

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL ALUMINIO PG,  
PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PRODUCCIÓN  
DE HIDROGELES EN LA PLANTA ANTONIO RICAURTE FEXAR INDUMIL**

**NICOLÁS ESTEBAN GARCÍA BARBOSA  
SANDRA LILIANA HERNÁNDEZ QUINTANA**

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL ALUMINIO PG,  
PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PRODUCCIÓN  
DE HIDROGELES EN LA PLANTA ANTONIO RICAURTE FEXAR INDUMIL**

**NICOLÁS ESTEBAN GARCÍA BARBOSA  
SANDRA LILIANA HERNÁNDEZ QUINTANA**

**Proyecto integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. Marzo de 2017

DIRECTIVAS DE LA FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA

PRESIDENTE DE LA UNIVERSIDAD Y RECTOR DEL CLAUSTRO

Dr. Jaime Posada García-Peña

VICERECTOR DE DESARROLLO Y RECURSOS HUMANOS

Dr. Luís Jaime Posada García-Peña

VICERECTORA ACADEMICA Y DE POSTGRADOS

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

SECRETARIO GENERAL

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

DECANO GENERAL FACULTAD DE INGENIERÍAS

Dr. Julio Cesar fuentes Arismendi

DIRECTOR DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Bogotá D.C. Marzo de 2017

La Fundación Universidad de América  
Y los Jurados no son responsables de  
Las ideas expuestas en este proyecto.

A Dios, por permitirme culminar este paso en mi vida, a mi familia que es mi gran ejemplo y apoyo y a mis maestros por los conocimientos que me entregaron.  
Sandra Hernández

A mi familia por su apoyo incondicional.  
Nicolás García

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	14
OBJETIVOS	15
1. GENERALIDADES	16
1.1 EXPLOSIVO	16
1.2 EXPLOSIVOS TIPO HIDROGELES FABRICADOS EN FEXAR	17
1.3 TALLER DE HIDROGELES	20
1.4 ALUMINIO PG	21
1.5 METODOS DE SEPARACION FISICA Y QUIMICA PARA EL ALUMINIO	23
2. DIAGNOSTICO DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS VERTIMIENTOS	28
2.1 ORIGEN DE LOS VERTIMIENTOS	28
2.1.1 Materias primas	28
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DONDE SE OBTIENEN AGUAS RESIDUALES	30
2.3 CARACTERISTICAS DE LOS VERTIMIENTOS	33
2.3.1 análisis para la caracterización de vertimientos	34
2.3.2 Determinación de nitratos en aguas por espectrofotometria uv	35
2.3.3 Método directo de la llama del óxido nitroso-acetileno	37
3. EVALUACION DE LA RECUPERACION DEL ALUMINIO PG A NIVEL LABORATORIO	38
3.1 METODOS DE SEPARACION DE ALUMINIO	38
3.1.1 Separación física.	39
3.1.2 Separación química	39
3.2 EVALUACION EN EL LABORATORIO	41
4. PROPUESTA DEL PROCESO DE RECUPERACION DE ALUMINIO PG	52
4.1 ESPECIFICACIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	52

4.2 ETAPA DE CRIBADO	53
4.3 SEDIMENTACIÓN Y FLOCULACIÓN	54
4.4 DISEÑO DE TANQUE HOMOGENEIZADOR	55
4.5 PISCINA DE ALMACENAMIENTO	58
5. ANÁLISIS FINANCIERO	60
5.1 COSTOS GENERALES	60
5.1.1 Costos de estudios preliminares y diseño de la planta	61
5.1.2 Costos de funcionamiento	61
5.2 IDENTIFICACION DE INGRESOS Y EGRESOS	62
5.2.1 Identificación ingresos y egresos para la alternativa con proyecto	62
5.2.2 Identificación ingresos y egresos para la alternativa sin proyecto	64
5.3 CÁLCULO DEL IPC (ÍNDICE DEL PRECIO AL CONSUMIDOR)	64
5.4 CALCULO DE VALOR PRESENTE NETO (VPN)	65
5.5 EVALUACIÓN BENEFICIO-COSTO	66
6. CONCLUSIONES	68
7. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	73



## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1 Emulsión Explosiva	17
Ilustración 2 Sismigel plus Fuente	18
Ilustración 3 Indugel plus	19
Ilustración 4 Clasificación de peligros Fuente. Fábrica Antonio Ricaurte.	22
Ilustración 5 Diagrama de flujo PTAR FEXAR indumil	32
Ilustración 6 Tanque de entrada a la PTAR	33
Ilustración 7 Tanque de acopio de vertimientos y lodos	33
Ilustración 8 Diagrama de Flujo Preparación muestras para determinación de Nitritos.	35
Ilustración 9 Diagrama de Flujo Preparación muestras para determinación de Nitratos.	36
Ilustración 10 Métodos de separación para el aluminio PG.	38
Ilustración 11 Celda electrolítica para la separación del aluminio	40
Ilustración 12 Preparación de la muestra.	42
Ilustración 13 Filtración de la muestra por filtro de nitro celulosa.	43
Ilustración 14 Filtros después de la primera separación por gravedad.	43
Ilustración 15 Peso del aluminio solido filtrado.	44
Ilustración 16 Pruebas a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico	45
Ilustración 17 Muestras en tratamiento, adicionado el Cloruro de Bario	46
Ilustración 18 Concentración en función del número de ensayos (izquierda) y Gráfico de cajas y bigotes (derecha) para las concentraciones de las pruebas de sulfatos	49
Ilustración 19 Muestras después de la lectura de Sulfatos	50
Ilustración 20 Muestras después de la lectura de Sulfatos	50
Ilustración 21 Muestras después de la lectura de Sulfatos	51
Ilustración 22 Diagrama de flujo propuesta PTAR	52
Ilustración 23 Diagrama PFD propuesto para la PTAR.	53
Ilustración 24 Etapa de cribado.	54
Ilustración 25 Sedimentador / Floculador.	55
Ilustración 26 Tanque de homogenización.	57
Ilustración 27 Piscina de sulfatos.	58
Ilustración 28 Valor IPC anual para los años anteriores	65

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Características físico-químicas del Aluminio	21
Tabla 2 Características aguas residuales tanque de recolección	34
Tabla 3 Peso del aluminio filtrado	44
Tabla 4 Pruebas de sulfatos a diferentes concentraciones	47
Tabla 5 Pruebas de sulfatos con Ácido 1N	47
Tabla 6 Cálculos cajas y bigotes	48
Tabla 7 Rango intercuartil y valores extremos	49
Tabla 8 Valores de egresos para cada alternativa.	62
Tabla 9 Valores de ingresos para cada alternativa	62
Tabla 10 Valores anuales del IPC	60

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1 Residuos del proceso de producción de hidrogeles	30
Cuadro 2 Costos generales de sistema de tratamiento de aguas residuales industriales	60
Cuadro 3 Personal necesario para la PTAR	61
Cuadro 4 Ingresos y egresos para cada alternativa	62

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Resultados de análisis de agua para caracterización.	74
ANEXO B. Métodos de análisis.	75
ANEXO C. Fichas de seguridad.	80

## RESUMEN

Se propone la recuperación de aluminio PG, que es usado en la producción de explosivos tipo hidrogel y sismigel como materia prima para la producción de sulfato de aluminio que puede ser usado como floculante para tratamiento de aguas. Durante este desarrollo se tienen en cuenta las características del agua de lavado que sale de los talleres de producción hidrogeles y tellex, para conocer su contenido de aluminio y otros componentes que afecten el proceso, se realiza de manera experimental una separación física basados en el tamaño de partícula del aluminio  $2\mu\text{m}$  que facilita la filtración, esta arroja un producto recuperado con alto contenido de pentrita que se desecha. Por otra parte se analiza las reacciones que pueden formar productos de interés para seleccionar la generación de sulfato de aluminio con ácido sulfúrico 1N, que se escoge después de varios ensayos a diferentes concentraciones esto para evitar que se sature y no desperdiciar este reactivo. Conociendo el funcionamiento que tiene la PTAR en la fábrica de explosivos Antonio Ricaurte FEXAR de Indumil, se propone hacer algunas modificaciones para generar el sulfato de aluminio, entre ellas la implementación de un tanque homogeneizador donde sucede la reacción, que es indispensable que sea en acero inoxidable 321 AISI para evitar corrosión del mismo y afectaciones en el agua con el ácido sulfúrico, las dimensiones de este son 2 metros de largo, 2 metros de alto y 1 metro de ancho, con una varilla agitadora a una velocidad de 3rpm, de esta manera se adecua al flujo trabajado y cumple con la obtención de sulfato de aluminio. Además una piscina de almacenamiento donde experimentalmente se conoce que la obtención de sulfato es solo el 0.005% del flujo que ingresa. Al hacer un análisis financiero por medio de la evaluación costo-beneficio que es igual a 0,72 se entiende que el proyecto no es viable y se deben estudiar diferentes opciones.

Palabras clave: Aluminio PG, hidrogeles, homogeneizador, sulfato de aluminio, evaluación costo-beneficio, Indumil.

## INTRODUCCION

En la industria militar la fabricación de armas, explosivos, accesorios y municiones han tenido un gran avance industrial y tecnológico, específicamente INDUMIL desde su certificación en gestión de la calidad y gestión ambiental, avanza con procesos modernos e innovadores para la fabricación de sus productos, buscando así mismo que la calidad de sus productos y la disposición de los residuos provenientes del proceso no lleguen a ser un factor contaminante para el medio ambiente, sino una alternativa para otros procesos.

La industria militar consciente de la problemática ambiental que generan sus procesos ha venido desarrollando proyectos e implementando políticas ambientales logrando con esto prevenir, mitigar y controlar los impactos generados. La Fábrica de explosivos Antonio Ricaurte (FEXAR) preocupada por el impacto que actualmente generan los residuos provenientes del sistema de tratamiento de las aguas industriales de la limpieza del taller y del proceso de fabricación de Hidrogeles, específicamente Sismigel Plus® e Indugel Plus AP®, para su disposición final la cual se hace a través de una entidad externa.

Teniendo en cuenta que en la actualidad se busca el aprovechamiento total de los materiales y la generación mínima de residuos y dado que las aguas residuales contienen los mismos materiales que ingresan al proceso, se plantea aplicar una tecnología que permita la recuperación de los materiales contenidos en ellos lo cual da el fundamento para el presente proyecto.

Para este propósito es necesario realizar una caracterización de las aguas, en la cual se verificara el contenido de aluminio PG y demás materiales restantes que se encuentran en las aguas, con esto se desea conocer las alternativas para la recuperación y aprovechamiento del Aluminio PG y analizar cuál de estas es la apropiada para un manejo ambiental correcto y evaluar la factibilidad de la alternativa para el aprovechamiento, uso o comercialización de este residuo por parte de la empresa.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de recuperación del Aluminio PG generado en los vertimientos de la planta FEXAR.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las características actuales vertimientos.
- Identificar los parámetros del proceso de recuperación.
- Evaluar el proceso de recuperación aluminio por medio de desarrollo experimental
- Especificar el proceso para la recuperación del Aluminio PG.
- Evaluar financieramente el proceso de la recuperación del aluminio PG.

## 1. GENERALIDADES

La fábrica de explosivos Antonio Ricaurte (FEXAR) fue creada en el año 1963 con el carácter de sociedad comercial anónima, Ubicada en la localidad de Sibaté - costado occidental de la laguna del Muña- Cundinamarca. Con la finalidad de la producción de explosivos y accesorios de voladura para la industria Militar, el sector minero e ingenierías. Indumil adelanta estudios, con el propósito de incorporar nuevas tecnologías en la formulación y producción de una amplia variedad de explosivos industriales así como disposición, manejo y recuperación de los residuos generados por la fabricación de explosivos y mantenimiento de la planta de producción.

La fábrica maneja la producción de diferentes líneas de explosivos comerciales y accesorios para su uso, estos son: accesorios de voladura, explosivos tipo *Slurry*, agentes de voladura, prospección sísmica, explosivos militares. Los explosivos tipo *Slurry* y prospección sísmica son fabricados en la línea de producción de Hidrogeles.

### 1.1 EXPLOSIVO

Se denomina explosivo a todo compuesto o mezcla de sustancias químicas con capacidad para transformarse por medio de reacciones de óxido reducción, en productos gaseosos y condensados.

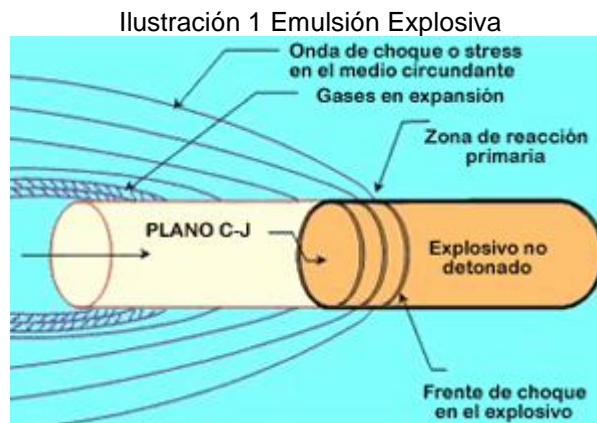
El volumen inicial ocupado por el explosivo, se convierte en una masa gaseosa que alcanza altas temperaturas y como consecuencia muy alta presiones. Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajos mecánicos aplicados en el rompimiento de materiales pétreos, lo que constituye la "técnica de voladura de rocas".<sup>1</sup>

1.1.1 Emulsiones explosivas. La emulsión encartuchada es adecuada para todo tipo de rocas, y gracias a su velocidad de detonación genera muy buena fragmentación. Posee elevada resistencia al agua, lo cual la hace especialmente indicada para ser utilizada como carga de columna para terrenos inundables o de alta humedad. Al tratarse de una emulsión presenta una alta insensibilidad a estímulos subsónicos, y soporta choques, impactos y rozamientos con total facilidad.

---

<sup>1</sup> Escuela de ingenieros militares; Empleo de los explosivos en obras de ingeniería civil y militar; Santafé de Bogotá, 1996. P 7.





Fuente Codelco Chile.

Las fabricación de explosivos para el sector minero e ingenieril se encuentran los tipo Hidrogel Indugel Plus AP y sismigel Plus, estos son usados en mayor frecuencia gracias a su baja sensibilidad al roce y propiedades hidrófobas los cuales los hacen resistentes en ambientes con alto nivel freático.

Después del mezclado se descarga la pasta explosiva a la tolva receptora, y se llenan los tubos a partir del sistema manual de llenado, para luego limpiarlos, taparlos, rotularlos y empacarlos para su respectivo almacenamiento o transporte.

#### Explosivos químicos

Son explosivos químicos todo compuesto o mezcla que contiene agentes oxidantes y combustibles, como el oxígeno, nitrógeno, carbón e hidrogeno, los cuales al momento de transformarse por medio de reacciones químicas de óxido-reducción liberan grandes cantidades de energía. Es importante destacar que los compuestos químicos utilizados en la fabricación de explosivos son aquellos que generan reacciones exotérmicas, es decir, liberan energía cuando reaccionan.

Las propiedades de los explosivos son factores con los cuales se identifican cada tipo, con las cuales se hace una selección apropiada del producto a usar bajo las necesidades del cliente.

