

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA UTILIZACIÓN DE
POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA
EN LA PLANTA “LA COLINA” DE LA EMPRESA PIEDECUESTANA DE
SERVICIOS PÚBLICOS E.S.P.**

YULY ANDREA GALEANO ESPÍNDOLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA UTILIZACIÓN DE
POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA
EN LA PLANTA “LA COLINA” DE LA EMPRESA PIEDECUESTANA DE
SERVICIOS PÚBLICOS E.S.P.**

AUTOR:

YULY ANDREA GALEANO ESPINDOLA

**Trabajo de grado para optar por el
Título de ingeniera química**

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO:

CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA

Ingeniero Químico, MSc.

CODIRECTOR

ELSA VICTORIA CARVAJAL JAIMES

Ingeniera Sanitaria y Ambiental

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

*A DIOS QUE ME DIO LA VIDA, ME AMA, ME GUIA Y COLOCA CADA
COSA EN SU LUGAR PARADAR LO MEJOR DE MI Y ASI PODER
CONSEGUIR MIS METAS.*

*A MIS PADRES MANUEL Y ALICIA QUE SIEMPRE HAN CONFIADO EN
MÍ Y ME HAN BRINDADO SU APOYO Y AMOR INCONDICIONAL.*

*A MIS HERMANAS DIANA Y ANGELICA QUE SIEMPRE ESTAN A MI
LADO Y ME BRINDAN SU APOYO, SIN USTEDES MI VIDA NO SERIA
IGUAL.*

A CARLOS ANDRES POR EL APOYO Y LA CONFIANZA.

*A MIS PRIMAS DE LAS CUALES HE RECIBIDO APOYO, CARIÑO Y
SUAMISTAD.*

*A MI FAMILIA POR ACOMPAÑARME Y BRINDARME SIEMPRE SU
CARIÑO Y COMPRENSIÓN.*

*A MIS AMIGOS POR ESTAR A MI LADO, APOYARME EN TODO
MOMENTO Y A TODAS LAS PERSONAS QUE FUERON EL MOTOR PARA
LOGRAR TAL TRIUNFO.*

AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR LAS OPORTUNIDADES.

A LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

A LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y EL CUERPO DOCENTE.

*AL PROFESOR CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA POR SU TIEMPO Y
TUTORIA EN ESTE PROYECTO.*

*AL ACUEDUCTO DE PIEDECUESTA POR ABRIRME SUS PUERTAS Y
PERMITIR EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.*

*A LA INGENIERA ELSA VICTORIA CARVAJAL JEFE DE PLANTA DEL
ACUEDUCTO DE PIEDECUESTA POR SU COLABORACIÓN.*

*AL INGENIERO CARLOS ANDRES CAMACHO URIBE POR LA TUTORIA Y
DEDICACION EN ESTE PROYECTO.*

*A TODO EL PERSONAL QUE LABORA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA DE PIEDECUESTA.*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	13
1. MARCO TEORICO.....	15
1.1. OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS EMPLEADOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA 15	
1.2 DESCRIPCION DEL PROCESO	16
1.2.1. CAPTACIÓN	16
1.2.2. DESARENADOR.....	16
1.2.3. COAGULACIÓN	17
1.2.4. FLOCULACIÓN	17
1.2.5. SEDIMENTACIÓN.....	18
1.2.6. FILTRACIÓN	18
1.2.7. DESINFECCIÓN	18
1.2.8. ALMACENAMIENTO	18
1.2.9. DISTRIBUCIÓN	19
1.3 COAGULACIÓN QUÍMICA	19
1.3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN	20
1.3.2. CLASIFICACION DE LOS COAGULANTES	20
1.3.3. QUÍMICA DEL COAGULANTE POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO.....	20
1.3.4. QUÍMICA DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO.....	21
1.3.5. CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN	22
PRUEBA DE JARRAS	22
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	23
2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA BASE DE DATOS (2010-2011).....	23
2.2. PRÁCTICA EN EL ENSAYO DE JARRAS Y PRUEBAS DE LABORATORIO.....	23
2.3 TOMA DE MUESTRAS.....	23

2.4. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE LOS COAGULANTES.....	24
2.4.1. SULFATO LÍQUIDO.....	25
2.4.2. PAC.....	25
2.5. COMPARACIÓN CUALITATIVA DEL SULFATO DE ALUMINIO Y PAC.....	25
2.6. COMPARACION CUANTITATIVA DEL SULFATO DE ALUMINIO Y PAC.....	25
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	27
3.1. EVALUACION ECONOMICA	31
4. CONCLUSIONES.....	32
5. RECOMENDACIONES.....	34
6. BIBLIOGRAFÍA.....	35
7. ANEXOS	37

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PLANTA LA COLINA.....	15
FIGURA 2. DIAGRAMA TOMA DE MUESTRAS	23
FIGURA 3. DOSIS ÓPTIMA ETAPA I INTERVALO BAJO MEDIO.....	27
FIGURA 4. DOSIS ÓPTIMA ETAPA I INTERVALO MEDIO ALTO.....	27
FIGURA 5. DOSIS ÓPTIMA TURBIEDAD 38 NTU.....	28
FIGURA 6. DOSIS ÓPTIMA TURBIEDAD 97 NTU.....	29
FIGURA 7. PH AGUA TRATADA.....	29
FIGURA 8. ALCALINIDAD AGUA TRATADA	30
FIGURA 9. CLORO RESIDUAL.....	30
FIGURA 10 .EVALUACIÓN DE COSTOS	31
FIGURA 11.FICHA DE SEGURIDAD SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.	57
FIGURA 12. MEDIDOR DE CAUDAL.....	58
FIGURA 13. CANALETA PARSHALL.....	58
FIGURA 14. RESALTO HIDRÁULICO.....	59
FIGURA 15. FLOCULADORES	59
FIGURA 16. SEDIMENTADORES.....	60
FIGURA 17.FILTROS	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. PROPIEDADES PAC.....	21
Tabla 2.COMPARACIÓN ECONÓMICA.....	31
Tabla 3.DATOS ETAPA I.....	37
Tabla 4. DATOS ETAPA II.....	38
Tabla 5. DATOS ETAPA III.....	39
Tabla 6.DATOS ETAPA.....	39
Tabla 7.MARCO LEGAL.....	45

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: TABLAS	37
ANEXO B : GLOSARIO	40
ANEXO C :DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS	43
ANEXO D : MARCO LEGAL	45
ANEXO E: FICHAS DE SEGURIDAD.....	46
ANEXO F : GALERIA FOTOGRAFICA.....	58

RESUMEN

Título: Estudio de factibilidad técnica para la utilización de Polihidroxiclورو de Aluminio como coagulante en la potabilización del agua en la Planta “La Colina” propiedad de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos*.

AUTOR: Yuly Andrea Galeano Espíndola**

PALABRAS CLAVES: Polihidroxiclورو de aluminio, coagulante, agua cruda, turbiedad, color, alcalinidad.

DESCRIPCIÓN

La Piedecuestana de servicios públicos E.S.P es la encargada del acueducto, éste cuenta con la planta de tratamiento “La Colina” donde se realiza el tratamiento y suministro de agua cumpliendo las normas enmarcadas en la legislación colombiana, garantizando la calidad y el correcto uso del recurso hídrico.

La planta de tratamiento de agua “La Colina” ofrece a la comunidad de Piedecuesta el suministro de agua potable; Para la potabilización del agua es necesario realizar diferentes procesos físico-químicos, entre ellos se encuentra la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección y por esto se realizan pruebas con el fin de identificar propiedades tales como: color, turbiedad, pH, conductividad, alcalinidad total, dureza total, cloruros, cloro residual, hierro total, sulfatos, nitritos, aluminio.

Se recopiló información para la prueba de jarras en las diferentes temporadas climáticas durante 6 meses; con el análisis de los resultados de la prueba, se evalúa el uso del polihidroxiclورو de aluminio en reemplazo del sulfato de aluminio líquido, con el fin de prestar un servicio de mayor calidad y eficiencia en turbiedades altas y evaluar el comportamiento físico-químico del polihidroxiclورو de aluminio.

Se realiza la comparación entre la cantidad de Polihidroxiclورو de Aluminio y Sulfato de Aluminio Líquido tipo B y finalmente se obtienen resultados costo-beneficio de los coagulantes.

*Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas; escuela de ingeniería química

Director del proyecto de grado: CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA; Ingeniero Químico, MSc.

ABSTRACT

Title: Technical Feasibility Study for the use of aluminum polyhydroxychloride as a coagulant in water purification plant in "La Colina".

AUTHOR: Yuly Andrea Galeano Espíndola**

KEY WORDS: polyhydroxychloride aluminum coagulant, raw water turbidity, color, and alkalinity.

DESCRIPTION

The utility Piedecuesta ESP is responsible for the acueduct, it has the treatment plant "the Hill" where is the treatment and water supply complying with the rules framed under Colombian law, ensuring the quality and proper use of the resource water.

The water treatment plant "the Hill" offers Piedecuesta community drinking water supply, for water purification is necessary to perform various physical and chemical processes, among them is the coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection and this is tested to identify properties such as color, turbidity, pH, conductivity, total alkalinity, total hardness, chlorides, chlorine residual, total iron, sulphates, nitrites, aluminum.

Information was collected for testing jars in different climatic seasons for 6 months with the analysis of test results, we evaluate the use of aluminum polihidroxiclورو replacement of liquid aluminum sulfate, to provide a service higher quality and efficiency in high turbidity and evaluate the physical-chemical behavior of aluminum polihidroxiclورو.

Comparison is made between the amount of Polihidroxiclورو Aluminum Aluminum Sulfate Liquid B and finally the results are cost-effectiveness of coagulants.

*Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas; escuela de ingeniería química

Director del proyecto de grado: CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA; Ingeniero Químico, MSc.

INTRODUCCION

La Piedecuestana de servicios públicos E.S.P es la encargada del acueducto, éste cuenta con la planta de tratamiento “La Colina” donde se realiza el tratamiento y suministro de agua cumpliendo las normas enmarcadas en la legislación colombiana, garantizando la calidad y el correcto uso del recurso hídrico.

Para la potabilización del agua es necesario realizardiferentes procesos físico-químicos, entre ellos se encuentra la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Actualmente en la planta de tratamiento de Piedecuesta para el proceso de coagulación química se emplea el sulfato de aluminio tipo B como coagulante. Sin embargo en los últimos años este servicio se ha visto afectado por la alteración de los parámetros habituales del agua cruda que llega a la planta haciendo que el proceso de potabilización sea más complejo e incluso en algunos casos no se pueda llevar a cabo satisfactoriamente afectando los estándares para el servicio continuo y de alta calidad que ofrece La Piedecuestana de Servicios.

Con este proyecto se busca una alternativa de coagulante más eficiente en el proceso de potabilización del agua, porque cuando los parámetros que intervienen directamente sobre dicho proceso superan los límites habituales, el coagulante actualmente utilizado no proporciona los resultados esperados haciendo este proceso poco eficiente llevando así a cortes inesperados del suministro de agua afectando la calidad del servicio ofrecido. Para seleccionar un nuevo coagulante que se adapte a las necesidades actuales de la planta de tratamiento se realizará un estudio comparativo entre el Sulfato de Aluminio Líquido, coagulante actual, y el Polihidroxicloruro de Aluminio, con el fin de contar con las herramientas suficientes para definir cuál de los coagulantes presenta mejores resultados para el tratamiento del agua de la planta de Piedecuesta La Colina.

1. MARCO TEORICO

1.1. OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS EMPLEADOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

La potabilización del agua incluye procesos físicos, químicos y análisis bacteriológicos del agua cruda, para lograr un proceso de alta calidad. El análisis físico del agua consta de ciertas pruebas como: turbidez, color, olor y sabor, temperatura y de igual forma el análisis químico del agua consta de pruebas como: alcalinidad, pH, dureza, nitritos, sulfatos, cloruros, grasas y aceites y por último el análisis bacteriológico del agua consta de pruebas como: mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales. Anualmente se realizan las pruebas de órgano clorados y órgano fosforados. Las operaciones realizadas en el proceso de potabilización del agua en la planta de tratamiento La Colina son:

Figura Diagrama de flujo del proceso de La planta La Colina.



Fuente: Acueducto de Piedecuesta.

1.2 DESCRIPCION DEL PROCESO

1.2.1. CAPTACIÓN

La calidad y el tratamiento que se realiza al agua cruda dependen de la fuente de la cual es extraída; la captación de agua se puede clasificar en:

1. captación de aguas superficiales: se puede utilizar distintos métodos, embalses, ríos.
2. Captación de aguas subterráneas: se realiza por bombeo.

La captación de agua de río presenta inconvenientes como la calidad, variaciones de la temperatura, turbiedades altas y variaciones del caudal durante el verano. El agua para consumo de la Comunidad de Piedecuesta es tomada por medio de una captación lateral del Río de Oro (fuente superficial).

1.2.2. DESARENADOR

La función del desarenador es separar la arena y las partículas gruesas en suspensión del agua cruda. El desarenador generalmente remueve partículas superiores a 0,20mm. En la bocatoma de la planta La Colina existen tres desarenadores con capacidad para captar 514 L/S y están ubicadas a (1) km de la Planta de Tratamiento.

1.2.2.1. SISTEMA DE ADUCCIÓN:

Es el proceso por el cual el agua es conducida desde su captación hasta la planta de tratamiento. Se pueden distinguir dos tipos de conducciones, dependiendo de las alturas del punto de toma y la entrada en planta:

- Conducciones por gravedad: El agua circula por la pendiente de la conducción, desde el punto de toma, que tendrá más altura, hasta el punto de entrada.
- Conducción forzada: Se utilizan cuando el punto de toma está situado a una altura más baja que la entrada en planta utilizando una bomba.

En la planta de tratamiento La Colina el agua llega por gravedad por dos tuberías de 14 y 18 pulgadas de diámetro.

Una vez el agua ha sido conducida a la planta, comienza el tratamiento para su potabilización.

1.2.2.2. MEDICIÓN DEL CAUDAL:

Se debe tener certeza del caudal de agua cruda que se va a tratar, es de suma importancia para calcular la cantidad de químicos que se deben agregar al agua para un correcto proceso de potabilización. La medición del caudal se realiza en canaleta Parshall (ver anexo F), vertedero o canal cuando el flujo es libre. También se puede realizar una lectura visual utilizando una regleta o un registro electrónico a través de un sensor eléctrico o ultrasonido.

En la planta de tratamiento La Colina se cuenta con la canaleta Parshall; se hace la medición de caudal de agua cruda por medio de un caudalímetro de ultrasonido.

1.2.3. COAGULACIÓN

Se inicia con la dosificación del coagulante, consiste en agregar una cantidad exacta de coagulante al caudal que entra a la planta.

La dosificación la realizan los operarios, ajustando la bomba, luego el coagulante es transportado por una tubería hasta la canaleta Parshall, donde se realiza la mezcla rápida debido a la turbulencia generada por el resalto hidráulico.

1.2.4. FLOCULACIÓN

La floculación es un proceso físico, de agitación suave y continua del agua que contiene coagulantes con el propósito de que se formen floc, la floculación se realiza después de la coagulación. Por medio de la coagulación y floculación, las partículas coloidales que no descienden por sedimentación simple, se aglomeran para formar sólidos más grandes llamados *flóculos*^[4]; una vez estos aumentan de tamaño se sedimentan con facilidad. Se debe realizar una mezcla suave, con el fin de que las partículas entren en contacto entre sí.

La planta actualmente cuenta con seis floculadores, dispuestos así: tres floculadores hidráulicos, dos verticales y uno horizontal. En los cuales se realiza la agitación lenta para promover la unión de las pequeñas partículas en partículas más grandes denominadas floc.

1.2.5. SEDIMENTACIÓN

Es la remoción del floc formado en la etapa anterior, que se deposita en el fondo del sedimentador por la fuerza de gravedad gracias a su propio peso. Debido a la sedimentación se logra la clarificación del agua. La planta posee cinco sedimentadores de flujo acelerado; en los cuales el agua es separada del floc y éste es decantado al fondo de los tanques.

1.2.6. FILTRACIÓN

Con la filtración se retienen partículas suspendidas y coloidales, que no se pudieron sedimentar, este proceso se lleva a cabo haciendo pasar el agua a través de un medio poroso. En la planta existen nueve filtros de flujo con lecho dual de arena y antracita.

1.2.7. DESINFECCIÓN

Como una barrera de seguridad para proteger el agua ante una posible contaminación en el tanque de almacenamiento y en la distribución se utiliza cloro. En la planta se utiliza cloro gaseoso en contenedores de una tonelada. Se cuenta con tres cloradores.

1.2.8. ALMACENAMIENTO

Es esencial en el proceso, los tanques de almacenamiento fueron diseñados esencialmente para proveer una cantidad adecuada de agua a la comunidad; se debe tener en cuenta que se deben operar manteniendo una reserva. En las

instalaciones de la planta existen tres tanques de almacenamiento los cuales suman una capacidad aproximada de 5000 m³, dispuestos así: tanque número 1 con capacidad de 700 m³, tanque número 2 con capacidad de 800 m³ y tanque número 3 con capacidad de 3500 m³.

1.2.9. DISTRIBUCIÓN

Consta de tanques, tubería, accesorios y también puede requerir estaciones de bombeo para transportar el agua tratada.

1.3 COAGULACIÓN QUÍMICA

Es el proceso de desestabilización de las partículas suspendidas, es decir, la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, por lo cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. La coagulación se utiliza para:

a) Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentarse rápidamente. b) Remoción del color verdadero o aparente. c) Destrucción de algas y plancton presentes en el agua. d) Eliminación de sustancias productoras de sabor, color, precipitación de sólidos suspendidos o compuestos orgánicos.

La coagulación comienza en el instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura segundos; consiste básicamente en una serie de reacciones, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma ^[1]. En la coagulación se puede presentar tres mecanismos:

1. Adsorción-neutralización, basada en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión.
2. Puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides.
3. Sobresaturación de la concentración de coagulantes en el agua.

1.3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

Los factores de mayor influencia en el desarrollo del proceso de coagulación son la naturaleza del agua cruda (concentración de coloides, la alcalinidad y el pH) y las variables químicas (dosis óptima, el pH óptimo y la alcalinidad del coagulante)^[2].

1.3.2. CLASIFICACION DE LOS COAGULANTES

Los coagulantes se pueden clasificar en dos grandes grupos:

a) Los polielectrolitos

Son compuestos orgánicos sintéticos que ayudan a sedimentar los sólidos suspendidos en el agua, los polielectrolitos se clasifican en catiónicos, aniónicos y no iónicos. Los polielectrolitos utilizados en el tratamiento de agua son compuestos con alto peso molecular y por lo tanto se deben aplicar en pequeñas cantidades.

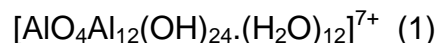
b) Los metálicos

Los coagulantes metálicos se pueden clasificar en:

a) sales de aluminio: ayuda a la formación de un floc pesado, el más utilizado es el sulfato de aluminio. b) sales de hierro

1.3.3. QUÍMICA DEL COAGULANTE POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO

El polihidroxiclорuro de aluminio (generalmente conocido como PAC), es una sal básica del cloruro de aluminio, un polímero líquido de carga catiónica de hidroxiclорuro de aluminio con fórmula:



Desestabiliza los coloides rápidamente, modifica muy poco la alcalinidad y el pH del agua, produce menos volumen de lodos que otros tipos de coagulantes.

