS INDUSTRIAL S.A.
Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe

HOJA TECNICA

SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCIÓN TIPO A PANTERA ®

Versión: 002-2015

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El Sulfato de Aluminio en solución Tipo A es manufacturado a partir de una materia prima y rica en aluminio (libre de Hierro) y ácido sulfúrico, mediante un proceso que garantice su calidad. Número CAS 7784-31-8

2. CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

NOMBRE COMERCIAL	SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCIÓN TIPO A, AL 8% EN ALUMINA
PESO MOLECULAR	342,14 g/mol
FORMULA QUIMICA	$Al_2(SO_4)_3$
APARIENCIA	LIQUIDO LIGERAMENTE VISCOSO, INCOLORO, SOLUBLE EN AGUA

3. REQUERIMIENTOS

PARAMETROS	ESPECIFICACION	CONFORMIDAD
Aluminio, Al_2O_3, %	7.8 – 8.2	*Cumple con las normas internacionales para productos químicos usados en el tratamiento del agua ANSI/ AWWA B 403-93. NTP 311.095 – 1999,asi como nuestras especificaciones.*
Basicidad, Al_2O_3, %	0.20 máx.	
Acidez, H_2SO_4 , %	0.20 máx.	
Hierro, Fe_2O_3, %	0.10 máx.	
Densidad, g/ml	1.29 -1.34	
Insolubles, %	0.20 máx.	

4. APLICACIONES

Se emplea como coagulante y floculante en la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas para consumo humano, para la separación de las partículas solidas tipo coloide. Debido a ello se fabrica cumpliendo con las normas nacionales como la NTP 311.095-1999 y las internacionales como la ANSI/AWWA B403-93.

La presentación en solución líquida ayuda a la fácil aplicación de la misma y por no poseer materia insoluble reduce considerablemente los tiempos de mantenimiento y parada por limpieza de los tanques dosificadores, volviéndose una solución económica para el tratamiento de agua.

También se emplea en la fabricación de papel juntamente con unas resinas llamadas encolantes, proporcionándole al papel resistencia a la penetración del agua y proporciona las condiciones para fijar los colores.

5. PRESENTACION Y DESPACHO

El sulfato tipo A líquido se envasa en container tipo IBC de 1000L, tambores de 55 galones y en cisternas de acero inoxidable.

6. CONDICIONES DE ALMACENAJE

Almacenar en tanques de acero inoxidable tipo 316 o polietileno con tapas de cierre hermético; para evitar cristalización por evaporación del agua y garanticen que el producto mantenga sus características físico químicas.

ARIS INDUSTRIAL S.A.
Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.@aris.com.pe