### 1.2 EXPLOSIVOS TIPO HIDROGELES FABRICADOS EN FEXAR

Los explosivos tipo hidrogeles son explosivos gelatinizados a base de agua y tienen un desempeño similar a las dinamitas pero con grandes ventajas en lo referente a seguridad, poseen alta velocidad de detonación, alta densidad generando alto poder de demolición y muy alta resistencia al agua. Están sensibilizados por varias sustancias como aluminio, nitrato de sodio y de amonio. Estos explosivos son mucho más insensibles, no llevan nitroglicerina y requieren unos iniciadores más potentes, asimismo evitan todo riesgo de explosión debido a roces violentos o grandes presiones.

1.2.1 Sismigel plus. El explosivo Sismigel Plus se utiliza en explotación petrolera. Entre sus características se encuentran que es un explosivo que tiene alta seguridad en su manejo esto se debe a que tiene baja sensibilidad al roce y al impacto, es

resistente al agua y fácilmente se sumerge en ella, no produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo, es sensible al detonador sismográ, la presentación de este producto es en empaque plástico roscable para acople en columna y alojamiento para detonador eléctrico sismográfico con su respectiva tapa de seguro.

Ilustración 2 Sismigel plus Fuente



Fábrica Antonio Ricaurte

1.2.1.1 Proceso de elaboración del sismigel plus. El proceso de elaboración de Sismigel Plus se fundamenta en una mezcla de las materias primas, luego de haber sido preparadas y pesadas con anterioridad. En el proceso no se genera calor y se realiza por cochadas de 200 Kg.

Para iniciar la operación se deben trasvasar 2/3 de solución madre desde el tanque volumétrico hasta el mezclador tipo rotor, dosificar los nitratos de sodio y amonio según la formulación con una velocidad mínima del mezclador y empezar a aumentar paulatinamente la velocidad del mezclador; dosificar la pentrita húmeda adicionándola en 3 partes, así como el agua y aumentar la velocidad del mezclador manteniendo el mezclado por 1 minuto. En seguida se debe dosificar la goma guar, con el tercio (1/3) restante de la solución madre; homogenizar la mezcla por 5 minutos; en este momento se toma una muestra de la pasta y se determina la densidad de la misma. Por último se dosifican el *cross linker* y el aluminio PG y se sigue mezclando por tres minutos aproximadamente, dependiendo este tiempo de la densidad de la pasta. Se toma una nueva mezcla para verificar que la densidad de la pasta este dentro del rango requerido.

1.2.2 Indugel plus. El explosivo Indugel Plus se emplea para explotación de minerales como el oro, esmeraldas, sal, caliza, en voladuras subterráneas con adecuada ventilación, explotación de roca semidura a dura, en demoliciones de edificios e infraestructuras civiles. Se emplea como carga de columna con detonador Nº 8 como iniciador, entre sus características está que tiene elevada seguridad en su manejo debido a su baja sensibilidad al roce y al impacto, tiene excelente resistencia al agua, es un explosivo denso fácilmente sumergible en agua y con alta

energía específica, no produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.

Ilustración 3 Indugel plus



Fuente. Fábrica Antonio Ricaurte

Para la elaboración de Explosivos Comerciales la Fábrica Antonio Ricaurte cuenta principalmente con dos talleres, Hidrogeles y Tellex, se encuentran separados entre sí y a su vez con el resto de talleres por zonas verdes. En el proceso de producción de explosivos comerciales se generan vertimientos constituidos por materias primas y pasta explosiva, resultantes de las actividades que se realizan en cada uno de los talleres.

1.2.2.1 Producción de indugel plus ap. Se inicia el proceso llevando la solución madre a un mezclador tipo Robbon-Blender, puesto que este ayuda a la interacción de los compuestos y la solución madre para dar como resultado la formación de la mezcla explosiva. Al ingresar la solución madre también se van agregado los nitratos de Amonio y nitrato de Sodio, este proceso debe estar en agitación constante para evitar la separación de diferentes fases.

Después de conseguir esta mezcla, se le agrega la Goma Guar y el restante de la solución madre por medio de un aductor, el cual genera un vacío para que al incorporar la Goma Guar esta no genere aglomeración en la mezcla explosiva, ayudando también al aumento de la viscosidad y densidad de la mezcla para así obtener un producto más homogéneo.

Se hace control de calidad a la mezcla explosiva verificado que esta contenga un valor de  $1,27\text{g/cm}^3 \pm 0,02$ , obteniendo este valor de densidad se verifica la interacción de los componentes dentro de la mezcla y la formación de la pasta explosiva, después de esto se agrega gradualmente *Cross linker*, actuando como agente entrecruzante, dándole propiedades de mayor consistencia y resistencia al agua a la mezcla pasta explosiva, evitando la dilución de sales y pérdidas de las características de este explosivo.

Se agrega agua y aluminio *Shopped Foil* y *Paint Grade*, quienes actúan como agentes combustibles dentro de los explosivos, aportando energía y sensibilidad a la pasta explosiva, para incorporar el aluminio PG la velocidad de agitación de la

mezcla no debe ser mayor a 10rpm, para evitar que el aluminio PG genere nube de polvo, ya que este es supremamente toxico para los operarios.

### 1.3 TALLER DE HIDROGELES

En este taller se produce el explosivo denominado Sismigel Plus. Se usan las siguientes materias primas para producción:

- Solución Madre. (Mezcla de sales oxidantes y materiales sensibilizantes). La función de estos compuestos es aportar la mayor cantidad de oxígeno requerida para que se produzca la detonación, aumenta la densidad de la mezcla.
- Nitrato De Amonio. Sal oxidante, cristalina e higroscópica, se obtiene mediante la neutralización de Ácido Nítrico con Amoniaco, el cual genera una reacción exotérmica, gracias a esta reacción se genera una sal incolora. Para su uso en la industria de explosivos es necesario obtener un sólido poroso en forma de *prills*, por esto después que sale del primer proceso, pasa por un secado para obtener esta sal blanca. Posee baja sensibilidad, por esto es necesario un impulso energético.
- Aluminio PG. Polvo fino brillante e impalpable al tacto, hace su función como material combustible y agente sensibilizante en los explosivos tipo Hidrogel, formando principalmente puntos calientes (Hot spots) que mantienen la reacción del explosivo. Tiene un recubrimiento de ácido graso, lo cual genera una superficie hidrófoba en los explosivos disminuyendo la generación de burbujas de aire.
- Cross Linker. (Arsénico, etilenglicol y piroantimonato de potasio). Solución acuosa constituida por Piroantimonio de Potasio con Propilenglicol y acetato de Potasio, actúa como agente de reticulacion uniendo las cadenas poliméricas de la mezcla, cumpliendo la función de retardante de la mezcla de manera homogénea y entrelazando todos los compuestos de esta para crear una red molecular, así mejorando la estabilidad.
- Goma Guar. Carbohidrato polimerizado natural, útil como agente espesante de la fase líquida presente en la mezcla. En la mezcla explosiva para determinar la rapidez con la cual se hidrata se debe tener en cuenta el pH, la velocidad de agitación de la mezcla y la concentración de las sales y Goma Guar que están en esta.
- Nitrato De Sodio. Sal blanca de red cristalina centrada, inodora, ligeramente higroscópica, soluble en agua y altamente oxidante, la cual se obtiene por la reacción de neutralización de bases o sales de sodio.
- Agua. Molécula constituida con dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno unidos por un enlace covalente, posee una carga neutra y polar, dándole la capacidad de actuar como solvente separando sustancias iónicas. Esencial en la fabricación de de explosivos tipo Hidrogel, ayudando a la interacción de los compuestos.

- Aluminio Shopped Foil. Metal fino aluminio hojas con un espesor inferior a 0,2 mm, espesores más finos hasta 6 micrómetros, también son comúnmente. La hoja es flexible y puede ser fácilmente doblada o envuelto alrededor de los objetos. Láminas finas son frágiles. Usado en la producción de Hidrogeles como agente combustible, su uso de partículas finas y mezcladas con el aluminio PG para aumentar la generación de Hot Spots.

Insumos requeridos en la fabricación de Sismigel Plus:

- Agua
- Energía
- Tubos
- Cajas

#### 1.4 ALUMINIO PG

El Aluminio grado pintura tiene un aspecto de polvo blanco o gris y se utiliza, principalmente, en los agentes de voladura con una doble intención: actuar como combustible, aumentando el calor de explosión y alcanzando mayores temperaturas de detonación y formar puntos calientes que mantienen la reacción de detonación. Es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre aunque también puede obtenerse por síntesis química mediante procesos electrolíticos.

El aluminio grado pintura tiene diferentes aplicaciones en la industria debido a sus características y a su tamaño, por lo general se encuentra en un tamaño no superior a 2µm, esto implica que al tener una mayor área superficial de contacto, este reaccione mucho más rápido y eficiente con respecto a otros metales.

Es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre aunque también puede obtenerse por síntesis química mediante procesos electrolíticos.

1.4.1 Principales características físico-químicas. Las principales características físico-químicas del Aluminio se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Características físico-químicas del Aluminio

Fórmula Al	Nº CAS 7429-90-5
Peso molecular 26.98 g/mol	Densidad 2.7 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión 660 °C	Punto de ebullición 2327 °C

1.4.2 Características toxicológicas. La principal vía de exposición de este compuesto es la inhalatoria ya que, aunque es sólido, el aire cargado de partículas de Aluminio puede producir daños en los pulmones y el sistema

nervioso, dando lugar a disfunciones, también puede producir irritación en la piel y a los ojos cuando hay contacto.

#### 1.4.3 Clasificación de peligros según Reglamento CLP

Ilustración 4 Clasificación de peligros Fuente. Fábrica Antonio Ricaurte.

	<b>Combustible sólido categoría 1</b>	<b>Frase: H228</b> Sólido inflamable
	<b>Reacción con agua generando gases inflamables categoría 2</b>	<b>Frase: H261</b> En contacto con el agua desprende gases inflamables

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 10 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

1.4.4 Aplicaciones del aluminio grado pintura (polvo de aluminio). En pigmentos el aluminio en polvo se utiliza en la fabricación de pigmentos metálicos de plata que aumenta significativamente el color visual de recubrimientos, pinturas, tintas, plásticos y textiles, siendo utilizados para industrias como la electrónica y recubrimiento automotrices.

Polvo de aluminio da reacciones controladas en la fabricación de productos químicos de poliolefinas, alcoholes sintéticos y químicos a base de aluminio. En general, cuando el área superficial del metal en polvo sea mayor, este generara una mayor reacción. Cuando se necesita mayor energía de reactividad, polvos de aleación de titanio pueden ser suministrados.

Propulsores de misiles y cohetes se encuentran como sólidos o líquidos, uno de los combustibles sólidos más importantes es polvo de aluminio. Este se utiliza exclusivamente como combustible en los motores de cohete sólidos reutilizables para lanzamientos al espacio de la NASA, también ha sido usado en su forma líquida de manera experimental para producir mayor energía a los propulsores.

Pastas de película gruesa de polvo de aluminio y silicio se usan para la fabricación de celdas solares. Estas películas se pintan por la parte inferior para crear un conductor eléctrico el cual hace que la celda tenga un mejor funcionamiento. Eso se usa para aumentar la eficiencia de las celdas solares y disminuir los costos de fabricación.

El aluminio en polvo tiene dos usos generales en industrias metalúrgicas: como reductor y fuente de calor y como ingrediente en aditivos de aleación. Como fuentes de calor y agentes reductores, el aluminio en polvo se utiliza en aplicaciones exotérmicas y aluminotérmica. Un ejemplo de una aplicación de aluminotérmica es

la producción de ferrosilicio. Aplicaciones exotérmicas incluyen el uso de aluminio en caliente-*topping* para compuestos estabilizados, soldadura exotérmica.

El aluminio en polvo se utiliza como aditivo en revestimientos de hornos refractarios de carbono para la industria del acero.

El polvo de aluminio se utiliza en la producción de agentes de voladura para la industria militar y minería de voladura. El aluminio en polvo por lo general se usa en mezclas explosivas basadas en nitrato de amonio. Éstos debido a su bajo costo y seguridad durante la fabricación, almacenamiento, transporte y carga.

Aluminio en polvo atomizado (Al) tiene aplicaciones en fundición aluminotérmica, explosivos, fabricación pirotécnicos y compuestos de termita. También puede ser utilizado como agente reductor en procesos químicos y como relleno compuesto plástico. El aluminio puede ser encendido por descarga de electricidad estática y quema a muy altas temperaturas. Una vez suspendido en una nube de aire *dust-laden*, es fácilmente encendido y muy explosiva. El polvo atomizado reacciona violentamente con hidrocarburos halogenados y con oxidantes.

## 1.5 METODOS DE SEPARACION FISICA Y QUIMICA PARA EL ALUMINIO

1.5.1 Centrifugado. En primer lugar se realiza una centrifugación de la muestra de agua, la centrifugación se utiliza para separar partículas en suspensión en el seno de un líquido o partículas en disolución, siendo éste el caso donde se encuentran más aplicaciones.

La centrifugación preparativa se utiliza para separar partículas según la velocidad de sedimentación (centrifugación diferencial), la masa (centrifugación zonal) o la densidad (centrifugación isopícnica). En el primer caso se obtiene un líquido sobrenadante y un material sedimentado. En los otros dos casos las partículas se distribuyen en fracciones de diferentes densidades de un fluido líquido (centrifugación mediante un gradiente de densidades).

Las partículas se pueden separar en función de la velocidad de sedimentación (centrifugación diferencial), la masa (centrifugación zonal) o la densidad (centrifugación isopícnica). La centrifugación zonal y la centrifugación isopícnica constituyen ejemplos de centrifugación mediante un gradiente de densidades.

Como se sabe el aluminio es mucho más denso que el agua así se logra una separación inicial, aunque se obtiene una cantidad de aluminio con trazas de explosivos y una cantidad de material orgánico.

1.5.2 Sedimentación. Se entiende por sedimentación a la remoción, por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido y que tengan peso específico mayor que el fluido. En un determinado intervalo de tiempo no todas las

partículas en suspensión sedimentan. Justamente las que sedimentan en un intervalo de tiempo elegido son llamadas “sólidos sedimentables”.

La sedimentación como tal, es en esencia un fenómeno netamente físico. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de las partículas discretas, sedimentación de partículas floculantes y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Partículas discretas: son aquellas partículas que no cambian de características, forma, tamaño y densidad durante la caída.

Partículas floculantes: son aquellas producidas por la aglomeración de las partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas; forma, tamaño y densidad si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

Partículas por caída libre e interferida: cuando la concentración de partículas es pequeña, cada partícula sedimenta discretamente, como si estuviera sola, no siendo estorbadas por otras partículas. Partiendo del reposo, la velocidad de una partícula bajo la gravedad en un líquido aumentara al ser la densidad de la partícula mayor que la densidad del líquido. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en un lugar individual.