Elimina los coloides y sólidos suspendidos mediante una rápida velocidad de sedimentación.

Tabla . PROPIEDADES PAC

PROPIEDAD	RANGO
Apariencia :	Líquido ámbar claro
pH (15%):	3,5 - 4,5
Densidad(18°C):	1,320 – 1,330 g/cm ³
Al ₂ O ₃ (%):	19 - 21
Turbidez (NTU)	<50
Basicidad (%)	65 – 75
Ácido clorhídrico (HCl) hidrolizable (%)	11 - 13

Ventajas

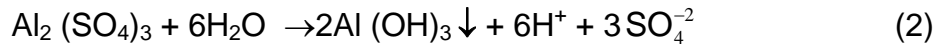
- Incidencia muy baja en el pH del agua
- No contiene insolubles
- Menos corrosivo que otros coagulantes inorgánicos
- Aumenta el tiempo entre lavado de filtros y sedimentadores
- Menor aporte de aniones al sistema.
- Trabaja con alcalinidades bajas
- Trabaja en turbiedades bajas, normales, altas.

1.3.4. QUÍMICA DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO.

El sulfato de aluminio cuya fórmula es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, es el coagulante estándar usado en tratamiento de agua. Se considera que el proceso de coagulación con alumbre, se presentan tres etapas ^[3]:

1. El alumbre se ioniza en el agua y produce iones Al^{+3} y SO_4^{-2} . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal promoviendo la unión entre ellas.

2. La mayor parte de los iones Al^{+3} se combinan con iones OH^- (del agua) para formar $\text{Al}(\text{OH})_3$ coloidal el cual absorbe iones positivos de la solución:



3. El $\text{Al}(\text{OH})_3$ en solución con carga positiva ayuda a neutralizar los coloides negativos, y el exceso es neutralizado por el SO_4^{-2} para producir un precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$ y sulfatos adsorbidos. Se puede observar que el exceso de H^+ que se forma en la etapa 2 tiende a disminuir el pH, lo cual detendría la formación del $\text{Al}(\text{OH})_3$ puesto que depende del pH. Generalmente se aumenta el pH adicionando cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, carbonato de sodio (Na_2CO_3) o sosa (NaOH) ^[4].

1.3.5. CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN

PRUEBA DE JARRAS

Se realiza con el fin de seleccionar el tipo de coagulante más efectivo, cuantificar cuanto coagulante se requiere, determinar cual presenta menor problemas colaterales y el que tenga menor impacto ambiental y en la salud.

Permite determinar el pH óptimo de coagulación y a su vez la dosis optima, proporciona información acerca de si es necesario contar con ayudas de coagulación. Es un proceso a escala de laboratorio que proporciona y simula las actividades que se realizan en las plantas de tratamiento.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA BASE DE DATOS (2010-2011)

Se realizó un estudio de los datos de la planta con el fin de obtener cuales habían sido los rangos limitantes para el uso del sulfato de aluminio líquido en situaciones en las cuales la planta se vio afectada y se suspendió el servicio para garantizar la calidad y el óptimo funcionamiento de esta; basado en estos resultados se realizaron pruebas con el PAC para determinar si este producto ofrecía una solución a dicho problema.

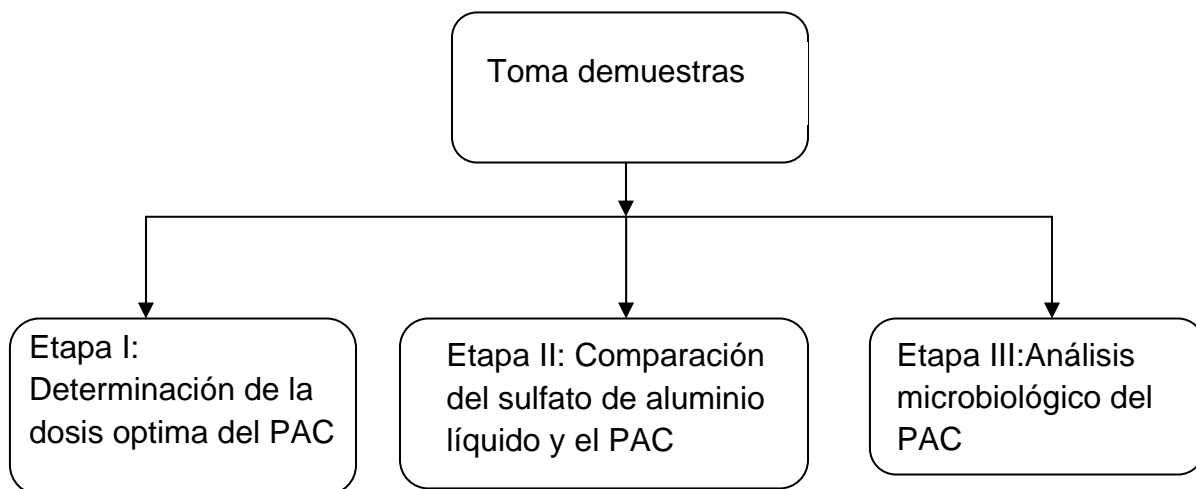
2.2. PRÁCTICA EN EL ENSAYO DE JARRAS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

Se realizó una capacitación durante aproximadamente un mes en el cual se adquirió destreza en la toma de muestra de pruebas de jarras y se determinaron propiedades como turbiedad, pH, color, alcalinidad y pruebas físico-químicas como nitritos, sulfatos, cloruros, mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales.

2.3 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se puede dividir en tres etapas importantes:

FIGURA . DIAGRAMA TOMA DE MUESTRAS



2.4. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE LOS COAGULANTES

Una vez obtenida la muestra se mide la turbiedad, color, pH, y alcalinidad del agua se procede a colocar la muestra, en cada una de las 6 jarras con las que cuenta el equipo PHIPPS & BIRD STIRRER PB-700; cada una de las 6 jarras tiene una capacidad de 1 litro y posee un agitador mecánico; la base del equipo cuenta con una lámpara que ayuda a la visualización de la formación del floc.

Con anterioridad se debe preparar la solución madre; 10 gramos de coagulante disuelto en 1 litro de agua, se debe agitar bien de manera que se asegure una mezcla homogénea del coagulante. Se agrega el coagulante con ayuda de jeringas para mayor precisión y mejor distribución del coagulante en la muestra.

Una vez agregado el coagulante se colocó el equipo a 100 RPM ya que estas revoluciones asemejan la mezcla rápida que se obtiene en el proceso, esto se realiza durante un minuto. Pasado este minuto se reduce las revoluciones a 40 ya que en esta parte del ensayo vamos a simular la parte de floculación (mezcla lenta) este proceso en planta se lleva a cabo durante 10 a 20 minutos así que para simular el proceso a escala de laboratorio se deja durante 15 minutos.

Transcurrido el periodo de floculación se realizó el proceso de sedimentación; se detienen los agitadores mecánicos de esta manera se permite que las muestras se sedimenten igual que lo hacen en la planta, este proceso se realiza durante 15 minutos. Después de este tiempo se procede a tomar la muestras de turbiedad de cada una de las jarras y de esta manera definir cuál es la jarra optima (menor turbiedad), a esta jarra se le realizan las pruebas de color, pH, y alcalinidad.

2.4.1. SULFATO LÍQUIDO

Se realiza como se describe en el numeral 2.4 teniendo en cuenta que la solución madre se realiza con 10 g de sulfato de aluminio líquido disueltos en un litro de agua.

2.4.2. PAC

Se lleva a cabo según la descripción del numeral 2.4; la solución madre se realiza con 10 gramos de polihidroxiclорuro de aluminio.

2.5. COMPARACIÓN CUALITATIVA DEL SULFATO DE ALUMINIO Y PAC

El sulfato de aluminio es el coagulante por excelencia, ya que brinda buena calidad a un excelente costo, pero se debe tener en cuenta que utilizando el sulfato de aluminio se afecta el pH, este es uno de los mayores inconvenientes que presenta este coagulante y por esto se debe agregar al agua cal; lo que lleva a la disminución de la calidad del agua tratada. El PAC no presenta modificación del pH esta es una de las principales ventajas frente al sulfato de aluminio líquido; otra de las ventajas que se observan es que la velocidad de coagulación y floculación es mayor con el polihidroxiclорuro de aluminio, lo que hace más eficiente y mejora la calidad del proceso. Se observa menor gasto del coagulante cuando se utiliza el PAC, especialmente en altas turbiedades. Una de las principales ventajas de usar el polihidroxiclорuro es que no aporta aluminio disuelto al agua.

2.6. COMPARACION CUANTITATIVA DEL SULFATO DE ALUMINIO Y PAC

Se realizaron 12 pruebas de jarras con el fin de comparar el desempeño del sulfato de aluminio líquido y el PAC.

Procedimiento

1. se tomó una muestra de agua aproximadamente 10 litros de agua cruda.
2. se midió la turbiedad, color, pH y alcalinidad del agua cruda.

3. se llenaron cada una de la jarras, aproximadamente un litro en cada recipiente.
4. previamente se había preparado la solución madre, 10 gramos de coagulante disuelto en 1 litro de agua, se realizó solución madre para el sulfato de aluminio líquido y solución madre para el PAC.
5. En las jarras 1, 2, y 3 se aplicó sulfato de aluminio líquido como coagulante y en las jarras 4, 5, y 6 se aplicó PAC.
6. se realizó el proceso convencional de la prueba de jarras.