1.5.3 Filtración. La filtración es una de las técnicas de separación más antiguas. Es un método físico-mecánico para la separación de mezclas de sustancias compuestas de diferentes fases (fase = componente homogéneo en un determinado estado de agregación). Un medio filtrante poroso es atravesado por un líquido o gas (fase 1) y las partículas sólidas o gotículas de un líquido (fase 2) quedan retenidas en la superficie o en el interior del medio filtrante. En función de las fases se distinguen diferentes campos de aplicación:

- Partículas sólidas de líquidos (suspensiones)
- Partículas sólidas de gases
- Gotículas líquidas de gases (aerosoles)



- Gotículas de un líquido no miscible de otro líquido (emulsiones)

Con ayuda de la filtración se pueden separar componentes sólidos de suspensiones o gases, así como componentes líquidos de aerosoles o emulsiones. Mediante un filtro hidrófobo se puede filtrar p.ej. agua de combustibles. Aire u otros gases se pueden limpiar de aerosoles de agua, aceite o alquitrán. En función del problema o bien de la finalidad de la filtración, se distingue entre filtración de separación o filtración clarificante. En el caso de la filtración de separación, se trata de recuperar un determinado sólido de un líquido (torta de filtrado) para seguir trabajando con el sólido. Aquí no es imprescindible que todas las partículas sean eliminadas del líquido. Contrariamente, en la filtración clarificante, el líquido se debe limpiar en lo posible completamente de componentes indeseados o precipitados, para poder seguir trabajando con el líquido purificado.

1.5.4 Ensayo de jarras. La prueba de jarras es la técnica más extensamente 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 en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (r.p.m) En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos:

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

El pH desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación- floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones OH<sup>-</sup>, queda destruida por un aumento de la concentración de iones H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. Preferiblemente el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado.

Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a pH>5.

La temperatura del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados.

El tiempo de mezclado del coagulante en el agua a tratar será el necesario para que el producto utilizado se difunda con la mayor rapidez posible. El tiempo de coagulación es extraordinariamente breve, menos de un segundo y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar.

El ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. 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 RPM. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares de 1 a 2 litros en acrílico transparente.

1.5.4.1 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.

1.5.4.2 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.

Por ejemplo, los polímeros se distribuyen más lentamente que los iones metálicos debido a su mayor molécula, por lo tanto requerirán mayor tiempo o mayor gradiente de velocidad que los coagulantes metálicos hidrolizantes.

1.5.4.3 Mezcla lenta. Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 15 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.

1.5.4.4 Procedimientos para llevar una prueba de jarras.

- Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deterioran. Los resultados obtenidos con muestras añejas no son representativos.

- 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, debido a la inestabilidad de la suspensión coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas.
- La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta o en el caso de la clarificación a nivel domiciliario. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. Algunas plantas usan el cloro para la desinfección, oxidando la materia orgánica y eliminando parte del color.
- 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.

1.5.4.5 Criterios para la evaluación. Para evaluar los resultados de una prueba de jarras no se siguen criterios convencionales o patrones universales y casi se trata de un criterio particular del analista, fabricante del equipo, operario de la planta de acuerdo a su larga experiencia, pero bajo la convicción que le da la certeza de trabajar en las mismas condiciones experimentales y bajo los mismos criterios analíticos.

No obstante, en la práctica se observan ciertos lineamientos a seguir para evaluar una prueba de jarra, como son:

- Características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos.
- Calidad del sobrenadante: La claridad o transparencia, es el criterio más importante en la evaluación de una prueba de jarras, ya que es lo que se persigue en la clarificación del agua. Para ello se mide la turbiedad final del agua.

Se debe observar si el sobrenadante es totalmente transparente, semiturbio, turbio, con apreciable cantidad de material suspendido (TSS), decantado, semi decantado, entre otros.

## 2. DIAGNOSTICO DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS VERTIMIENTOS

Conociendo el origen y de donde provienen las aguas de entrada al tanque ubicado en la planta de tratamiento de agua industrial, se realiza una caracterización, para conocer el contenido de aluminio que está presente puro y en forma de otros compuestos.

### 2.1 ORIGEN DE LOS VERTIMIENTOS

El proceso de fabricación de hidrogeles explosivos es especialmente diseñado para ser seguro y no muy complicado. El proceso de producción no involucra altas temperaturas ni altas presiones así como tampoco se requieren el uso de materias primas explosivas, por ende los equipos utilizados se adquieren y acoplan cómodamente a las necesidades del proceso. La mayor restricción sobre los equipos es que deben ser construidos en acero inoxidable o varios materiales plásticos debido a la naturaleza corrosiva de los materiales oxidantes.

La producción de varios productos a base de hidrogeles o *slurries* consiste en dos pasos. El primero involucra el producir la fase líquida de hidrogel o solución madre. La solución madre está compuesta de hexamina y varias sales oxidantes como nitratos y percloratos en agua y neutralizada con una solución acuosa de ácido nítrico industrial. El pH es de 4 a 6 necesariamente debido a que esta es una solución buffer. El porcentaje de solución madre en varios *slurries* explosivos varía entre un 40 % p/p y un 50 % p/p.

La fabricación del producto explosivo final es llevada a cabo en un *Ribbon-blender*, esta etapa involucra la mezcla de las materias primas restantes como las sales oxidantes en presentación *prills* y molida, agentes gelificantes y aluminios (grado atomizado y granular) que junto a la solución madre forma el producto explosivo. La mezcla es posteriormente bombeada a los empaques donde es encartuchado.

2.1.1 Materias primas. Como se mencionó antes, los explosivos tipo hidrogel son mezclas de sustancias oxidantes, combustibles, espesantes y sensibilizantes. Sustancias oxidantes. La función principal de estos compuestos dentro de los explosivos es aportar la cantidad total de oxígeno requerido para que se lleve a cabo la reacción de detonación, también disminuyen el punto de cristalización y aumentan la densidad de la mezcla.

Nitrato de amonio. Sal oxidante blanca cristalina e higroscópica, soluble en agua. Está formada por iones de amonio y de nitrato. Se obtiene mediante la neutralización del ácido nítrico con amoníaco, en una reacción exotérmica, mediante esta reacción se obtiene una sal incolora. Para su uso en explosivos, requiere un proceso posterior en el que se obtiene un sólido poroso en forma de *prills* de color blanco. Esta forma de *prills*, consiste en un caparazón de cristal con espacio entre

cristales que forman poros los cuales permiten la penetración de otros materiales de la mezcla explosiva por acción capilar.

Es un compuesto que posee una baja sensibilidad, razón por la cual para que detone se necesita de un impulso energético. Para la fabricación de un explosivo a partir de nitrato de amonio se hace necesario el uso de una sustancia combustible en su formulación que facilite la detonación. Durante el proceso detonante el cual se lleva a una temperatura aproximada de 260°C actúa como fuente de oxígeno.

Esta explosión es violenta y acompañada de liberación de gases y calor. Utilizado para la fabricación de la fase líquida del explosivo como agente refrigerante en la reacción de neutralización de la hexamina con el ácido nítrico, esto es posible debido al carácter endotérmico de la reacción en dilución del nitrato amónico con el agua. Además es utilizado en la producción de explosivos tipo hidrogel en presentaciones *prills* y molido.

2.1.1.1 Propiedades del nitrato de amonio. Nitrato de sodio. Es una sal blanca de red cristalina centrada, incolora, inodora, ligeramente higroscópica, altamente oxidante y es soluble en agua. Se encuentra naturalmente en forma sólida como un polvo blanco o amarillento, aunque también se puede obtener por la reacción de neutralización de bases o sales de sodio con ácido nítrico, en cantidades estequiométricas. Su descomposición se da a temperaturas superiores a los 500 °C en forma de explosión.

2.1.1.2 Propiedades de nitrato de sodio. Sales oxidantes. Estos resultan de la mezcla de perclorato de amonio nitrato de sodio, en una relación 60:40, poseen un estado granular y son empleadas para la preparación de la fase líquida actuando como aportantes de oxígeno. La mezcla de estas sales es muy higroscópica tras un almacenamiento superior a 3 meses y se debe trabajar a una temperatura no mayor a 65 °C, pues a esta temperatura el perclorato de amonio sufre descomposición.

2.1.1.3 Propiedades de las sales oxidantes. Sustancias combustibles. Son todas aquellas en estado sólido, líquido o gaseoso que tras producir una reacción de oxidación, libera grandes cantidades de energía. Estas sustancias en mezcla con las sustancias oxidantes, son las que permiten llevar a cabo el proceso de detonación.

2.1.1.4 Propiedades del Aluminio. El aluminio es un metal plateado con una densidad de 2.70 g/cm<sup>3</sup> a 20°C. El que existe en la naturaleza consta de un solo isótopo, <sup>27</sup>13Al. El aluminio cristaliza en una estructura cúbica centrada en las caras, con lados de longitud de 4.0495 angstroms. (0.40495 nanómetros). El aluminio se conoce por su alta conductividad eléctrica y térmica, lo mismo que por su gran reflectividad. El aluminio es anfótero y puede reaccionar con ácidos minerales para formar sales solubles con desprendimiento de hidrógeno. El aluminio fundido puede tener reacciones explosivas con agua. El metal fundido no debe

entrar en contacto con herramientas ni con contenedores húmedos. A temperaturas altas, reduce muchos compuestos que contienen oxígeno, sobre todo los óxidos metálicos. Estas reacciones se aprovechan en la manufactura de ciertos metales y aleaciones.

En los explosivos tipo hidrogel actúa como un material combustible en la descomposición de compuestos oxidantes y como sensibilizante, estas propiedades se dan por ser un material altamente energético.

2.1.1.5 Propiedades del agua. Agua. La molécula de agua está formada por dos átomos de H unidos a un átomo de O por medio de dos enlaces covalentes. El ángulo entre los enlaces H-O-H es de 104'5°. El oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y atrae con más fuerza a los electrones de cada enlace.

Es uno de los compuestos presentes en los explosivos tipo hidrogel, actúa en la fabricación de la fase líquida como medio en el cual interactúan los compuestos. Es importante evaluar las características que de algún modo puede afectar el proceso productivo y por ende afectar las características del producto final. Entre los factores a evaluar el pH el cual debe ser neutro y encontrarse en un rango entre 6 y 7. Otro factor importante es que el agua no contenga iones, especialmente de cloro.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DONDE SE OBTIENEN AGUAS RESIDUALES

En el cuadro 1, se ve detalladamente las entradas y salidas de materias primas, suministros y demás insumos necesarios para el proceso de producción de Indugel Plus AP, Hidrogeles, Sismigel.

Cuadro 1. Residuos del proceso de producción de hidrogeles

Entrada	Proceso	Salida
Nitrato de amonio Nitrato de sodio	Molienda	Partículas en suspensión Nitrato de amonio molido Nitrato de sodio molido Ruido Residuos peligrosos
Nitrato de amonio prill Nitrato de amonio molido Nitrato de sodio molido Goma guar Aluminio shopped foil Aluminio PG Solución madre Agua para limpieza epp	Pesaje	Partículas en suspensión Residuos peligrosos Materias primas pesadas Vertimientos

Cuadro 1. (Continuación)

Entrada	Proceso	Salida
Pesado de Materias primas	Mezclado	Partículas en suspensión Residuos peligrosos que salen por desperdicio de la mezcla Mezcla explosiva
Pasta explosiva Película plástica Resina sellante Grapa de aluminio	Encartuchado	Residuos peligrosos Pasta explosiva encartuchada Ruido
Pasta explosiva encartuchada Agua	Limpieza	Pasta explosiva encartuchada limpia Vertimientos
Pasta explosiva encartuchada Tinta Disolvente	Codificación	Residuos peligrosos Pasta explosiva encartuchada y codificada
Pasta explosiva encartuchada y codificada Silicato de sodio (pegante) Caja de cartón Etiquetas y hojas Cintas	Embalaje	Residuos peligrosos Residuos solidos Producto terminado embalado

Fuente Indumil

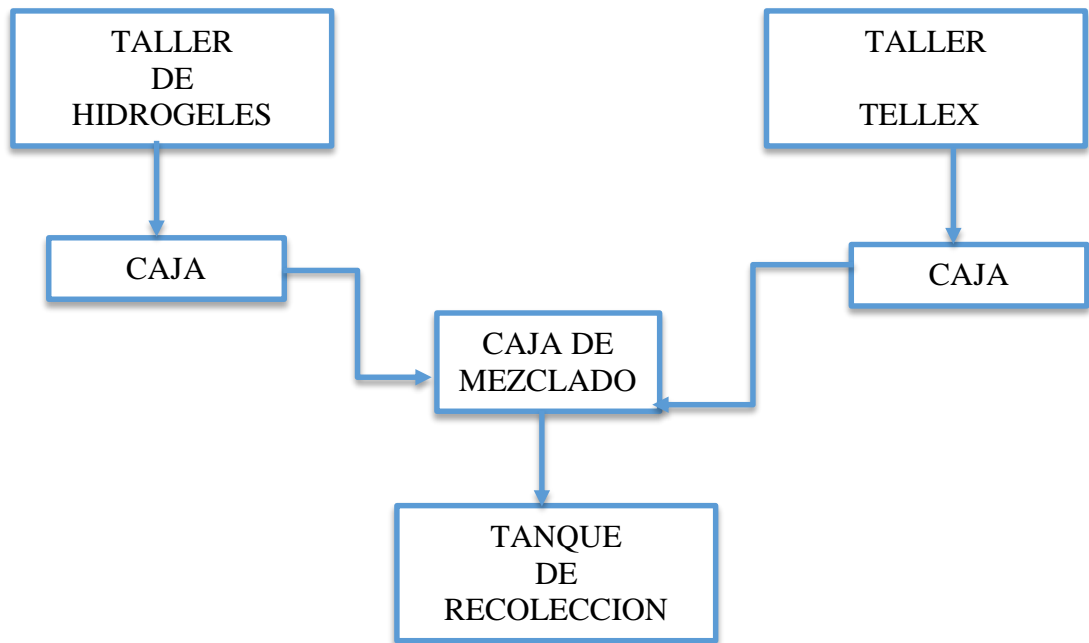
2.2.1 Vertimientos del taller de hidrogeles. Los vertimientos se generan principalmente por la limpieza del taller y el lavado de equipos, actividad que se realiza de forma manual el día viernes si durante la semana hubo producción, el proceso de limpieza consiste en realizar el proceso de producción del sismigel plus solamente agregando agua. Estos vertimientos son recogidos por unas rejillas que atraviesan el taller y conducidos a la caja 1 la cual tiene una capacidad de 3.5 m<sup>3</sup> y se encuentra ubicada a las afueras de éste, allí se realiza una recolección de partículas sólidas de forma manual. Luego estos vertimientos son conducidos por medio de una tubería y con ayuda de una bomba neumática hasta la caja de mezclado (ubicada a las afueras del taller de tellex) en donde se unen con los vertimientos del taller tellex para ser conducidos hasta el tanque de recolección (antigua planta de tratamientos de aguas residuales) en donde se almacenan. Finalmente este vertimiento es conducido a la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.2.2 Vertimientos del taller de Tellex. Los vertimientos se generan por la limpieza del taller y el lavado de equipos actividad que se realiza el día viernes si durante la semana hubo producción. Los vertimientos generados son recolectados por medio de rejillas y trasladados a la caja 2, la cual se encuentra dentro del taller; posteriormente los vertimientos son conducidos a la caja de mezclado (ubicada a las afueras del taller tellex) en donde se mezclan con los vertimientos de hidrogeles

y se recolectan los sedimentos, de allí son transportados hasta el tanque de recolección y luego a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Se puede observar en la siguiente figura, la cual es el recorrido de los vertimientos de ambos talleres hasta llegar a las piscinas de acopio de la PTAR de la empresa donde se reúnen todos los vertimientos a tratar, aproximadamente 7,16 m<sup>3</sup>/día.

Ilustración 5 Diagrama de flujo PTAR FEXAR indumil



En las ilustraciones 6. Y 7. Se muestran el tanque de recolección en la PTAR, donde llegan las las aguas provenientes de los talleres de Hidrogel y Tellex para su posterior tratamiento. En este tanque se empieza la caracterización de los vertimientos, teniendo en cuenta que a partir de estas y conociendo el contenido de Aluminio, se buscara la mejor manera de recuperarlo.



Ilustración 6 Tanque de entrada a la PTAR



Ilustración 7 Tanque de acopio de vertimientos y lodos



### 2.3 CARACTERISTICAS DE LOS VERTIMIENTOS

Se realizó la caracterización de las aguas del tanque de recolección, para conocer los contenidos totales de Nitrito, Nitrato y Aluminio en estas, no se realiza una caracterización completa de los vertimientos, debido a que para el proceso de recuperación no es necesario conocer valores de DBO o de DQO en las aguas, y por respuesta de la empresa, no fue posible hacer un muestreo compuesto de estos vertimientos. Ver Anexo A.

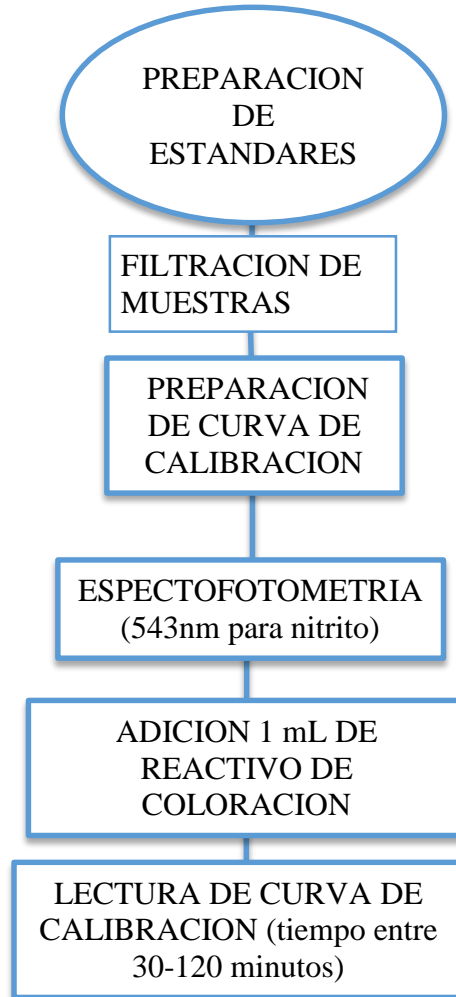
Tabla 2 Características aguas residuales tanque de recolección.

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO
Nitrito	mg/L	37.2	SM 4500-NO2
Nitrato	mg/L	0.03	SM 4500-NO3
Aluminio	mg/L	13.2	SM 3111 D

2.3.1 análisis para la caracterización de vertimientos. Para estos análisis se usaron los siguientes métodos:

2.3.1.1 Determinación de Nitrito en aguas por Método Colorimétrico el método colorimétrico es adecuado para concentraciones de 5 a 1000  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-$  - N/L. El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aun en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0,1 mg/L. Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato. El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) se determina mediante la formación de un colorante azo de color púrpura rojizo por reacción de diazotación-copulación de sulfanílamida con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (NED diclorhidrato) a pH entre 2,0 y 2,5. Según el *Standard Methods* este método es adecuado para determinar nitrito en concentraciones de 10 a 1000  $\mu\text{g}$   $\text{NO}_2^-$  -N/L. El sistema de color obedece la ley de Beer en concentraciones hasta de 180  $\mu\text{g}$   $\text{NO}_2^-$  -N/L a 543 nm si se emplea celda de 1 cm de longitud; se pueden hacer mediciones en el intervalo de 5 a 50  $\mu\text{g}$   $\text{NO}_2^-$  -N/L con una celda de 5 cm de paso de luz y un filtro de color verde. Se pueden determinar concentraciones más altas por dilución de la muestra. En el Laboratorio del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) se analizan con éste método muestras de agua superficial, en un rango de concentraciones entre 0.006 y 0.20 mg N -  $\text{NO}_2^-$  /L (Según el Decreto 475 del 10 marzo de 1998 del Ministerio de Salud, en el artículo 8 parte b) se especifica como criterio de calidad química para agua con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud, un valor máximo admisible de 0,2 mg/L de nitritos.

Ilustración 8 Diagrama de Flujo Preparación muestras para determinación de Nitritos.



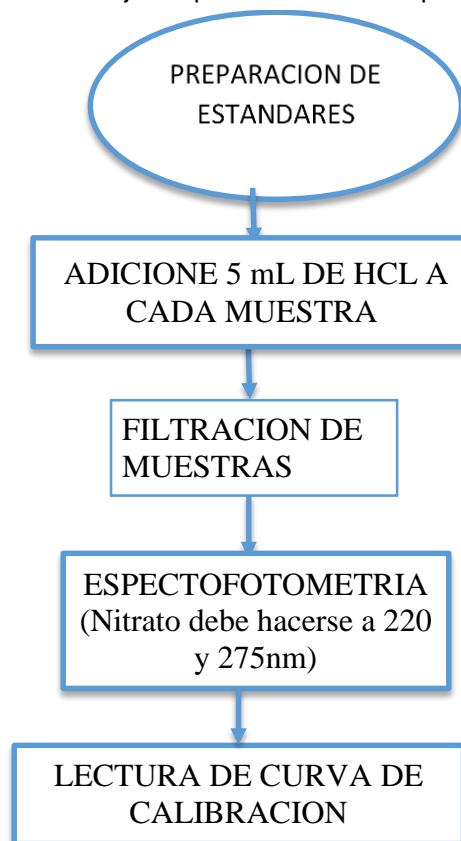
2.3.2 Determinación de nitratos en aguas por espectrofotometría uv. La técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta (UV) mide la absorbancia del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a 220 nm y es adecuada para la determinación rápida de  $\text{NO}_3^-$  y el monitoreo de aguas con bajo contenido de materia orgánica, como aguas naturales sin contaminar y fuentes de agua potable. Debido a que la materia orgánica disuelta también puede absorber a 220 nm y a que el  $\text{NO}_3^-$  no absorbe a 275 nm, se usa una segunda medición a 275 nm para corregir el valor de  $\text{NO}_3^-$ .

La aplicación de esta corrección empírica está relacionada con la naturaleza y concentración de materia orgánica y puede variar de una muestra a otra. Consecuentemente, este método no es recomendado si se requiere una corrección significativa para absorbancia de materia orgánica, aunque puede usarse en el

monitoreo de niveles de  $\text{NO}_3^-$  – en un cuerpo de agua con un tipo constante de materia orgánica.

Los factores de corrección para la absorbancia de la materia orgánica se pueden establecer por el método de adiciones en combinación con el análisis del contenido original de  $\text{NO}_3^-$  – por otro método. La filtración de muestra tiene la intención de remover la posible interferencia de partículas suspendidas. La acidificación con HCl 1 N está designada para prevenir la interferencia de concentraciones de hidróxido o carbonato hasta de 1000 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ . El cloruro no tiene efecto en la determinación. La técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta de  $\text{NO}_3^-$  – obedece la ley de Beer-Lambert entre 0.03 y 5 mg  $\text{NO}_3^- -\text{N/L}$

Ilustración 9 Diagrama de Flujo Preparación muestras para determinación de Nitratos.



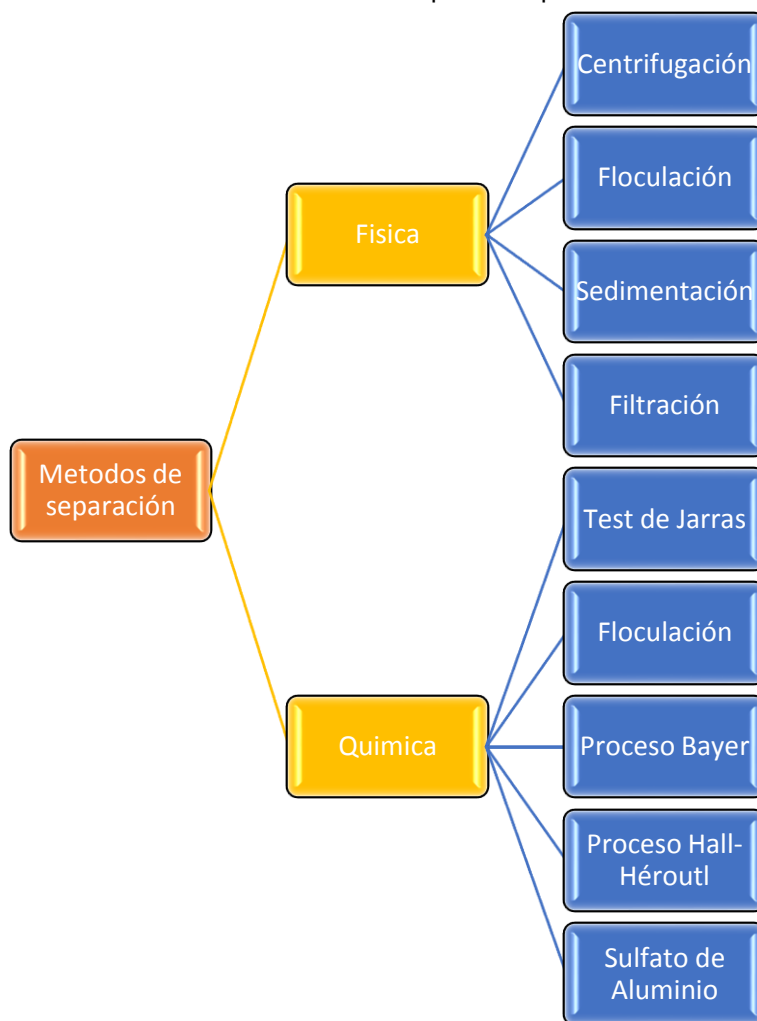
2.3.3 Método directo de la llama del óxido nitroso-acetileno. Para conocer el contenido de Aluminio Total en el agua a estudio, se debe realizar un pre tratamiento a la muestra, el cual es hacer una digestión en un Horno Microondas, las microondas se definen como ondas con rango determinado entre los 300MHz y los 300GHz, que elevan la temperatura de las muestras contenidas con ácido Nítrico y/o ácido clorhídrico, el cual concentra la muestra y elimina interferencias en la muestra para su posterior análisis. La técnica usada fue la absorción atómica - llama aire acetileno la cual es la cuantificación de minerales y metales pesados en materias primas o aguas por Espectrofotometría, donde se pasa la muestra por el un equipo el cual genera una llama la cual genera un rango de luz visible que es detectado por el rayo espectrofotométrico y cuantifica la cantidad de Aluminio total contenido en el agua, esto se compara con una lámpara de una concentración conocida de aluminio para conocer su concentración exacta.

### 3. EVALUACION DE LA RECUPERACION DEL ALUMINIO PG A NIVEL LABORATORIO

En este capítulo se hará un reconocimiento de los métodos de estudio para la separación del aluminio, haciendo un barrido completo por una serie de métodos físicos y químicos de separación de aluminio, conociendo sus procedimientos, materias primas e insumos para la su funcionamiento, así como los resultados obtenidos para cada una de ellas, seleccionando el método para la recuperación y aprovechamiento del Aluminio PG, teniendo en cuenta la caracterización (ver capítulo 2) ya realizada de la muestra, conociendo la cantidad de aluminio presente que se puede recuperar y los procesos viables a realizar dicha recuperación.

#### 3.1 METODOS DE SEPARACION DE ALUMINIO

Ilustración 10 Métodos de separación para el aluminio PG.



3.1.1 Separación física. Se menciona algunos procesos de separación física, que son convenientes para tratar los vertimientos y conseguir la mayor cantidad de aluminio posible.

3.1.1.1 Centrifugación. Se usó para separar las partículas suspendidas, sólidos disueltos, partículas en disolución. La centrifugación se hizo a diferentes velocidades de sedimentación, una centrifugación diferencial en la cual se obtuvieron sólidos sobrenadantes y lodos sedimentados.

Los sólidos sobrenadantes son partículas sólidas de aluminio PG de mayor tamaño, los cuales se retiran de manera artesanal con sacos de recolección de sólidos, los lodos sedimentados son separados al momento que la piscina de recolección tiene un volumen muy bajo de agua, estos son igualmente retirados de manera manual y almacenados en sacos de recolección, una parte de estos se usan en un proyecto interno de la empresa como fertilizantes para plantas y lo restante pasa a disposición de un tercero para su uso final.

3.1.1.2 Sedimentación. Las partículas suspendidas que quedaron de la centrifugación son agitadas a una velocidad constante para que las partículas de menor tamaño o suspendido se sedimenten. La velocidad depende del tamaño y características de cada partícula, se sabe que al momento de la sedimentación se van a ir aglomerando las partículas más pequeñas para hacer más fácil la sedimentación, estas partículas se sedimentan en diferentes formas, dependiendo de la forma, en caída libre, por el peso de la aglomeración y tamaño.

3.1.1.3 Filtración. Se realizó en dos pasos, uno para sólidos en suspensión y otro para sólidos de menor tamaño, primero por un medio filtrante poroso el cual recolecta las partículas en suspensión que no fueron sedimentadas (ver figura 14), con el fin de retener la mayor cantidad de impurezas y fuera más limpia el agua. Los sólidos de menor tamaño se pasan por un filtro de tamaño de poro de  $5\mu\text{m}$ , el cual retuvo estas partículas (ver figura 15), pues son de tamaño más pequeño o difíciles de retirar de la muestra de agua.

Los filtros usados fueron hidrófobos, en los cuales se pueden filtrar aguas con residuos industriales de menor tamaño y diferente composición química, ayudando así a la eliminación de color, turbidez y sedimentos que puedan generar interferencias al momento de usarla para procesos siguientes.

### 3.1.2 Separación química

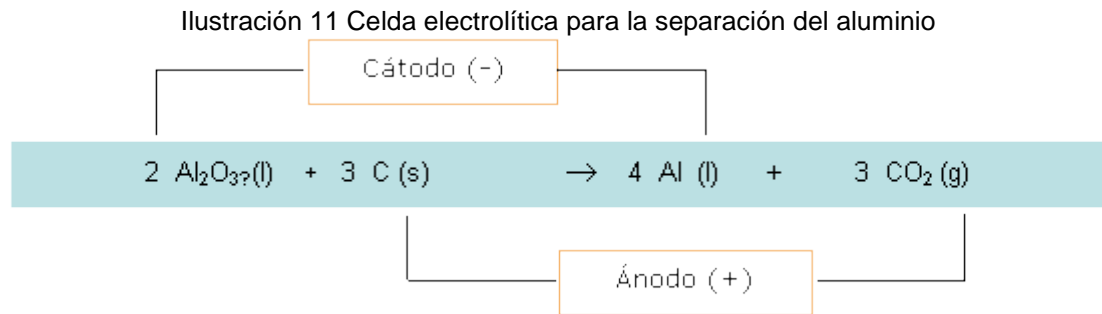
3.1.2.1 Proceso Bayer: purificación de bauxita, obtención de alúmina. El mineral bauxita se muele y se trata con cal ( $\text{CaO}$ ) en caliente. Por precipitación, se separa el material más grueso (arena). Se enfría la mezcla y precipita un sólido. Este se lava con agua. Luego se calcina (tratamiento a alta temperatura) y se obtiene finalmente la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

3.1.2.2 Proceso Hall-Héroult: electrólisis de la alúmina para obtener aluminio. La clave para obtener aluminio consiste en reducir el catión  $\text{Al}^{3+}$  para formar  $\text{Al}^0$ . El pasaje de corriente eléctrica a través de la celda de reacción (celda electrolítica) permite hacer esta transformación.