Durante la etapa II se dispuso de las 6 jarras de esta manera, en las jarras 1, 2 y 3 se utiliza sulfato líquido y en las jarras 4, 5 y 6 se utiliza PAC; de esta manera se busca comparar la eficiencia de los coagulantes a idénticas condiciones de operación.

Durante la etapa III el objetivo principal fue comprobar que al utilizar el Polihidroxiclорuro de Aluminio, se obtiene un agua de mayor calidad y no afecta la integridad de las personas; para verificar esto se realizaron pruebas físico-químicas de turbiedad, color, pH, alcalinidad, mesofilos, coliformes totales, coliformes fecales y cloro residual; y se comparó con los intervalos enmarcados por la legislación colombiana (ver anexo D) para el tratamiento de potabilización del agua. Se analizaron 9 pruebas realizadas en el laboratorio para los parámetros anteriormente mencionados.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

ETAPA I: DOSIS ÓPTIMA DE PAC

Figura . DOSIS ÓPTIMA ETAPA I INTERVALO BAJO MEDIO

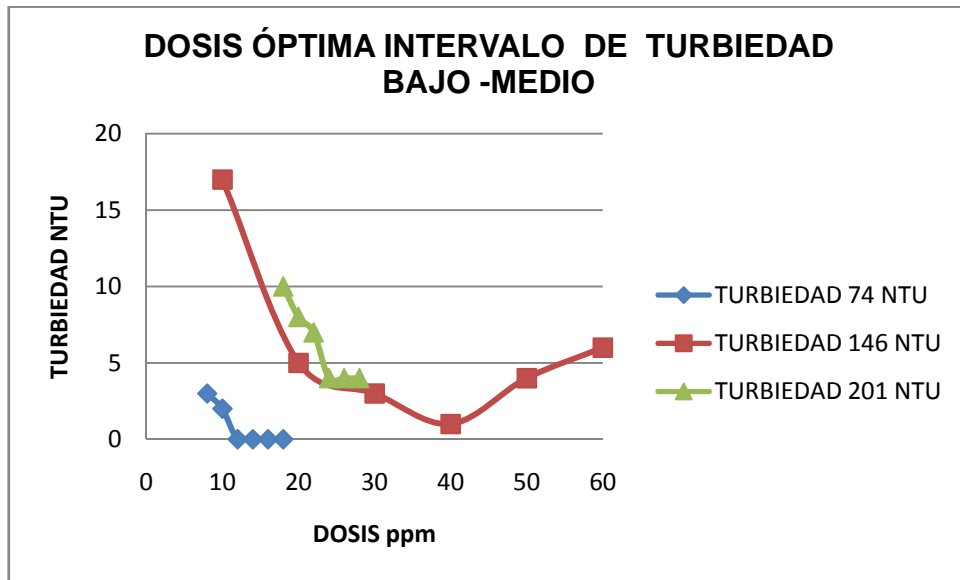
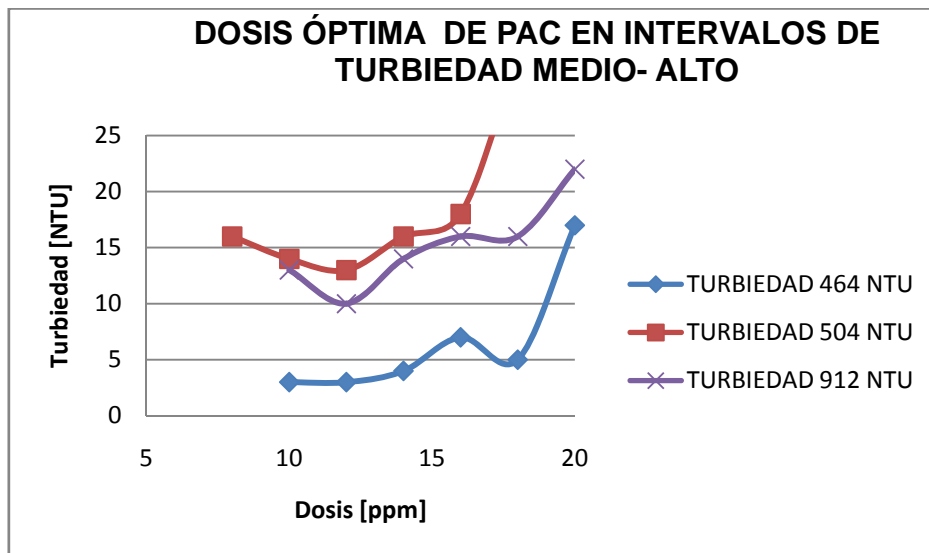


Figura . DOSIS ÓPTIMA ETAPA I INTERVALO MEDIO ALTO



En la primera etapa (determinación de la dosis óptima del PAC) se logró comprobar la efectividad del PAC en intervalos de turbiedades bajas, medias y altas. Se verificó que al utilizar dicho coagulante el pH no varía significativamente. Cuando el agua trae valores altos en unidades de color se requirió aumentar en gran cantidad la dosis del PAC. Se observó en esta etapa que la mayor dosis óptima es de 60 PPM y fue dosificada cuando el agua de entrada de la planta presenta una turbiedad de 3660 NTU y un color de 11400 UPC, una vez realizada la prueba de jarras se logra disminuir la turbiedad a 5 NTU y el color a 40 UPC. La menor dosis en esta etapa fue de 8 PPM y se dosificó cuando el agua cruda presenta una turbiedad de 763 NTU y un color de 3830 UPC, una vez el agua es tratada se obtiene que la turbiedad se logra disminuir a 12 NTU y el color a 62 UPC. En las gráficas de esta etapa se puede observar que existe una dosis óptima de coagulante y una vez es excedida se produce el efecto contrario, se incrementa la turbiedad a medida que se incrementa la dosis de coagulante.

ETAPA II: COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES

FIGURA . DOSIS ÓPTIMA TURBIEDAD 38 NTU

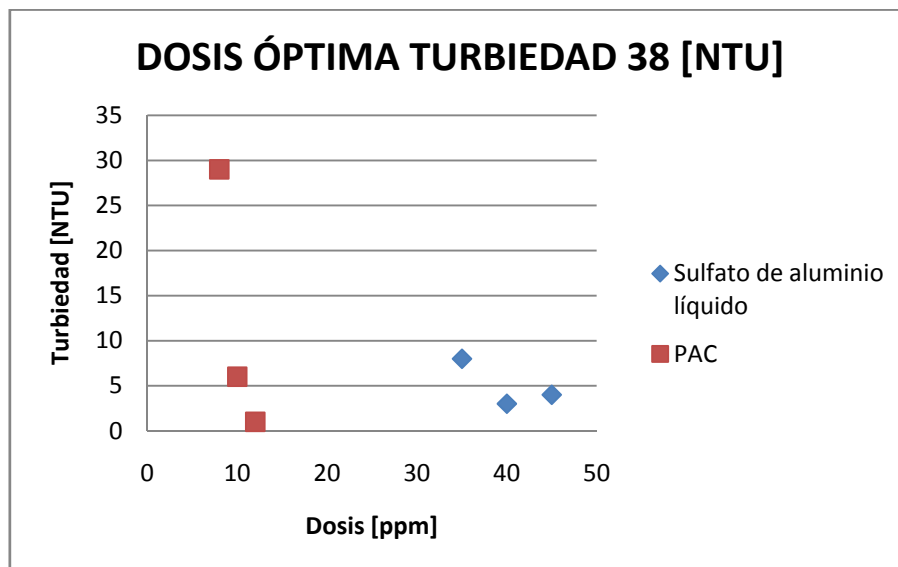
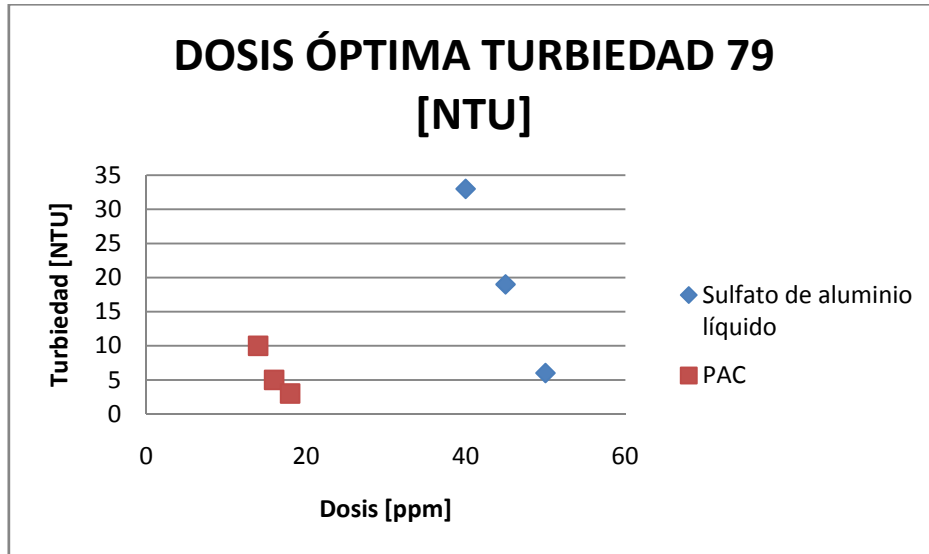


FIGURA . DOSIS ÓPTIMA TURBIEDAD 97 NTU



En la segunda etapa se compara la eficiencia del PAC contra la eficiencia del sulfato de aluminio líquido. En esta etapa la menor turbiedad del agua cruda fue de 38 NTU la cual fue tratada, obteniendo por medio de la prueba de jarras una dosis óptima de sulfato de aluminio líquido de 40 PPM y una dosis óptima de 12 PPM de PAC, esto indica una relación de sustitución de 3,3 a 1 para este intervalo de turbiedad. La mayor turbiedad en esta etapa fue de 516 NTU, se realizó la prueba de jarras y se obtuvo que la dosis óptima para el uso del sulfato de aluminio líquido fue de 85 PPM y de 30 PPM para el PAC indicando una relación de sustitución de 2,8 a 1 en este intervalo de turbiedad.