Los iones no pueden moverse libremente transportando carga eléctrica cuando están formando parte de la red cristalina. En cambio, sí pueden hacerlo en estado fundido.

La temperatura de fusión de la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) es superior a los  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ . El costo en energía y construcción de un reactor que opere a tan alta temperatura es muy elevado. Sin embargo, una mezcla de alúmina y criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) funde a  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , aproximadamente. La criolita entonces actúa como fundente.

En la celda electrolítica tiene lugar la siguiente reacción:



El carbono es el material que constituye el ánodo (electrodo positivo de la celda), y dado que se forma  $\text{CO}_2(\text{g})$ , este se va consumiendo, es decir, que las barras de carbono son un insumo en la producción del aluminio.

3.1.2.3 Prueba de jarras. Se usó para determinar la dosificación de químico que toca agregarle al agua para su proceso de coagulación, filtración y sedimentación, esto se hizo a nivel laboratorio, verificando cual es el contenido de ácido que se le debe agregar al agua residual para su transformación en sulfato de aluminio así como los factores químicos y físicos para obtener un mejor resultados, estos factores fueron:

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

De este tratamiento se obtuvieron resultados muy variables, debido a que la cantidad de ácido, la velocidad de sedimentación, la concentración del ácido usado,



la temperatura de cada una de las pruebas, todo esto debido a, al momento de cambiar o modificar las pruebas, estas arrojan unos resultados muy variados, disminuyendo la cantidad de floc generados al momento de agregarle la sustancia química, a mayor concentración de ácido es menor la cantidad de floc generado, por esta razón podemos concluir que el ácido, en este caso la sustancia química generadora de sulfatos, aumenta la concentración del mismo a mayor concentración de ácido, dándonos a conocer que para obtener un mejor resultados para el manejo de las aguas residuales es mejor utilizar concentraciones bajas de ácido sulfúrico.

La prueba de jarras es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. Se conoció la generación de floc al momento de realizar el test de jarras, para la eliminación de sustancias que estén contenidas en el agua, esto se hace con el fin de mejorar el proceso de recuperación del agua y del aluminio a un menor costo, se hace el estudio con sulfato de aluminio como agente coagulante para mejorar el proceso y disminuir costos en la planta de tratamiento de FEXAR

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Poli electrolitos (Como ayudantes de floculación).

### 3.2 EVALUACION EN EL LABORATORIO

En las pruebas de laboratorio, se lleva la muestra tomada directamente del primer tanque de recolección, en el cual llegan las aguas provenientes de todos los talleres de hidrogeles y tellex de FEXAR, aquí se evalúa el contenido de aluminio, nitritos, nitratos y sulfatos de las aguas, para obtener mejores resultados en el tratamiento de la muestra y en el análisis de la misma se debe conocer el contenido de estos. Se usan pruebas de laboratorio para el análisis de aguas residuales y potables contenidos en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Ed 22" para cada uno de los analitos a estudiar.

Se realizaron las pruebas en diferentes tiempos de envase y recolección, debido a que la muestra recolectada fue puntual, el día 25 de abril de 2016 a las 10.30 am<sup>2</sup>, se hizo el análisis de los parámetros necesarios para conocer el contenido de

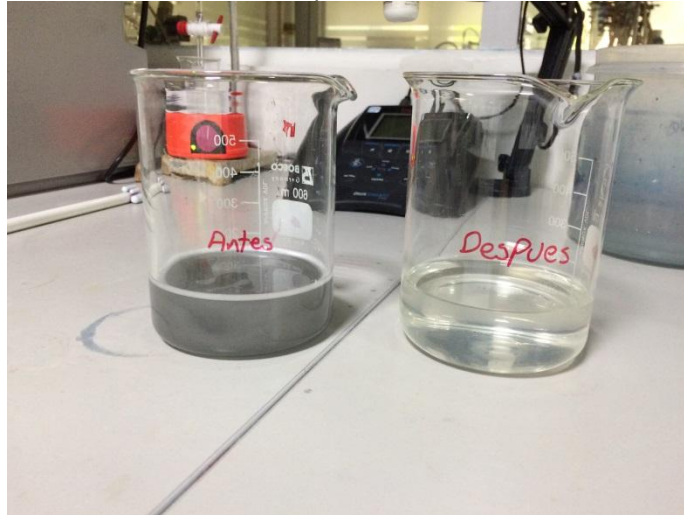
---

<sup>2</sup> Esta hora del muestreo puntual fue escogida por la empresa y obedece a cuestiones netamente restrictivos.

nitritos, nitratos y aluminio en la muestra, no se realizó una caracterización completa de la muestra debido a que por políticas de la empresa, no se pudo realizar un muestreo compuesto en la PTAR de indumil FEXAR.

Como se muestra en la ilustración 12 el primer paso para realizar las pruebas de laboratorio es la filtración del agua residual, debido a que la cantidad de sólidos y color que presenta la muestra es una de las mayores interferencias para el análisis.

Ilustración 12 Preparación de la muestra.



El contenido de nitritos y nitratos se usa una técnica espectrofotométrica, que cuantifica la cantidad de nitritos o nitratos contenidos en las aguas (ver anexo A). Para este análisis se debe hacer un pre tratamiento de la muestra, el cual conlleva a retirar todas las partículas sólidas contenidas, como sólidos suspendidos o volátiles, el agua se pasa por un filtro de nitro celulosa de  $0,45 \mu\text{m}$ , el cual contiene todas estas partículas y disminuye las interferencias provenientes del color turbio o las mismas partículas sólidas.

En las ilustraciones 13 y 14 se muestra el proceso de filtración de la muestra para su posterior análisis y como primer paso de separación física que se usó en la caracterización. Para obtener mejores resultados, se filtra la muestra en 5 beaker's cada uno con 10, 20, 30, 40 y 50mL respectivamente, esto con el fin de saber la cantidad de sólidos retenidos y la cantidad de analitos presentes en el agua.

Ilustración 13 Filtración de la muestra por filtro de nitro celulosa.



Para conocer la concentración de Nitritos, se usa una porción de la muestra que contenga 100mL, se adiciona una solución conocida como reactivo de color, que contiene ácido Orto-fosfórico y Sulfanilamida, los cuales tienen una reacción con la muestra generando un color magenta, que al pasarlo por el equipo espectrofotométrico a una longitud de onda de 540nm de absorbancia, nos va a indicar cuál es la concentración de nitrito contenida en el agua a estudio, comparando contra una curva de calibración de unas concentraciones conocidos del analito.

Para determinar la cantidad de Nitratos se usa una porción de agua que contenga 100mL, previamente pre tratado, se adiciona 1mL de ácido Clorhídrico y se deja reaccionar por 10 minutos, transcurrido el tiempo se lleva al equipo espectrofotométrico, y le lee la absorbancia por rango ultravioleta, a 220nm y 275nm, esto con el fin de eliminar cualquier tipo de interferencia que aun contenga la muestra, 220nm es la absorbancia a la concentración y 275nm es la absorbancia total, las cuales se restan y da la absorción real de la muestra, esto se compara con una curva de calibración de concentración conocida del analito y se conoce el contenido de nitratos en mg/L de la muestra.

Ilustración 14 Filtros después de la primera separación por gravedad.



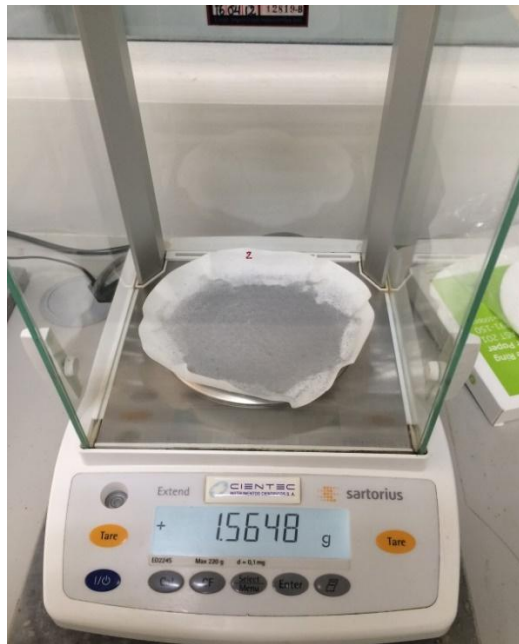
En la tabla 3 se observa la cantidad de aluminio sólido presente en el agua, se realizaron pruebas de filtración en un filtro de doble anillo con tamaño de poro de  $102\mu\text{m}$ , por cada 100mL de muestra se obtuvo el siguiente peso:

Tabla 3 Peso del aluminio filtrado.

<b>Muestra</b>	<b>g</b>
<b>1</b>	0.4749
<b>2</b>	0.4887
<b>3</b>	0.4773
<b>4</b>	0.4202

Como primera parte de la separación física se hace la filtración para saber la cantidad de aluminio sólido presente en las aguas, como se menciona anteriormente se usa un filtro de doble anillo con tamaño de poro de  $102\mu\text{m}$ , en el cual se ve una cantidad significativa de retención, como lo muestra la ilustración 15.

Ilustración 15 Peso del aluminio sólido filtrado.

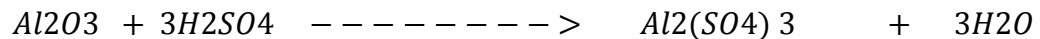


Para conocer el contenido de sulfatos que se encuentran en la muestra de agua, se usa una técnica fotométrica, turbidimétrica a  $420\text{nm}$  de longitud de onda, de esta se toma una porción de muestra de 100mL o una porción diluida que contenga una concentración menor a  $1000\text{mg/L}$  de  $\text{SO}_4$ , a este se le agregan 20mL de solución

buffer, la cual contiene ácido acético, nitrato de potasio, acetato de sodio y cloruro de magnesio, esto se deja en agitación magnética por 1 minuto, para que el buffer se mezcle apropiadamente con la muestra, después de esto se pasa por la lectura del turbidímetro, se toma la lectura de la turbiedad al cabo de 1 minuto, se devuelve el contenido de la lectura al beaker y se adicionan 0,1g aproximadamente de cloruro de bario y se deja en agitación magnética por 5 minutos, al cabo de esto se toma nuevamente la lectura de la turbiedad en un minuto. Para conocer la concentración real de  $SO_4$  se resta la turbiedad final menos la turbiedad inicial, esto se compara contra una curva de calibración de concentración conocida.

Para la muestra de FEXAR proveniente de la PTAR, se le realizaron cada uno de estos procedimientos, obteniendo los resultados (ver anexo A).

El sulfato de aluminio se obtiene al reaccionar un mineral alumínico con ácido sulfúrico a temperaturas elevadas; la reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Esta reacción genera una cantidad de energía la cual se usa para su misma producción, obteniendo así el Sulfato de Aluminio líquido o sólido, los cuales son estándares y libres de metales como el hierro.

Al tener el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), de las piscinas de la planta de tratamiento de aguas, se dispone a un tanque en el cual se va a hacer la mezcla con el Ácido Sulfúrico  $H_2SO_4$ , este se agrega a diferentes normalidades de  $H_2SO_4$ , iniciando con ácido concentrado (18N) hasta una concentración de 1N como se muestra en la ilustración 16, debido a que en los anteriores tanques de acopio de aguas de cada uno de los talleres, se le agrega una pequeña cantidad de sulfato de aluminio para que este pueda ayudar a sedimentar la cantidad de aluminio PG proveniente de estos.

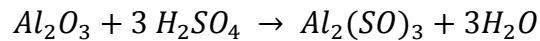
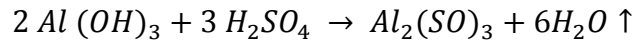
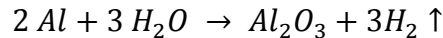
Ilustración 16 Pruebas a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico



Para el análisis correspondiente a Sulfatos, se realizaron varias pruebas de laboratorio en circunstancias diferentes, día, hora y condiciones ambientales.

Debido a esto, fue necesario realizarlas a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico para relacionar las características de la muestra tomada.

Se balancea la ecuación a continuación:



Esto se usa para conocer el reactivo limitante y el reactivo en exceso proveniente de las aguas residuales, sabiendo esto, encontramos que el reactivo en exceso es el ácido sulfúrico, razón por la cual se necesita conocer que concentración de ácido es apropiada para obtención del sulfato.

Para saber analíticamente cual es el reactivo en exceso y limitante, se hace el análisis de sulfatos para cada una de las concentraciones ya mencionadas como se ve en la ilustración 17, viendo aquí la turbiedad de cada una y así mismo se puede observar cual contiene mayor cantidad de sulfatos.

Ilustración 17 Muestras en tratamiento, adicionado el Cloruro de Bario



La normalidad del ácido es de 1N, para que la ecuación sea balanceada y el reactivo limitante que es el aluminio se transforme totalmente en sulfato y en la liberación de energía como agua. Aquí se muestra la cantidad de sulfato generado dependiendo de la concentración del ácido, siendo así la de 1N con la mayor eficiencia en generar el sulfato y no dejar reactivo en exceso.

Para esto se usaron diferentes concentraciones de ácido como prueba inicial para conocer cuál es la concentración ideal para el ensayo, se usó ácido al 97% de pureza, 18N, 12N, 6N y 1N, en la tabla 4 se muestra cuáles fueron los resultados obtenidos de estas pruebas.

Con estos resultados obtenidos, se evidencia que para las pruebas experimentales se deben hacer con una Normalidad de 1, debido a que a concentraciones mayores las pruebas salen del rango de lectura de sulfatos, se evidencia que el reactivo en exceso supera los límites puestos para la técnica de determinación de sulfatos.

Tabla 4 Pruebas de sulfatos a diferentes concentraciones.

<b>Concentración ácido</b>	<b>SO<sub>4</sub> mg/L</b>
<b>97%</b>	443
<b>97%</b>	436
<b>18N</b>	325
<b>18N</b>	329
<b>12N</b>	301
<b>12N</b>	298
<b>6N</b>	231
<b>6N</b>	229
<b>1N</b>	148
<b>1N</b>	151

Para la concentración de 1N, los valores obtenidos son las constantes y muestran la generación apropiada de sulfato de aluminio en el agua residual usada, por esta razón se empieza la experimentación con 1N, y se evalúa la concentración de sulfato obtenida y se determina que la mejor manera de generar el sulfato de aluminio con el agua residual proveniente de la planta es la tabla 5.

Tabla 5 Pruebas de sulfatos con Ácido 1N.

<b>Cantidad de Sulfato en muestra</b>	<b>Alícuota 100mL</b>
<b>Concentración Ácido Sulfúrico 1N</b>	
<b>Prueba</b>	<b>SO<sub>4</sub>mg/L</b>
<b>1</b>	<b>155</b>
<b>2</b>	<b>134</b>
<b>3</b>	<b>146</b>
<b>4</b>	<b>158</b>
<b>5</b>	<b>143</b>
<b>6</b>	<b>158</b>
<b>7</b>	<b>145</b>

Al realizar las pruebas de laboratorio con concentraciones menores a 1N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tales como 0,5N y 0,2N, se evidencio que los resultados obtenidos no son cuantificables por el método turbidimetrico, esto por la baja turbidez desarrollada en las pruebas, al no conocer la cantidad de sulfato de las muestras, estos datos no son tenidos en cuenta para la su análisis.

Se realizó un análisis de cajas y bigotes para relacionar los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, obtención de sulfato de aluminio contenido en la muestra de agua proveniente de FEXAR, después de hacer las pruebas experimentales con el ácido sulfúrico 1N.

Primero se seleccionan los datos obtenidos en la tabla 6, sacamos los valores y los anchos para realizar el análisis como se ve en la tabla 7, obteniendo los valores de máximo, mínimo, cuartil 1, cuartil 2 y cuartil 3.

Tabla 6 Cálculos cajas y bigotes.

	<b>Valores</b>	<b>Ancho</b>
<b>Mínimo</b>	134	134
<b>Q1</b>	143	9
<b>Q2</b>	146	3
<b>Q3</b>	156.5	10.5
<b>Máximo</b>	158	1.5

Para calcular dichos valores es necesario seguir los siguientes pasos:

- Q1 – Cuartil 1, la mediana de la mitad menor de los datos.
- Q2 – Cuartil 2, la mediana de todos los datos.
- Q3 – Cuartil 3, la mediana de la mitad mayor de los datos.
- IQR – Rango intercuartil, la diferencia entre Q3 y Q1.
- Valores extremos – Los valores más pequeños y los más grandes de los datos.

En la tabla 7 se calcula el rango intercuartil y los valores extremos.

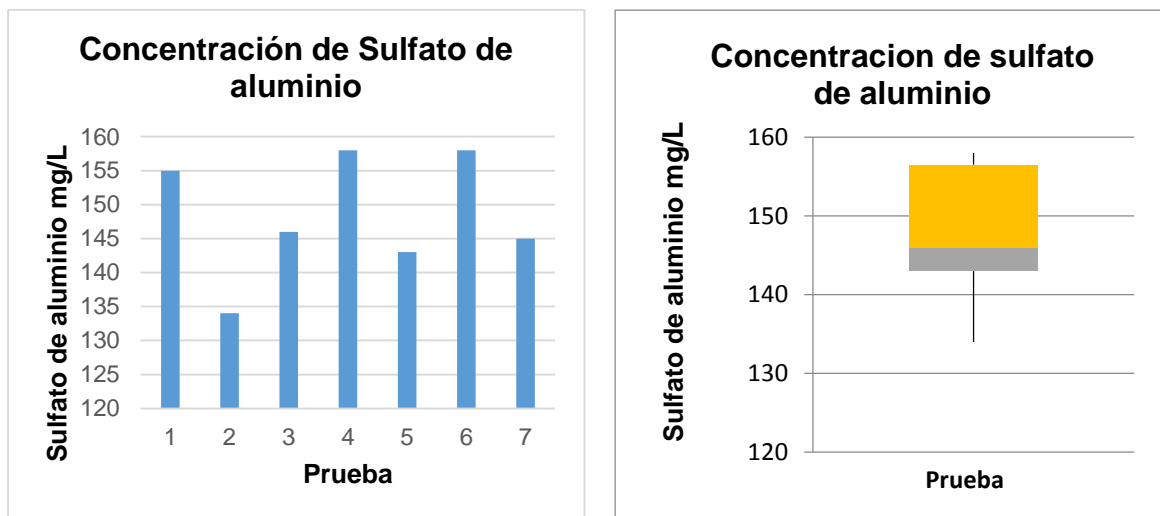
Tabla 7 Rango intercuartil y valores extremos.

<b>IQR</b>	<b>13.5</b>
<b>Min</b>	122.75
<b>Max</b>	176.75



En la ilustración 18 se observan los resultados obtenidos del análisis de contenido de sulfatos, tomando diferentes muestras a las cuales se les realiza una única lectura (figura 18, izquierda). Para observar el comportamiento se elaboró una gráfica de cajas y bigotes (figura 18, derecha), mostrando que todos los datos obtenidos se encuentran en la caja y no se obtiene ningún valor atípico, se puede evidenciar que los datos se mantienen en el rango de concentración de 140 y 155 mg/L de sulfato de aluminio, la mayoría de los datos están en la caja mayor por encima de la media, afirmando de esta manera con el análisis de cajas y bigotes, que para una concentración de 1N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se obtienen concentraciones de sulfato de aluminio cercanas, esto como resultado de manera experimental en el laboratorio.

Ilustración 18 Concentración en función del número de ensayos (izquierda) y Gráfico de cajas y bigotes (derecha) para las concentraciones de las pruebas de sulfatos



Se usó una alícuota de 100 mL, ya que esta es representativa de la cantidad de Sulfato que contiene el efluente en un litro de agua residual, estos resultados del contenido de sulfato se realizaron en un laboratorio de servicios especializado en el análisis de aguas residuales y potables.

En las ilustraciones 19, 20 y 21 muestran el resultado visual de los sulfatos, que a diferente cantidad la muestra, por su reacción con el cloruro de bario, se torna más turbia por la cantidad de sulfatos contenidos. Esta concentración se interpola en una serie de estándares de turbiedad conocidos, para saber la concentración real, cabe aclarar que los estándares tienen un límite de cuantificación.

Ilustración 19 Muestras después de la lectura de Sulfatos



De igual manera se comparó con otras concentraciones de ácido, pero esto se evidencia que el reactivo en exceso, queda como sobrenadante y dificulta la cuantificación de sulfato en estas, razón por la cual se utilizó una concentración menor para cuantificar y mejorar la producción del sulfato y disminuir el costo del ácido.

Ilustración 20 Muestras después de la lectura de Sulfatos



Ilustración 21 Muestras después de la lectura de Sulfatos



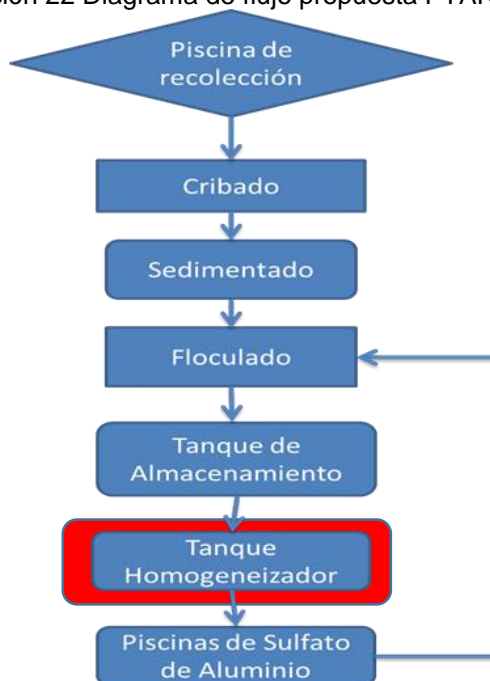
#### 4. PROPUESTA DEL PROCESO DE RECUPERACION DE ALUMINIO PG

En este capítulo se describe el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua y el diseño del proceso de homogenización, con el fin de conocer las características, costos y métodos de trabajo para la producción de sulfato de aluminio y su aprovechamiento en el tratamiento.

##### 4.1 ESPECIFICACIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

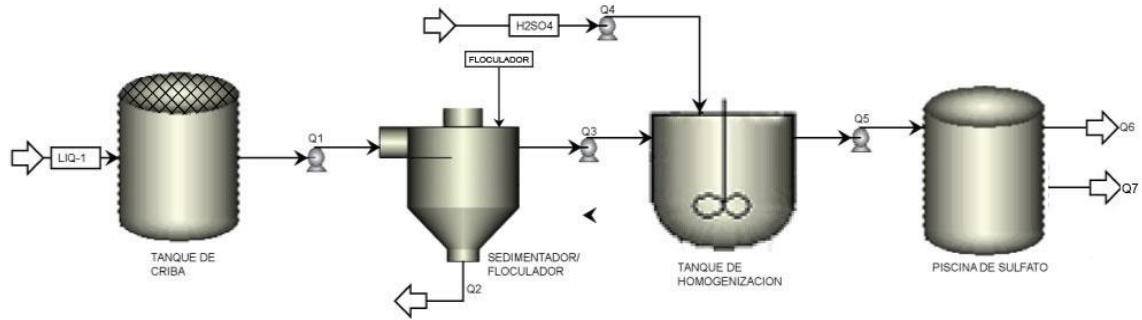
En la PTAR de FEXAR Indumil, las aguas residuales provenientes de los talleres de *tellex* e *Hidrogel* llegan a la primera piscina de recolección, la cual tiene incorporada la etapa de cribado, después de esto, las aguas llegan al proceso de sedimentación y floculación, equipo que ya se encuentra en la PTAR, aquí se retiran los sólidos generados en la sedimentación y floculación, después llegan a un tanque de almacenamiento para así retirar los sólidos sobrenadantes que todavía existen en las aguas, las aguas llegarán al tanque de homogenización, marcado en rojo en el diagrama de flujo, el cual se añadirá a la PTAR con el fin de aprovechar algunos de los residuos de esta, finalmente estas aguas llegan a unas piscinas para su posterior desecho, piscinas con las cuales ya cuenta la PTAR.

Ilustración 22 Diagrama de flujo propuesta PTAR



En la ilustración 23 se muestra el diagrama PFD preliminar de la planta de tratamiento con los equipos existentes sumando el tanque de homogenización para el proceso de sulfato de aluminio.

Ilustración 23 Diagrama PFD propuesto para la PTAR.

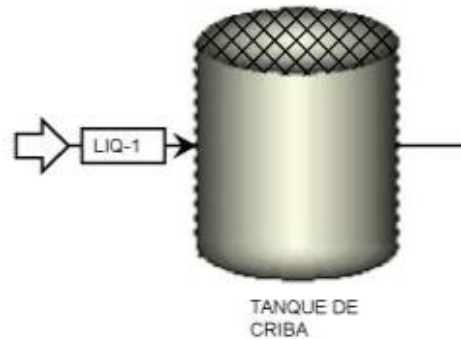


Se inicia con la recolección de las aguas provenientes de todos los talleres de la planta de explosivos FEXAR, las cuales son del lavado, producción y post-producción de los talleres tellex e hidrogeles, con un caudal de 7,16m<sup>3</sup>/día.

#### 4.2 ETAPA DE CRIBADO

Estas aguas tienen una característica que es el alto contenido de aluminio PG sólido (ver tabla 3), el cual se encuentra en la parte superior de los afluentes, al llegar al primer tanque de criba en donde se mezclan las aguas de los talleres de producción, se inicia el proceso de tratamiento al pasarla por una criba de 1 cm de tamaño de malla, con el fin de retirar la mayor cantidad de solidos grandes como primer proceso de separación del aluminio. Esta criba está hecha en acero inoxidable 321 AISI, esto para evitar que se corroa y pierda su tamaño, si esto ocurre, se puede ver afectada el agua que pasa por está aumentando el contenido de metales y generando otros elementos que no son fáciles de retirar. Esta criba tiene unas dimensiones de 1 metro de largo, 1 metro de ancho y 60 cm de grosor, la cual encaja perfectamente en el la parte superior de la piscina de almacenamiento de este proceso. Los costos de mantenimiento de esta criba están en 650.000 pesos, llevando a cabo el lavado de la misma 1 vez por semana, para remover la cantidad de solidos remanentes que quedan y asegurar la funcionalidad de la misma. Esta criba se encuentra al inicio de la planta de tratamiento de aguas ya existente en FEXAR como se puede ver en la ilustración 24.

Ilustración 24 Etapa de cribado.



$$LIQ - 1 = Q_1$$

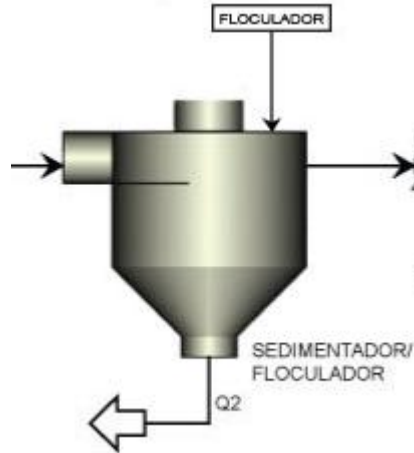
$$Q_1 = 7,16 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### 4.3 SEDIMENTACIÓN Y FLOCULACIÓN

El siguiente proceso es la sedimentación y floculación, pasó en el cual se recoge el agua que sale de la etapa de cribado y se almacena en el tanque circular de sedimentación, en el cual el caudal proveniente del proceso de cribado es de  $7,16\text{m}^3/\text{día}$ , esto debido a que las partículas que se separan en el proceso de cribado son despreciables para disminuir el caudal. El Sedimentador / Floculador está construido en aleación de acero al carbón, el cual tiene unas medidas de 1 metro de diámetro y 2 metros de alto, una barra de agitación magnética en la mitad del tanque con una velocidad de agitación de 5 rpm. Este equipo ya lo tiene la planta de tratamiento. Para que las partículas logren sedimentarse, se mantiene esta velocidad constante por 2 horas aproximadamente.

La ilustración 25 describe el proceso de sedimentación y floculación que está integrado, en un solo equipo, una corriente de entrada ( $Q_1$ ) proveniente de la etapa de cribado, y dos de salida  $Q_2$  y  $Q_3$  respectivamente, tiene un flujo constante de agente floculante, para garantizar la aglomeración de las partículas formando floculo con ayuda del mezclado físico o con ayuda de un aditivo químico, que en este caso se usa el sulfato de aluminio.