ETAPA III: ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL PAC

FIGURA . pH AGUA TRATADA

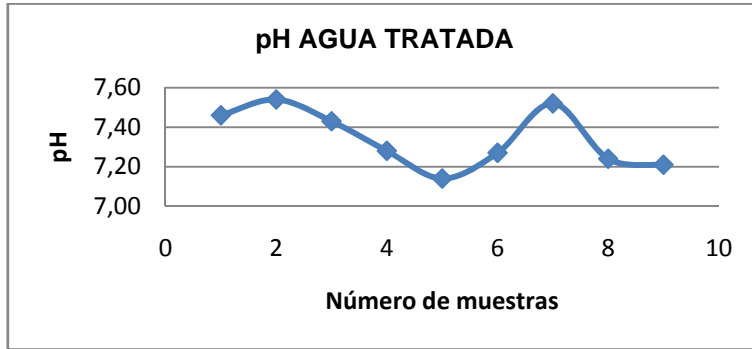


FIGURA . ALCALINIDAD AGUA TRATADA

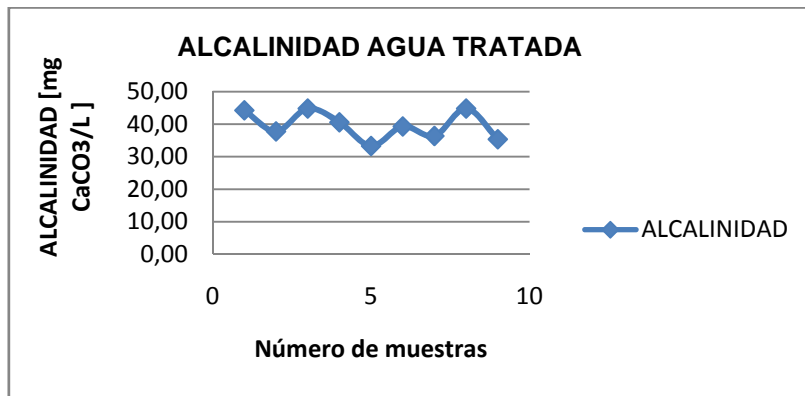
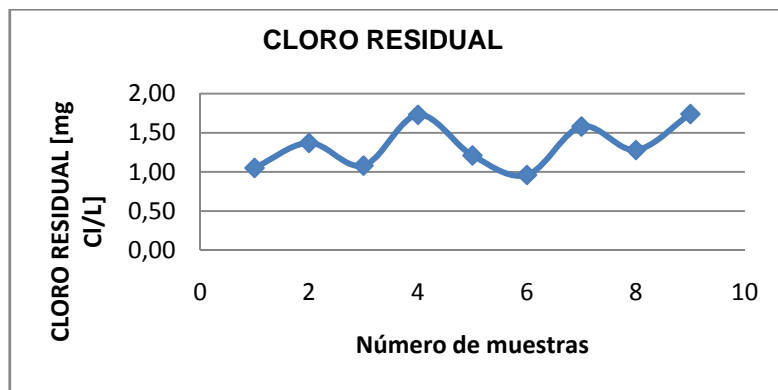


FIGURA . CLORO RESIDUAL



En esta etapa la turbiedad mayor fue 0,67 NTU, el color mayor fue 4 UPC, el pH obtenido se encuentra en un intervalo de 7,14 y 7,54; la alcalinidad mayor es 44,80 [mg CaC₃O/l] y la menor es 33,28 [mg CaCO₃/l], la mayor cantidad de cloro residual es 1,73 [mg Cl /l] y la menor 0,96 [mg Cl /l].

En las pruebas de mesófilos, coliformes fecales y coliformes totales realizadas por filtración por membrana no se detectó presencia de unidades formadoras de colonias.

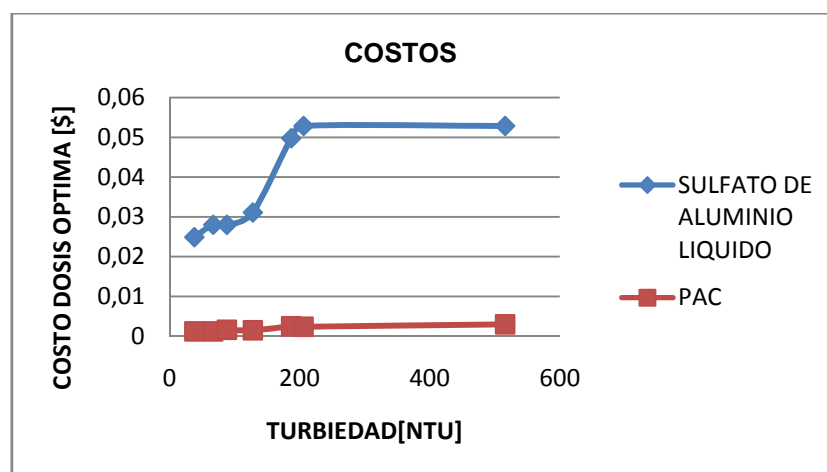
3.1. EVALUACION ECONOMICA

Tabla .COMPARACIÓN ECONÓMICA

Coagulante	Costo unitario (\$/Kg)	IVA (%)	Costo total (\$/Kg)
Sulfato de aluminio líquido	406	16	470.96
Polihidroxicloruro de aluminio	640	16	742.4

Fuente: Empresa General de aguas Ltda.

FIGURA Evaluación de costos



4. CONCLUSIONES

- Al utilizar PAC como coagulante el pH no varía significativamente, y por ende no es necesario agregar cal al agua (procedimiento que se realiza cuando se utiliza el sulfato de aluminio líquido con el fin de que el pH no se altere) esto brinda una ventaja en la parte económica ya que se disminuyen los costos al no ser necesaria la compra de cal, y a su vez brinda una ventaja en la salud de los consumidores finales ya que contiene menor cantidad de sustancias químicas.
- Para intervalos de turbiedades muy altos el sulfato de aluminio líquido requiere de altas dosis e inclusive falla en el proceso de coagulación de la planta.
- Existe una dosis óptima de coagulante y una vez es excedida se produce el efecto contrario, se incrementa la turbiedad a medida que se incrementa la dosis de coagulante.
- Se compara la eficiencia del PAC contra la eficiencia del sulfato de aluminio líquido se comprueba que el PAC es la mejor opción, ya que en las pruebas que se realizaron se observó que utilizando el PAC se requirió una menor cantidad de dosis óptima y se logra disminuir la turbiedad de una manera más eficiente; y se puede concluir que a mayor turbiedad el ahorro es mayor ya que el polihidroxiclورو de aluminio acelera el proceso de sedimentación de lodos.

- Se puede concluir que utilizando PAC se debe agregar hasta una tercera parte de lo que se agregaría normalmente utilizando sulfato de aluminio líquido, lo que representa un ahorro importante.
- Se logra comprobar la eficiencia del PAC como coagulante, comparando los resultados de la parte microbiológica con la legislación colombiana (ver anexo D), se obtiene que el coagulante ofrece un buen desempeño ya que a pesar que la prueba se realizó a nivel de laboratorio logra resultado excelentes.

5. RECOMENDACIONES

- La principal recomendación es realizar las pruebas en la planta; con mayor regularidad (2 veces por semana) con el fin de obtener información acerca de cómo se comporta el producto a lo largo del recorrido de la planta; y tener datos en todas las temporadas climáticas.
- Realizar una inducción del correcto uso del polihidroxiclورو de aluminio a los empleados de la planta; con el fin de que no se desperdicie el producto y así lograr una mayor rentabilidad.
- Implementar y desarrollar el mantenimiento y la revisión periódica de los instrumentos utilizados en la planta; con el fin de tener la mayor precisión de las pruebas que se realizan.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Arboleda Valencia Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua, tercera edición, tomo 1, editorial Mc Graw Hill.

[2] Maldonado Yactayo, Víctor; Barrenechea Martel, Ada; Aurazo de Zumaeta, Margarita. CEPIS; OPS. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima, CEPIS, 2004, p. 213-219, 282.

[3] Camacho Uribe Carlos Andrés, estudio preliminar del uso del sulfato de aluminio líquido en el proceso de clarificación de la planta de tratamiento del acueducto de Piedecuesta, trabajo de grado ingeniero químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2010.

[4] Henry, J. Glynn Y Heinke, Gary W. Ingeniería Ambiental. 2 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 395-401.

[5] Maldonado Yactayo, Víctor; Barrenechea Martel, Ada; Aurazo De Zumaeta, Margarita. CEPIS; OPS. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima, CEPIS, 2004, p. 213-219, 282.[6]

Cáceres Rodríguez José Alberto

Evaluación del uso de policloruro de aluminio como coagulante primario, en la planta de tratamiento de agua potable el cambray

Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Guatemala, mayo de 2009.

[7] Moreno Capacho Jaime Alfonso, Delgado Aguilar Carlos Alberto, evaluación del proceso de coagulación en la planta de tratamiento Bosconia, utilizando coagulantes inorgánicos y polímeros orgánicos, trabajo de grado ingeniero químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2009.

[8] Romero Rojas Jairo Alberto, Acuiquímica primera edición: febrero de 1996, departamento de publicaciones Escuela Colombiana de Ingeniería, p.135-138,149-166.