Ilustración 25 Sedimentador / Floculador.



$$Q_2 = 0,08 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2$$

$$Q_3 = 7,08 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### 4.4 DISEÑO DE TANQUE HOMOGENEIZADOR

Las aguas tratadas en los procesos anteriores se les hace un análisis fisicoquímico para conocer las características del agua (ver capítulo 3), esto con el fin de que el agua que llega al tanque homogeneizador no debe contener material particulado, sólidos o sólidos en suspensión, debido a que pueden llegar a afectar el tratamiento final del agua. Entra la corriente ( $Q_3$ ) proveniente del proceso de sedimentación / floculación, adicional a esto, se agrega una corriente de  $H_2SO_4$ ,  $Q_4 = 0,0716 \text{ m}^3/\text{día}$  en una concentración de 1N (ver capítulo 3) con un tiempo de retención en el tanque homogeneizador de 2 horas, agitando a una velocidad constante de 3 rpm que garantiza una reacción homogénea del ácido con el agua a tratar.

$$Q_4 = 0,0716 \text{ m}^3 \text{ de } H_2SO_4$$

Se debe hacer el balance de masa y energía a etapa de homogeneizador de la PTAR, para determinar el caudal saliente a la piscina de almacenamiento. Se va a suponer que es un sistema adiabático, para esto se necesita usar una base de cálculo de un día, usando los siguientes cálculos:

Se debe conocer la masa para la corriente de salida, como ya se conocen los caudales de entrada al tanque homogeneizador, se calcula la masa de salida del mismo:

$$m_5 = (Q_3 * \rho_{H_2O}) + (Q_4 * \rho_{H_2SO_4})$$

Donde  $\rho$  es la densidad y  $m$  la masa, al remplazar la ecuación con los valores conocidos, se obtiene:

$$m_5 = (7,08 \text{ m}^3 * 1 \text{ kg/m}^3) + (0,0716 \text{ m}^3 * 1,8 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_5 = 7,2088 \text{ kg}$$

Conociendo la masa de salida, proponemos un balance de energía para conocer la entalpia de la corriente de salida.

$$H_5 m_5 = H_3 m_3 + H_4 m_4$$

Se conocen los valores de las entalpias de las corrientes de entrada de la teoría, y remplazando se obtiene

$$H_5 m_5 = (-285,84 \text{ kJ} * 7,08 \text{ kg}) + (-814,01 \text{ kJ} * 0,1288 \text{ kg})$$

$$H_5 m_5 = -2128,59 \text{ kJ} * \text{kg}$$

Despejando  $H_5$  se conoce la entalpia de la corriente de salida

$$H_5 = \frac{-2128,59 \text{ kJ} * \text{kg}}{m_5}$$

$$H_5 = \frac{-2128,59 \text{ kJ} * \text{kg}}{7,2088 \text{ kg}}$$

$$H_5 = -295,277 \text{ kJ}$$

Ahora, para calcular la  $m_{Rxn}$ , se usa la siguiente ecuación.

$$H_5 = \Delta H_{\Delta Rxn} * m_{Rxn} + \Delta H_{Sol}$$

Para conocer los valores de  $\Delta H_{\Delta Rxn}$  y  $\Delta H_{Sol}$  se remite a la teoría<sup>3</sup>, donde se toman los valores de las entalpias de reacción como la entalpia de solución respectivamente, con esto se puede calcular  $m_{Rxn}$ , debido a que los valores encontrados en la teoría están en términos de masa.

$$m_{Rxn} = \frac{H_5 - \Delta H_{Sol}}{\Delta H_{\Delta Rxn}}$$

$$m_{Rxn} = \frac{-295,277 \text{ kJ} - 60,652 \text{ kJ}}{-3441 \text{ kJ/kg}}$$

---

<sup>3</sup> VELASQUEZ, Susana; VELEZ, Daniel. DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO A PARTIR DE BAUXITA.



$$m_{Rnx} = 0,1034 \text{ kg}$$

Teniendo la masa de la corriente de salida, se debe calcular el flujo másico que se conoce como el caudal, para esto se usa la siguiente ecuación:

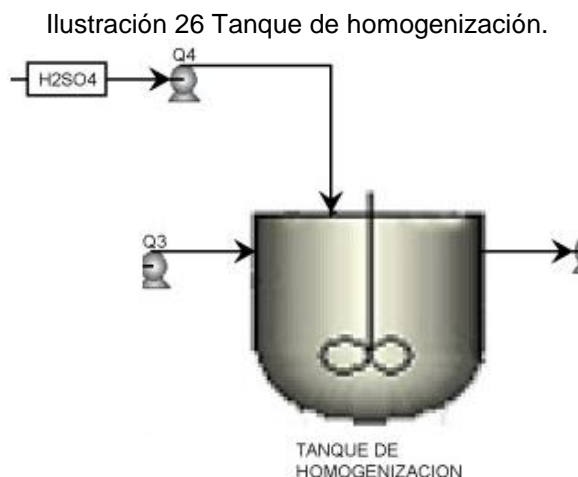
$$Q_5 = \frac{m_5 + m_{Rxn}}{\rho_{\text{Sulfato de aluminio}}}$$

$$Q_5 = \frac{7,2088 \text{ kg} + 0,1034 \text{ kg}}{2,7 \text{ kg}/\text{m}^3}$$

Como se usó una base de cálculo de 1 día, el caudal de salida del tanque homogeneizador es el siguiente

$$Q_5 = 2,7082 \text{ m}^3/\text{día}$$

El tanque homogeneizador, el cual se ve en la ilustración 26, es indispensable que sea en acero inoxidable 321 AISI para evitar corrosión del mismo y afectaciones en el agua con el ácido sulfúrico, las dimensiones de este son 2 metros de largo, 2 metros de alto y 1 metro de ancho, con una varilla agitadora a una velocidad de 3rpm, de esta manera se conseguirá un mejor aprovechamiento del tratamiento y una cantidad necesaria de sulfato de aluminio. El costo aproximado del tanque es de 14.000.000 millones de pesos<sup>4</sup>, con las especificaciones anteriormente mencionadas, volumen de agua a tratar, los materiales en los cuales se debe hacer el equipo, costos de instalación y puesta en marcha.

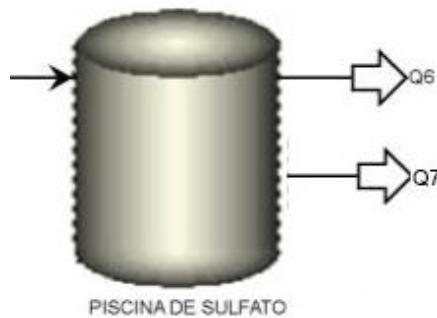


<sup>4</sup> FREIRE, Luis Fernando; VILLACIS, Edmundo, DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA INDUSTRIA CANTONERA

#### 4.5 PISCINA DE ALMACENAMIENTO

En la ilustración 27 se ve la piscina con la que cuenta la planta de tratamiento, esta es adecuada para el almacenamiento del sulfato de aluminio, para su posterior análisis y potencial de aprovechamiento. Las corrientes Q6 y Q7 corresponden a las salidas agua del proceso y de sulfato de aluminio respectivamente; tiene capacidad para almacenar aproximadamente 6 m<sup>3</sup>, lo que implica que su almacenamiento no es por largos períodos de tiempo, con un tiempo de residencia del agua de proceso de 12 horas, para el aprovechamiento del sulfato de aluminio y el desecho de agua residual tratada, la cual no reacciona, por ello es necesario el uso constante de sulfato de aluminio en el proceso de floculación de la PTAR.

Ilustración 27 Piscina de sulfatos.



Para conocer que cantidad de agua se convierte en sulfato de aluminio conocemos de manera experimental (ver capítulo 3) que para una alícuota de 100 mL de agua de solución la recuperación de sulfato es de 150mg/L aproximadamente, se sabe de manera experimental, que para el tratamiento del agua solo reacciona el 0,005% para un caudal de 100 mL.

$$Q_5 = Q_6 + Q_7$$

$$\frac{150mgAl_2(SO_4)_3}{L H_2O sln} = \frac{Q_7}{Q_5}$$

De manera experimental sabemos el valor de  $Q_5 = 100mL H_2O sln$  o  $0,1L H_2O sln$ , con lo que podemos despejar el valor de  $Q_7$ .

$$\frac{150mgAl_2(SO_4)_3}{L H_2O sln} * 0,1L H_2O sln = Q_7$$

$$15mgAl_2(SO_4)_3 = Q_7$$

$$0,015gAl_2(SO_4)_3 = Q_7$$

Q7 se convierte en flujo volumétrico

$$\frac{m}{\rho} = V$$

$$\frac{0,015 \text{ gAl}_2(\text{SO}_4)_3}{\frac{2,67 \text{ gAl}_2(\text{SO}_4)_3}{\text{cm}^3 \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}} = 0,005 \text{ cm}^3 \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$$

Con este valor se puede hacer una relación para conocer el porcentaje

$$Q_5 * \% = Q_7$$

$$100 \text{ cm}^3 * \% = 0,005 \text{ cm}^3$$

$$\% = 0,005$$

Con el porcentaje que se encuentra anteriormente podemos trabajar, el caudal conocido para la entrada de la piscina de sulfatos (Q5) que es el caudal de entrada a la piscina de sulfatos, la reacción se da aproximadamente en un 0,005% del agua a tratar<sup>5</sup>, de esta para generar el sulfato de aluminio (Q7). Así se conoce el caudal de sulfato generado y la cantidad del mismo para su aprovechamiento. Como se conoce la salida del tanque homogeneizador (Q5), de esta manera se calcula la cantidad de agua (Q6) y la cantidad de sulfato de aluminio (Q7).

$$Q_5 = 2,7082 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_7 = Q_5 * 0,005\%$$

$$Q_7 = 2,7082 \text{ m}^3/\text{día} * 0,005\%$$

$$Q_7 = 0,0001354 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_6 = Q_5 - Q_7$$

$$Q_6 = 2,7082 \text{ m}^3/\text{día} - 0,0001354 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_6 = 2,7080 \text{ m}^3/\text{día}$$

---

<sup>5</sup> Nuñez, Juan; Peña, Margareth. Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa de aguas de Cartagena S.A E.S.P y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante.

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero permite determinar la viabilidad de la propuesta, se presenta un análisis, trabajando dos alternativas la actual (SIN PROYECTO) y la implementación del proyecto (CON PROYECTO), relacionados con la adecuación de la planta de tratamiento de aguas residuales existente para la recuperación del aluminio en forma de sulfato en contraste con el proceso actual, evaluando un incremento del IPC proyectado a 5 años, para encontrar un valor presente neto, para la alternativa actual y la alternativa de implementar el proyecto; conociendo un nuevo valor de VPN en relación al ahorro para cada año y se realiza un análisis beneficio- costo teniendo en cuenta estos ahorros que se generarían y el costo de la inversión.

### 5.1 COSTOS GENERALES

Estos costos relacionan el diseño de una planta de recuperación de aluminio por unidad de operación, materias primas e insumos, recargos de operación. Con la cantidad de sulfato de aluminio que se podría recuperar y su valor a la venta.

En el cuadro se muestran los costos que puede acarrear, la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 2. Costos generales de sistema de tratamiento de aguas residuales industriales

Costos	Actividad	
Inversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios preliminares</li> <li>• Diseño</li> <li>• Construcción</li> </ul>	
Funcionamiento	Operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparaciones</li> <li>• Insumos químicos</li> <li>• Energía</li> <li>• Monitoreo del proceso</li> <li>• Mano de obra de operación y mantenimiento</li> </ul>
	Administrativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento de los equipos</li> <li>• Personal administrativos</li> <li>• Gastos generales</li> </ul>

5.1.1 Costos de estudios preliminares y diseño de la planta. Los costos de inversión inicial de los sistemas de tratamiento de aguas residuales están asociados con las inversiones necesarias para la construcción de la infraestructura física de la planta. En este sentido, incluye los costos de diseño, materiales, maquinaria, equipos y mano de obra. En la inversión inicial de una obra de ingeniería es necesario tener en cuenta, aparte de los costos directos de construcción, otros costos que deben ser cuantificados ya que elevan significativamente el monto de la inversión, tales como: estudios de pre inversión (estudios técnicos necesarios para estimar la factibilidad del proyecto y realizar el diseño de las obras requeridas), administración, imprevistos y utilidades.

5.1.2 Costos de funcionamiento. En sistemas de tratamiento de aguas residuales los costos de operación y mantenimiento están principalmente influenciados por los requerimientos de la tecnología. Estos requerimientos son:

- Energía eléctrica
- Insumos químicos
- Control de calidad del agua de proceso
- Mantenimiento y reparación de equipos
- Personal para operación y mantenimiento de las instalaciones
- Gastos de administración

La planta de personal de un sistema de tratamiento de aguas residuales puede estar conformada por los siguiente *staff* (cuadro 3), de acuerdo a las necesidades de cada sistema:

Cuadro 3 Personal necesario para la PTAR

Administración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administrador</li> <li>• Auxiliar de administración</li> </ul>
Labores de operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operador</li> <li>• Auxiliar de operación</li> </ul>
Labores de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnico mecánico</li> <li>• Técnico electricista</li> <li>• Auxiliar de mantenimiento</li> <li>• Celador</li> </ul>
Laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Químico</li> <li>• Técnico de laboratorio</li> </ul>

## 5.2 IDENTIFICACION DE INGRESOS Y EGRESOS

En el cuadro 4 se explican los ítems que se utilizan para cada alternativa tanto egresos como ingresos, después se hace una identificación de los valores que corresponden a cada uno de estos que se observan en la tabla 8 para egresos y tabla 9 para ingresos.

Cuadro 4. Ingresos y egresos para cada alternativa

	CON PROYECTO	SIN PROYECTO
EGRESOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INVERSION INICIAL</li> <li>• OPERACIÓN</li> <li>• INSUMOS (ACIDO SULFURICO, SULFATO DE ALUMINIO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OPERACIÓN</li> <li>• INSUMOS (HIDROXICLORURO DE ALUMINIO)</li> </ul>
INGRESOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AHORRO EN TERCERIZAR LODOS</li> </ul>	

Tabla 8 Valores de egresos para cada alternativa.

EGRESOS	CON PROYECTO	SIN PROYECTO
<b>INVERSION INICIAL \$</b>	25.000.000	0
<b>COSTO DE OPERACION(\$/AÑO)</b>	64.400.000	64.400.000
<b>COSTO DE INSUMOS(\$/AÑO)</b>	2.233.290	4.320.000
<b>COSTO DE TERCERIZAR LOS LODOS (\$/AÑO)</b>	17.000.000	23.000.000

Tabla 9 Valores de ingresos para cada alternativa

INGRESOS	CON PROYECTO	SIN PROYECTO
<b>AHORRO POR TERCERIZAR LO LODOS (\$/AÑO)</b>	6.000.000	0

### 5.2.1 Identificación ingresos y egresos para la alternativa con proyecto

5.2.1.1 Egresos. Son los costos que genera el funcionamiento de la PTAR, además del valor de la inversión que se pretende realizar.

- *Inversión inicial*

Costo del tanque homogeneizador = \$14.000.000<sup>4</sup>

Bomba de suministro de ácido sulfúrico= \$1.625.000<sup>5</sup>

Tuberías y válvulas requeridas=\$3.500.000<sup>5</sup>

Instalación de equipos=\$5.874.000<sup>5</sup>

- *Costos de operación (mensuales)*

- Salarios, se tiene en cuenta el salario completo del operador y su auxiliar, además un porcentaje de salario para los técnicos en mecánica, electricidad y química, ya que estos son trabajos que se requieren por demanda de la PTAR, lo que es igual a \$8.000.000
- Mantenimiento, hace referencia a lavado de equipos y tanques, también contempla reparaciones y repuestos que se puedan necesitar. \$2.500.000.
- Servicios públicos, incluye agua y electricidad necesarios para el funcionamiento de la PTAR, \$3.866.000.

- *Insumos*

- Ácido sulfúrico 1N (ver capítulo 3), se requiere en una cantidad de 71.6L/día (ver capítulo 4, corriente Q<sub>4</sub>), que tiene un valor de 0,2 USD/L<sup>6</sup>, 0.2 USD ≈ \$600, se conoce que el funcionamiento de la plata que es en promedio 1 día por semana que serán aproximadamente 52 días al año.

$$\frac{71,6L}{dia} * 52 dias = 3723,2 L$$

$$3723,2 L * \frac{\$600}{L} = \$2.233.920$$

- Sulfato de aluminio, teniendo en cuenta la cantidad de floculante que se requiere para el funcionamiento de la PTAR que es de 200 Kg/ mes y la cantidad de sulfato que se recupera al implementar la alternativa (ver capítulo 4), Q<sub>7</sub> = 0,0003615 Kg/día. Se conocerá la cantidad de sulfato de aluminio restante que se necesita comprar, con un costo de \$1200/Kg<sup>7</sup>

$$200 Kg - (Q_7 * 4 dias)$$

$$200Kg - (4dias * 0,0003615 Kg/día) = 199,99 Kg de sulfato de aluminio por mes$$

$$199,99 Kg/mes * 12 meses = 2399,98Kg/año$$

$$2094Kg * 1200$/Kg = \$2.880.000$$

---

<sup>6</sup> Precio ácido sulfúrico 1N. (<http://www.quiminet.com/productos/acido-sulfurico-solucion-0-1-n-0-05-mol-l-42803431386/precios.htm>).

<sup>7</sup> Precio sulfato de aluminio, precio hidroxiclورو de aluminio (cotización Distribuidora aliados Ltda.)