[9] DAVIS, Mackenzie y MASTEN, Susan. Ingeniería y ciencias ambientales. 1 ed. México: Mc Graw Hill, 2005. p. 349-355.

[10] HUERTAS, Ana y QUINTERO, Henderson. Estudio de aplicabilidad e implementación del sulfato de aluminio tipo B, líquido como coagulante en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Lebrija (Santander). Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2007. 70p.

[11] STANDARD METHODS; for the examination of water and wastewater. Producido por la APHA. 21 ed. 2005.

7. ANEXOS

ANEXO : TABLAS

ETAPA I: determinación de la dosis óptima del PAC

Tabla .DATOS ETAPA I

AGUA CRUDA				DOSIS PPM	AGUA TRATADA			
TURBIEDAD	COLOR	pH	ALCALINIDAD		TURBIEDAD	COLOR	pH	ALCALINIDAD
74	469	7,66	40	12	0	0	7,11	42
146	2400	6,4	24	40	1	46	6,71	22
323	4510	7,61	30	32	5	58	6,89	28
262	2740	7,63	40	24	10	81	7,23	26
201	2220	7,75	40	24	3	25	7,33	34
3660	11400	7,22	ND	60	5	40	7,15	36
1320	5500	7,09	ND	20	5	41	7,12	40
1670	8204	7,23	ND	20	4	26	7,24	37
224	2130	7,34	40	10	24	138	7,43	34
912	12300	7,26	ND	12	10	55	7,26	34
763	3830	7,4	40	8	12	62	7,43	30
504	3550	7,54	39	12	13	81	7,38	40
464	3070	7,38	40	10	3	25	7,41	34
3018	12700	7,7	ND	12	10	48	7,45	30
783	2270	7,5	32	8	9	54	6,22	38
490	3120	6,91	40	12	4,34	31	7,04	30

ETAPA II: comparación de la eficiencia de los coagulantes

Tabla . DATOS ETAPA II

AGUA CRUDA				SULTATO LIQUIDO			PAC			JARRA OPTIMA					
Turbiedad	Color UPC	pH	Alcalinidad	1	2	3	4	5	6	Dosis (ppm)	Turbiedad	Color UPC	pH	Alcalinidad	
97	1160	7,92	36	Dosis ppm	40	50	60	10	20	30	10	5	41	7,32	30
				Turbiedad (NTU)	7	10	8	5	6	7					
98	1150	7,71	50	Dosis ppm	20	30	40	5	15	25	15	4	47	7,59	32
				Turbiedad (NTU)	7	12	5	6	4	8					
128	1520	8,06	40	Dosis ppm	30	40	50	5	15	25	15	7	73	7,11	26
				Turbiedad (NTU)	39	18	9	50	7	7					
88	1170	7,89	38	Dosis ppm	35	40	45	12	14	16	16	9	74	7,62	32
				Turbiedad (NTU)	65	18	16	65	20	9					
79	530	8,01	34	Dosis ppm	40	45	50	14	16	18	18	3	41	7,56	36
				Turbiedad (NTU)	33	19	6	10	5	3					
85	1700	7,95	36	Dosis ppm	50	55	60	16	18	20	18	3	37	7,53	36
				Turbiedad (NTU)	7	6	6	7	3	7					
206	1370	7,74	36	Dosis ppm	75	80	85	20	22	24	24	1	31	6,64	34
				Turbiedad (NTU)	5	5	2	14	16	1					
187	1900	7,76	36	Dosis ppm	80	85	90	23	25	27	25	1	45	7,26	40
				Turbiedad (NTU)	5	7	9	5	1	2					
516	6105	7,74	ND	Dosis ppm	80	85	90	26	29	30	30	3	34	7,50	32
				Turbiedad (NTU)	12	5	5	11	6	3					
67	439	7,46	40	Dosis ppm	40	45	50	11	12	13	12	1	36	7,13	38
				Turbiedad (NTU)	7	4	6	7	1	3					
71	444	7,59	40	Dosis ppm	20	24	26	12	14	16	12	1	23	6,84	40
				Turbiedad (NTU)	2	2	2	1	2	2					
38	271	7,71	48	Dosis ppm	35	40	45	8	10	12	12	1	26	7,30	34
				Turbiedad (NTU)	8	3	4	29	6	1					

ETAPA III: análisis microbiológico del PAC

Tabla . DATOS ETAPA III

AGUA CRUDA			
TURBIEDAD	COLOR	pH	ALCALINIDAD
18	183	7,72	45,36
25	244	7,98	43,28
397	3012	8,12	52,48
75.4	740	8,04	48,00
494	2843	7,62	47,36
266	228	7,57	45,84
21	162	7,82	48,12
516	325	8,36	52,48
41	358	7,96	46,32

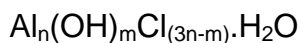
Tabla .DATOS ETAPA

AGUA TRATADA							
TURBIEDAD	COLOR	pH	ALCALINIDAD	MESOFILOS	COLI. TOTALES	COLI. FECALES	COLOR RESIDUAL
0,41	3	7,46	44,24	0	0	0	1,05
0,54	2	7,54	37,76	0	0	0	1,37
0,35	2	7,43	44,80	0	0	0	1,08
0,25	2	7,28	40,56	0	0	0	1,73
0,67	4	7,14	33,28	0	0	0	1,21
0,12	4	7,27	39,28	0	0	0	0,96
0,38	3	7,52	36,36	0	0	0	1,58
0,14	3	7,24	44,80	0	0	0	1,28
2,12	18	7,21	35,36	0	0	0	1,74

ANEXO : GLOSARIO

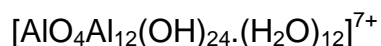
- **Polihidroxiclорuro de aluminio**

Es una sal básica del cloruro de aluminio, un polímero de hidroxiclорuro de aluminio con fórmula:



Donde $0 < m < 3n$.

Es esencialmente un polímero inorgánico catiónico.



En solución, y dependiendo del proceso empleado, tiene un contenido en Al_2O_3 de 10 a 23 g/100 g. generalmente conocido como PAC o policloruro de aluminio.

Es usado como coagulante en el proceso de potabilización de las aguas para consumo humano, en el tratamiento de aguas residuales, en la industria del papel, en la industria del cuero.

- **Coagulante**

Un coagulante son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales:

- Alumbre $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$

- Sulfato férrico $[Fe_2(SO_4)_3 \cdot x H_2O]$

- Cloruro férrico $[FeCl_3 \cdot 6 H_2O]$

- Sulfato ferroso [$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$]
- Carbonato de magnesio [$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$]
- Aluminato sódico [NaAlO_3]

Favoreciendo su separación por medio de sedimentación.

- **Turbiedad**

Es el aspecto que ofrece un líquido a causa de la presencia de materias en suspensión. Su intensidad puede servir para apreciar la concentración de estas materias. La medida de la turbiedad es una prueba de la calidad del agua.

- **Color**

El color en el agua puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o sustancias en suspensión (color aparente). El primero es el que se obtiene a partir de mediciones realizadas sobre muestras filtradas por membranas de 0,45 micrómetros, mientras que el segundo proviene de las mediciones directas sobre muestras sin filtrar.

- **Alcalinidad**

Es la capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio (H^+) hasta un valor de pH de 4,5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en solución y en menor grado por los boratos, fosfatos y silicatos, que pueden estar presentes en las muestras.

La alcalinidad también se puede definir como la capacidad del agua para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido o una base.

- **NUMERO MÁS PROBABLE (NMP)**

Es el índice de bacterias que más probablemente que cualquier otro, expresaría los resultados mostrados por examen de laboratorio al analizar una muestra de agua y se expresa como cantidad de organismos por cien (100) centímetros cúbicos.

- **GRUPO COLIFORME EN EL METODO DE FILTRO DE MEMBRANA**

Es el que comprende todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram-negativas, que no forman esporas, de forma bacilar que producen una colonia oscura con brillo metálico en un período de veinticuatro (24) horas o menos, a treinta y cinco grados centígrados (35°C) en medio tipo-ende que contenga lactosa.

ANEXO :DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

DETERMINACIÓN DEL COLOR

1. Tomar una muestra representativa; mínimo 25 ml.
2. Encender el espectrofotómetro HACH DR-2800.
3. Ingrese el método 120 o ajustar longitud de onda en 455.
4. Ajustar el blanco con agua destilada y presionar CERO.
5. colocar la muestra y realizar la lectura.

DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD

1. Encender el Turbidímetro.
2. Limpiar la celda antes de introducirla con la muestra.
4. Ajustar la lectura entre 0,2 y 1 NTU (posición 1).
5. Introducir la muestra y leer, si la turbiedad es mayor a 1 UNT (la aguja no se mueve), cambia de patrón (6,8), y repetir, hasta que el valor de la lectura entre en el rango del patrón.

Nota:

Para turbiedades con valores mayores a 1000 NTU, hacer diluciones en agua destilada y multiplicar el resultado del equipo por el factor de dilución.

DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD

1. Tomar 50 ml de muestra en un vaso precipitado de 100 ml.
2. Agregar 2 gotas de verde bromocresol.
3. Titular con ácido sulfúrico 0,02N, hasta que vire (azul a amarillo).
4. Tomar la lectura de mililitros de ácido consumido.
5. Calcular la alcalinidad total por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{mgCaCO}_3 / \text{l} = \frac{\text{Vol.H}_2\text{SO}_4 * \text{N} * 50 * 1000}{\text{Vol. MUESTRA}}$$

DETERMINACIÓN DEL ALUMINIO RESIDUAL POR EL MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO

1. Filtrar aproximadamente 80 ml de la muestra con un filtro de membrana 0,45 μm .
2. Tomar 25 ml de la muestra en un matraz, añada 5 gotas de anaranjado de metilo y valorar con ácido sulfúrico 0,02N hasta un color rosa tenue, tome lectura y descarte la muestra.
3. Tomar dos muestras similares, añadir la misma cantidad de ácido valorado más 1ml de exceso.
4. Añadir 1 ml de solución EDTA a una de las dos muestras (servirá de blanco).
5. Añadir a ambas muestras 1 ml de ácido ascórbico (recién preparado).
6. Finalmente se les adiciona a ambas muestras 10 ml de reactivo tampón y 5 ml de reactivo de tinción de trabajo.
7. Aforar a 50 ml con agua destilada, mezclar inmediatamente y dejar reposar de 5 a 10 minutos.
8. Leer la concentración del aluminio en la muestra utilizando el espectrofotómetro HACH DR-2800 método aluminio residual a una longitud de onda de 535 nm.

Nota:

- Si se deja reposar más de 15 minutos empieza a desaparecer el color.

La prueba es directa en el espectrofotómetro y se expresa en mg/l de Al^{+++} residual.

ANEXO :MARCO LEGAL

El ministerio de protección social mediante **Decreto numero 1575 de 2007(MAYO 9)** por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, y la **Resolución numero 2115 (22 JUN 2007)** por medio de la cual el ministerio de protección social y de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Tabla .MARCO LEGAL

PRUEBA	UNIDADES	RESOLUCION 2115 PERMITE:
TURBIEDAD	Unidades Nefelométricas de turbiedad [NTU]	<2
COLOR	Unidades de Platino Cobalto [UPC]	<15
pH	UNIDADES DE pH	6,5- 9
ALCALINIDAD	Mg Ca CO ₃ /l	<200
MESOFILOS	UFC/100 ml	0
COLIFORMES FECALES	UFC/100 ml	0
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	0
COLORO RESIDUAL	Mg Cl/l	0,3 - 2

ANEXO : FICHAS DE SEGURIDAD

Hoja de seguridad del PAC

1. Identificación del producto

Nombre Químico: Clorhidrato de Aluminio en solución.

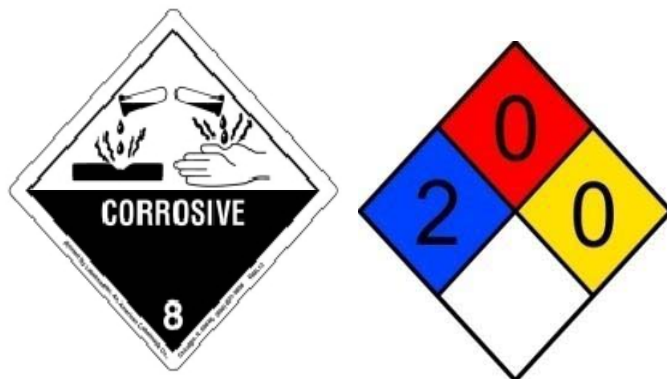
UN #: 3264

Clase NTC 1692: 8

Numero CAS: 1327-41- 9.

Clasificación NFPA: 2 – 0 – 0

FIGURA 10.FICHA DE SEGURIDAD PAC



2. Composición; Componentes

Componentes:

Nombre Del Producto: Clorhidrato de Aluminio

Número CAS:1327 – 41 – 9

% W/W:< 44%

Trazas de impurezas e información adicional no listadas en esta sección pueden aparecer en la sección 15 al final de este documento.

3. PELIGROS

Clasificación NFPA (HMIS): Salud: 2, Inflamabilidad: 0, Reactividad: 0

Definiciones NFPA: 0-No peligroso, 1-Leve, 2-Moderado, 3-Alto, 4-Extremo

CORROSIVO

Líquido color ámbar translucido sin olor que puede causar irritación considerable en ojos y piel. Sus vapores pueden irritar la nariz y el tracto respiratorio. No es combustible pero puede liberar vapores de ácido clorhídrico a altas temperaturas.

4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Contacto con los ojos: Inmediatamente lave los ojos con agua manteniendo los párpados abiertos, por 15 minutos. Levantar y separar los párpados para garantizar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

4.2 Contacto con la piel:

Retire la ropa y lave el área afectada inmediatamente con agua. Acuda al médico si se requiere.

4.3 Inhalación: Trasladar al aire fresco. Si no respira dar respiración artificial, si respira con dificultad suministrar oxígeno. Conseguir atención médica.

4.4 Ingestión

Lavar la boca con agua. De a beber agua en abundancia, no induzca el vómito. Consiga atención médica inmediatamente. Nunca de a una persona inconsciente nada a beber.

5. MEDIDAS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

5.1 Propiedades de inflamabilidad

Punto de inflamación: No aplica

Temperatura de auto ignición: No aplica

Este producto no está clasificado como inflamable ni combustible

Durante un incendio pueden ser generados gases irritantes/tóxicos de ácido clorhídrico.

5.2 Medios de extinción de fuego

Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor.

5.3 Información especial

Durante un incendio el personal involucrado debe utilizar equipo de aire auto contenido. Si es posible todos los contenedores expuestos deberán ser removidos del área afectada. Usar agua para mantener los contenedores expuestos al fuego refrigerados.

6. MEDIDAS DE ESCAPE ACCIDENTAL

6.1 Precauciones personales

No tocar el material derramado. Usar equipo de protección personal mencionado en la sección 8 de este documento.

6.2 Procedimiento para derrames

Derrames pequeños: Absorba con arena o un material no combustible y almacene en contenedor apropiado para ser posteriormente dispuesto de acuerdo a las normas locales. Lave la zona con abundante agua.

Derrames: Prevenga la entrada del material en las alcantarillas o en cualquier espacio confinado. Detenga el escape conteniendo de ser posible. Aleje todo el personal que no sea necesario y mantenga restringida la entrada. Absorba con arena o un material no combustible y almacene en un contenedor para posterior disposición final. Considere la posibilidad de neutralización in situ. Asegúrese de

descontaminar adecuadamente todas las herramientas y los equipos que tuvieron contacto con el producto.

Químicos Para neutralización: Carbonato de sodio, bicarbonato de sodio.

Disponga el material en una planta de tratamiento/disposición que cumpla con las regulaciones locales. No disponga en la basura común ni en el alcantarillado municipal.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

7.1 Manejo

Evite el contacto con ojos, piel y ropa así como el inhalar sus vapores. Utilice los implementos de seguridad referenciados en la sección de controles de protección personal.

Asegúrese de que todos los contenedores están debidamente etiquetados.

7.2 Precauciones de almacenamiento

Almacene en contenedores plásticos. Manténgase alejado de sustancias incompatibles en un lugar fresco y seco.

Tenga presente que metales como el hierro, aluminio y cobre no son compatibles a diferencia de materiales como el PVC (polivinil cloruro), polietileno, polipropileno, la fibra de vidrio y algunos materiales cerámicos.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN PERSONAL

8.1 Controles de exposición ocupacional Seguir las buenas prácticas de higiene industrial. Provea de una ventilación local y general para asegurar que la concentración sea baja en los sitios de trabajo.

8.2 Protección de ojos y cara

Se recomiendan anteojos de seguridad. Mantenga duchas lava ojos siempre cerca de las áreas de trabajo.

8.3 Protección de la piel: Se recomienda el uso de elementos como delantales plásticos y botas apropiadas, guantes de caucho o nitrilo.

8.4 Protección respiratoria: Requerida a pesar de que no se detecte la presencia de gases y/o vapores en altas concentraciones. En tal caso utilice respirador aprobado por NIOCH.

8.5 Guía de exposición

Nombre: ACGIH TLV

Aluminio: 2 mg/m³ (como Al)

8.6 Otros límites para productos de descomposición

Nombre: ACGIH TLV

Ácido Clorhídrico: 7mg/m³

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia: Líquido traslúcido color ámbar sin olor

Punto de ebullición: 112,5 °C

Punto de Congelación: - 20 °C Aproximadamente

Solubilidad en agua: 100%

Gravedad específica 18°C: 1,320 - 1,330 g/cm³

PH (15% en agua): 3,500 – 4,500

10. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Efectos agudos de exposición al producto: La exposición al producto produce irritación en los ojos la piel y las vías respiratorias.

Moderadamente tóxico por ingestión: Efectos de exposición crónica al producto

La repetida exposición de la piel puede resultar en dermatitis, daños severos al tracto respiratorio.

11. DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO

Disposición de desechos

Recoja en envases apropiados, etiquete y trate o disponga los desechos de acuerdo con los requerimientos locales legales.

No lave a desagües ni fuentes de agua.

12. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Número UN: 3264

Clase NTC 1692 (TDGA): 8 Regulado

Etiqueta requerida: CORROSIVO

Información IMO

Nombre técnico (N.O.S.): Contiene poli cloruro de aluminio.

Nombre de envío adecuado: Líquido corrosivo, ácido, inorgánico, n.o.s.

Clase de peligro: 8

Grupo de empaque: III

Número UN: UN3264

Etiqueta requerida de transporte: Corrosivo.

FICHA TÉCNICA DEL SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO

NOMBRE QUÍMICO SULFATO DE ALUMINIO

FORMULA QUÍMICA $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$

OBSERVACION DE EMERGENCIA PUEDE CAUSAR QUEMADURAS A LOS OJOS, LA PIEL Y MEMBRANAS MUCOSAS.

NUMERO DE REGISTRO EN EL C.A.S. 10043013

TLV 2 mg/m³

NFPA SALUD 1

FLAMABILIDAD 0

REACTIVIDAD 0

OTROS CORROSIVO

APARIENCIA Y OLOR Sólido: Cristales, gránulos o polvo; su color varía de blanco a amarillo rojizo o pardo.

Solución del sólido en agua: varia de incoloro a verdusco o ámbar.

Sin olor.

PUNTO DE EBULLICIÓN 101 °C a 1 atmósfera para una solución al 45 % en agua. Precipita una salbásica insoluble muy por encima de la temperatura de ebullición.

GRAVEDAD ESPECIFICA Sólido 1.69 g/cm³

SOLUBILIDAD EN AGUA Para el sólido 87 g/100 cc de agua a 0°C

Para líquido 100% soluble.

PESO MOLECULAR Sólido: 594 a 666

Líquido: 1645 a 1271

ESTABILIDAD Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.

CONDICIONES A EVITAR El sólido en contacto con agua, o las soluciones corroen a los metales excepto al acero inoxidable.

REACCIONA CON Reacciona de manera ligeramente ácida porque el sulfato de aluminio es la sal de un ácido fuerte el ácido sulfúrico y una base débil el hidróxido de aluminio. La reacción con álcalis fuertes libera hidróxido de aluminio.

RIESGO DE DESCOMPOSICIÓN EN PRODUCTOS PELIGROSOS

Comienza a descomponerse a alrededor de los 650 grados centígrados

Formando óxido de aluminio y trióxido de azufre.

RIESGO DE POLIMERIZACIÓN No ocurre.

PELIGRO DE FUEGO O EXPLOSION No flamable.

MEDIDAS DE COMBATE DE INCENDIO Evite que el sulfato se exponga a temperaturas superiores a los 650 °C para que no descomponga, recuerde que al contacto con el agua o en solución es corrosivo al hierro. Usar el equipo de protección personal que consta de ropa de hule y equipo de respiración autónomo.

SENSIBILIDAD AL IMPACTO No es sensible a golpes o impactos.

PUNTO DE IGNICION No flamable.

SENSIBILIDAD A LA ENERGIA ESTATICA No es sensible.

EFFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD

RUTAS DE ASIMILACIÓN Inhalación, Ingestión.

ÓRGANOS QUE AFECTA Ojos, piel, tracto respiratorio, tracto gastrointestinal.

IRRITACIÓN El líquido y los polvos pueden ser irritantes para la piel, los ojos, y el tracto respiratorio.

EFFECTOS POR EXPOSICION

INHALACIÓN La inhalación de polvos provoca síntomas como dolor de garganta, Opresión, dolor en el pecho y tos. Las concentraciones altas en el aire

Pueden causar congestión y constricción de las vías respiratorias

Dificultando la respiración en exposiciones cortas.

OJOS El contacto con la humedad de los ojos puede causar irritación y

Quemaduras.

PIEL El contacto del material seco con la piel en presencia de humedad puede Causar irritación, enrojecimiento y picor. El contacto de las soluciones Diluidas o concentradas también puede causar irritación en la piel.

INGESTIÓN El sulfato de Aluminio es poco tóxico por vía oral. La ingestión en grandes cantidades del producto sólido, puede causar irritación del tracto Gastrointestinal, dolor abdominal, náuseas y vómito. Puesto que sólido se Disuelve en ambientes húmedos puede causar quemaduras en la boca y En el tracto digestivo, sangrado estomacal.

EXPOSICION REPETIDA No se conocen efectos crónicos.

OJOS Lave inmediatamente con un chorro abundante de agua durante 15 Minutos por lo menos, separando los párpados de los ojos para que se Asegure que se limpien todas las partes y tejidos del ojo. Acuda inmediatamente al médico.

PIEL Retire de la piel el exceso de material, e inmediatamente lave con abundante agua por 15 minutos. Acuda al médico tan pronto como sea posible. Quítese la ropa y los zapatos contaminados, antes de volver a usarlos lávelos cuidadosamente.

INHALACIÓN Lleve al lesionado a un lugar bien ventilado, si respira con dificultad que una persona capacitada suministre oxígeno. Si se detiene la respiración, que una persona entrenada de respiración artificial. Acuda inmediatamente al médico.

INGESTIÓN NUNCA DE NADA POR LA BOCA A UNA PERSONA INCONCIENTE SITRAGO NO PROVOQUE EL VOMITO. De a tomar grandes cantidades de agua. ACUDA AL MEDICO INMEDIATAMENTE.

COMENTARIOS AL MEDICO Ninguno. Manejarlo por sintomatología clínica.

PROTECCIÓN RESPIRATORIA Use mascarilla contra polvos, se debe contar con un aparato de respiración que cubra toda la cara.

VENTILACIÓN La necesaria para mantener la concentración en el aire por debajo de 2mg/m³

PROTECCIÓN A LOS OJOS lentes de seguridad.

PROTECCIÓN PARA LA PIEL Use guantes, chamarra, pantalón y botas de hule, PVC o neopreno.

OTRAS MEDIDAS DE CONTROL Regaderas de seguridad y estaciones de lavajos, deben estar ubicadas en puntos muy accesibles en el área de trabajo. La ropa de trabajo o calzado el cuál ha sido contaminado debe ser retirados y lavarlos antes de usarlos nuevamente.

HIGIENE No coma y no beba en el área de trabajo. Lávese las manos antes de comer o ir al retrete. Cualquier ropa o protección que se contamine con sulfato de aluminio deberá de quitarse y lavarse, antes de usarla de nuevo.

PRECAUCIONES DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO

El producto sólido debe mantenerse en su envase bien cerrado, y almacenado en un área seca, fresca y ventilada. Proteja el envase de daños físicos.

El producto líquido debe conservarse en tanque tapados, para evitar que se introduzcan materiales extraños. En almacenamientos prolongados de meses puede perder agua por evaporación.

Siempre use todo el equipo de protección personal.

Tanto el sulfato de aluminio sólido humedecido como el sulfato líquido son resbalosos cuando se derraman en el piso, evite que esto suceda, o tome precauciones.

DERRAMES FUGAS Y DISPOSICIONES PRÁCTICAS

PASOS A SEGUIR EN CASO DE QUE EL MATERIAL SE ESCAPE O DERRAME

Proceda con precaución, retire al personal no involucrado en la atención al derrame del área.

El personal debe usar el equipo de protección apropiado, y lavarlo o limpiarlo después de usarlo.

Evite que llegue a alcantarillas o depósitos de agua formando un dique con tierra o arena alrededor del área de derrame para evitar que se extienda. En donde se tenga acumulación del líquido se puede recuperar ya sea empleando bombas

portátiles, o bien manualmente con cubos (cubetas) de plástico y colóquelo en recipientes de plástico que se puedan cerrar, de ser posible regresarlo al fabricante, en caso contrario proceda a neutralizarlo.

METODOS PARA EL MANEJO Y DISPOSICION DE LOS DESECHOS

En un tanque de plástico (polietileno) de 200 litros mínimo de capacidad disuelva el producto sólido o líquido en proporción 3 a 1, es decir 3 partes de agua por una parte de producto y proceder a neutralizar con cal hasta detectar un pH de 7.0 + 0.2

(se puede emplear papel pH de un rango de 6.5 a 8 para su medición).

El agua final se puede descargar a drenaje y el sólido formado se retira como desecho sanitario. Para realizar estas actividades el personal deberá emplear el siguiente equipo de protección personal: Guantes de hule, lentes de seguridad, cubrebocas, casco de seguridad y ropa con manga larga.

Los materiales de desecho: bolsas de envase, la tierra o arena que contiene sulfato manejarlos de la misma forma.

TRANSPORTE

CLASIFICACION DE LA SCT PARA SU MANEJO Sólido: Corrosivo en contacto con el agua.

Líquido: Corrosivo.

CARTEL REQUERIDO Sólido: No regulado.

Líquido: Corrosivo.

ETIQUETA REQUERIDA Sólido: No regulado.

Líquido: Corrosivo. Etiqueta como lo indica la STC, y alguna regulación aplicable en el Estado o Localidad.

Figura .FICHA DE SEGURIDAD SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.



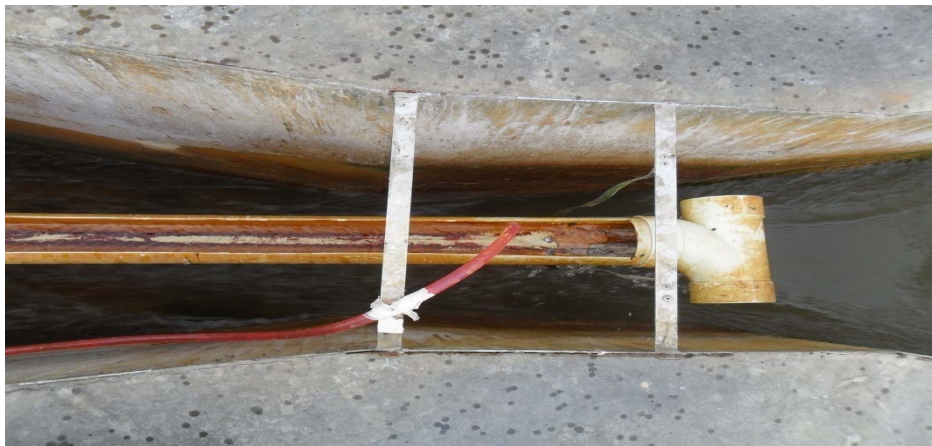
ANEXO :GALERIA FOTOGRAFICA

Figura . Medidor de Caudal



Fuente: El autor

Figura . Canaleta Parshall



Fuente: El autor

Figura . Resalto hidráulico



Fuente: El autor

Figura . Floculadores



Fuente: El autor

Figura . Sedimentadores



Fuente: El autor

Figura .Filtros



Fuente: El autor