- *Costo de Tercerización de lodos.* Es un proceso por el cual se envían los lodos salientes de la PTAR a incineración a cargo de una empresa especializada, este costo es igual a \$17.000.000<sup>5</sup>.

5.2.1.2 Ingresos. Para esta alternativa los ingresos se ven reflejados en el ahorro generado por costos de tercerizar los lodos. Ya que el costo es mayor en la actualidad a causa de la composición que tienen estos, al implementar el proyecto se genera recuperación de aluminio en forma de sulfato lo que reduce el costo del servicio en \$6.000.000.

## 5.2.2 Identificación ingresos y egresos para la alternativa sin proyecto

5.2.2.1 Egresos. Para la alternativa sin proyecto se tienen en cuenta los gastos actuales suministrados por parte de la empresa que son:

- *Costos de operación (mensuales).* Los costos de operación son iguales a los de la alternativa con proyecto, porque el funcionamiento no varía de la que se realiza actualmente.
- *Insumos.* Actualmente la empresa utiliza hidroxiclورو de aluminio como floculante en PTAR en cantidad de 200Kg por mes que serán 2400 kg por año. El valor del Hidroxiclورو de aluminio es \$1800/Kg<sup>7</sup>

$$\frac{\$1800}{Kg} * 2400Kg = \$4.320.000$$

- *Costo de Tercerización de lodos.* Actualmente el costo reportado por la empresa para la disposición de estos lodos por la empresa encargada es de \$23.000.000 por año

5.2.2.2 Ingresos. Para la alternativa sin proyecto no se genera ningún ingreso ya que la PTAR no genera un producto que se comercialice.

## 5.3 CÁLCULO DEL IPC (ÍNDICE DEL PRECIO AL CONSUMIDOR)

El índice de precios al consumidor (IPC) mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares, expresado en relación con un período base. La variación porcentual del IPC entre dos periodos de tiempo representa la inflación observada en dicho lapso. El cálculo del IPC para Colombia se hace mensualmente en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

La ilustración 29 muestra los valores del IPC para los años 2013 a 2016, con estos valores se halla una tendencia para poder calcular un valor estimado de IPC para los siguientes 5 años que se ven en la tabla 10, los valores encontrados del IPC



para años futuros se usan para proyectar los valores de los ingresos y egresos para cada año respectivamente.

Ilustración 28 Valor IPC anual para los años anteriores

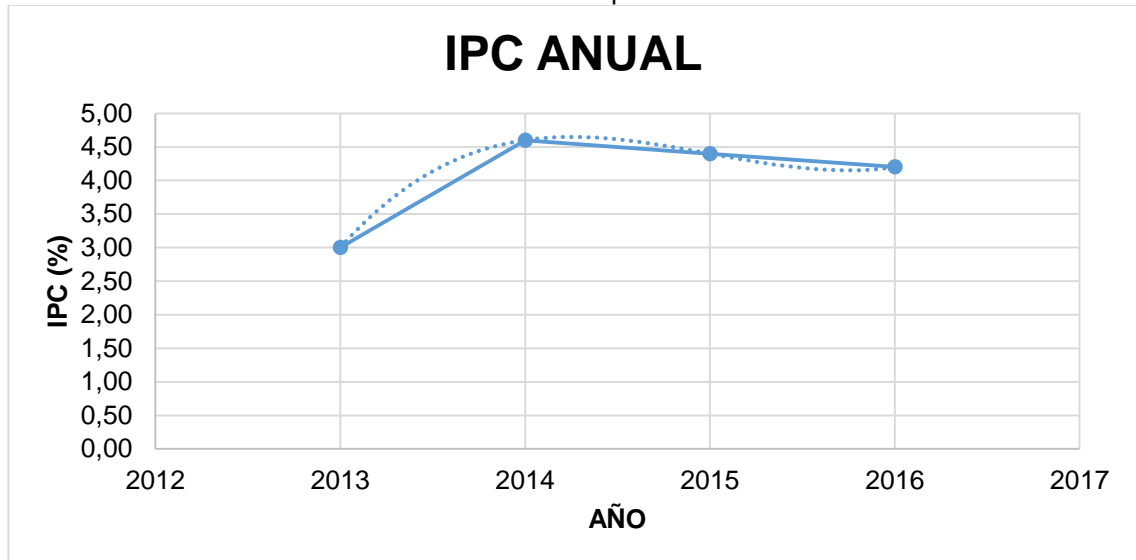


Tabla 10 Valores anuales del IPC

IPC (%)	AÑO
3	2013
4,6	2014
4,4	2015
4,2	2016
4,4	2017
4,6	2018
4,2	2019
4	2020
4,8	2021

#### 5.4 CALCULO DE VALOR PRESENTE NETO (VPN)

El valor presente neto (VPN), se define como la suma de flujos de efectivo individuales tanto entrantes como salientes. Es un método estándar para la consideración del valor temporal del dinero a la hora de evaluar elegir entre diferentes proyectos de inversión disponibles para una empresa a largo plazo.

El VPN de una secuencia de flujos de efectivo toma como datos los flujos de efectivo y una tasa de descuento o curva de los precios. Teniendo en cuenta los

ingresos y egresos se proyectan estos valores para los siguientes cinco años, con una tasa del 16% estimada para proyectos industriales en la empresa Indumil.

Se halla un VPN para la alternativa sin proyecto y con proyecto para luego compararlas.

- *Calculo de VPN para la alternativa sin proyecto*

<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
\$ -	\$ (91,720,000)	\$ (95,755,680)	\$ (100,160,441)	\$ (104,367,180)	\$ (108,541,867 )

**VPN**

**\$ (279,067,974)**

- *Calculo de VPN para la alternativa con proyecto*

<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
\$ <b>(25,000,000)</b>	\$ (86,613,290)	\$ (90,424,275)	\$ (94,583,791)	\$ (98,556,311)	\$ (102,498,563)

**VPN**

**\$ (285,081,983)**

Obteniendo estos valores se puede ver que las dos alternativas arrojan resultados de VPN negativos, por ende no es viable la aplicación de la alternativa con proyecto ya que el ahorro que se puede generar en la tercerización de los lodos en los costos de cada año no compensa el valor de los costos. Se concluye que a pesar del ahorro que se da en la alternativa con proyecto es menos costoso para la empresa operar la planta como funciona en la actualidad.

### 5.5 EVALUACIÓN BENEFICIO-COSTO

El análisis de costo-beneficio es una herramienta financiera importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. Si la relación costo-beneficio es mayor a 1 se justifica la inversión, debe ser mayor o igual a 1 para que sea un proyecto económicamente ventajoso.

- *Beneficio.* Los beneficios son ventajas experimentadas por la empresa en la aplicación de un proyecto, para este caso será el VPN del ahorro que se genera en la alternativa con proyecto por el costo de tercerización de los lodos.

AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
\$ 5,106,710	\$ 5,331,405	\$ 5,576,650	\$ 5,810,869	\$ 6,043,304

**VPN**  
**\$ 18,023,749**

- *Costo.* Los costos pueden ser de; inversión, operación, mantenimiento, para este caso será el valor de la inversión inicial para poner en marcha el proyecto (\$25.000.000,00).
- *Relación costo-beneficio*

$$\frac{B}{C} = \frac{18.035.396}{25.000.000} = 0,72$$

Con este resultado se evidencia que la alternativa no se debe ejecutar, puesto que es desfavorable para la empresa. Para un valor de beneficio-costos menor a 1 la alternativa no es viable puesto que los beneficios no retribuyen los costos de inversión.

## 6. CONCLUSIONES

- La cuantificación de aluminio encontrado en las aguas residuales de las piscinas de acopio de la PTAR de FEXAR, con valor de 13,2 mg/L, contenido actual de las aguas que llegan como vertimientos de los talleres tellex y de Hidrogel.
- Los parámetros para el proceso de recuperación están definidos por las siguientes características, la densidad del aluminio  $2,7 \text{ g/cm}^3$  que es importante para la recuperación de aluminio como sobrenadante de las aguas tratadas, su tamaño de partícula  $2 \mu\text{m}$  que facilita el proceso de filtración y las reacciones que puede realizar con otros elementos y/o compuestos.
- Por medio de filtración se pudo recuperar una cantidad de aluminio de 0,4652g promedio por muestra de 100mL de agua de vertimiento, se descarta el uso de este aluminio por contener impurezas como pentrita y otros residuos de material explosivo.
- El proceso experimental evidencia que al hacer reaccionar el aluminio con ácido sulfúrico en concentración de 1N, mediante un taque homogeneizador se recupera aluminio en forma de sulfato de aluminio en un porcentaje de 0,005%, que puede ser utilizado en la empresa como floculante en la PTAR, que es muy bajo en comparación al porcentaje teórico de 33% de recuperación de sulfatos, por lo que la alternativa es poco viable.
- Con relación al valor estimado en la relación beneficio/costo que es 0,72, no se debe llevar a cabo la propuesta para la recuperación del aluminio por medio de generación de sulfato de aluminio en la PTAR de FEXAR, ya que el tiempo en que la empresa espere recuperar la inversión, supera los 5 años, pues los costos son mayores que los beneficios obtenidos.

## **7. RECOMENDACIONES**

- En cualquier caso es recomendable estudiar más a fondo la implementación del proyecto para que indumil se consolide como una empresa amigable con el ambiente en cumplimiento con sus vertimientos y reciclaje de un producto tan contaminante como el aluminio. Y tratar de reducir algún costo en la disposición.
- Es necesario realizar estudios de contenido de materiales peligrosos en las aguas residuales provenientes de los talleres, debido a que estas pueden contener una alta concentración de estos y afectar de manera directa el medio ambiente o un tratamiento.
- De manera experimental es necesario realizar estudios a fondo de los productos o subproductos que se pueden obtener al usar los residuos provenientes de la PTAR de FEXAR.

## BIBLIOGRAFIA

- Actualizado en 2012. Citado [30 de Octubre de 2016] Disponible en:  
[http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html)
- Actualizado en julio 21 del 2009. Citado [2 de Noviembre de 2016]. Disponible en:  
SANDOVAL YOVAL Luciano; MOTELLANO PALACIOS Leticia; MARTÍN DOMÍNGUEZ Alejandra; SÁNCHEZ GUZMÁN Laura; SANTANA RAMÍREZ Ma. De Lourdes; MORÁN PLATA Mario. TRATABILIDAD DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/mexapa045.pdf>. Consultado 26/04/2015
- Actualizado en junio 29 del 2015. Citado [20 de septiembre de 2015]. Disponible en:  
<https://www.google.com.co/search?q=metodo+de+cribado+ultravioleta+para+determinar+nitratos&oq=metodo+de+cribado+ultravioleta+para+determinar+nitratos&aqs=chrome..69i57.19362j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Actualizado en junio 29 del 2015. Citado [20 de septiembre de 2015]. Disponible en:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitrito+en+agua+por+Espectrofotometr%C3%ADa.pdf/4775634c-c6ba-4c95-8e98-0696ace02c03>
- Actualizado en Septiembre de 2000. Citado [20 de Agosto de 2016]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/260183405\\_RECUPERACION\\_DE\\_SULFATO\\_DE\\_ALUMINIO\\_DE\\_LODOS\\_GENERADOS\\_DURANTE\\_EL\\_PROCESO\\_DE\\_POTABILIZACION\\_DEL\\_AGUA](https://www.researchgate.net/publication/260183405_RECUPERACION_DE_SULFATO_DE_ALUMINIO_DE_LODOS_GENERADOS_DURANTE_EL_PROCESO_DE_POTABILIZACION_DEL_AGUA)
- ARRIETA, Enrique. Manual de evaluación de impactos ambientales de Colombia. MEIACOL. Bogotá D.C: 1997.
- BENITEZ MANRIQUE, Paula; CEPEDA APONTE, Marcela. Desarrollo de una propuesta para el aprovechamiento industrial de los lodos provenientes de la producción de sulfato de aluminio en Productos Químicos Panamericanos S.A. Bogotá, 2010, 176 h. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.
- CANTER, W. Larry. Manual de evaluación de impactos ambientales, técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Madrid: Mc Graw-Hill, cuarta edición 1998.
- CARPIO, Rafael; MARTINEZ, Alexander; RUIZ, Ramiro. Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos provenientes de la planta potabilizadora de agua las Pavas. San Salvador, 2016. 156 h Trabajo de grado (ingeniero Químico) Universidad del Salvador.
- CONDE ESPITIA, Erika María; GALINDO OCHOA, Angie Patricia. Evaluación para la sustitución del Aluminio PG por Aluminio Dedusted usado en el proceso de

producción de explosivos tipo hidrogeles en la planta de Indumil-FEXAR. Bogotá, 150 h. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

DIAZ ALVARADO, Kelly Viviana; DUARTE MEDINA, Sandra Milena. Alternativa de manejo ambiental para los lodos procedentes de la línea de hidrogeles en Fexar "Indumil". Bogotá, 2005, 295 h. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

FREIRE, Luis Fernando; VILLACIS, Edmundo, DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA INDUSTRIA CANTONERA. Edición 1999. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1970/1/3973.pdf>. Citado [20 de Octubre de 2016].

GARCIA PEDROZA, Hugo Ferney; RAPPY MAYORGA, Jaime Oswaldo. Desarrollo de una alternativa para estabilizar el proceso de gelificación del Indugel Plus AP en la empresa Indumil-FEXAR. Bogotá, 167 h. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Sexta actualización. 2008. p. 17.

\_\_\_\_\_. Documentación, presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación NTC 1486. Compendio: Tesis y otros trabajos de grado. Sexta actualización. 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Edición actualizada 1998. p. 2-22.

JIMENEZ GUTIERREZ, Oscar Javier. Desarrollo de una propuesta de ingeniería básica para el aprovechamiento de los lodos producidos en TERMO-PAIPA IV. Bogotá, 131 h. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

LEGORBURU, Víctor; SÁNCHEZ, Luis, EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS INDUSTRIALES. Disponible en: [http://www.concretonline.com/pdf/10\\_perf\\_voladuras/art\\_tec/explosivos01.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/10_perf_voladuras/art_tec/explosivos01.pdf). Citado [10 de Agosto de 2016].

LOPEZ, F.A; MEDINA, J; GUTIERREZ, A; PEÑA, C; LOPEZ-DELGADO, A. Tratamiento del polvo de aluminio mediante disolución acuosa. En: Revista de Metalurgia Madrid. No. 40. (Feb., 2004. P 389-394.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 22, American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF).

VELASQUEZ, Susana; VELEZ, Daniel. DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO A PARTIR DE BAUXITA. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de procesos, Universidad EAFIT. Medellín, 2014.



# **ANEXOS**

## ANEXO A.

### RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA PARA CARACTERIZACION

#### Informe de Ensayo (SN)

Nº Informe: 2594-01



**Cliete:** NICOLAS GARCIA  
**Dirección:** Carrera 13 No. 2 - 78 Sur,  
**Proyecto:** Control muestras de agua residual industrial

**Identificación Cliente:** NICOLAS GARCIA  
**Lugar de Muestreo:** Agua Residual Industrial  
**Dirección:** Sin definir  
**Ciudad/ Región:** SIBATÉ, Cundinamarca  
**Punto de Muestreo:** Entrada PEAR  
**Matriz:** Aguas residuales  
**Término de Muestreo:** 20-02-2016 10:00:00  
**Muestreado por:** Cliente

**Tipo de Muestreo:** Puntual  
**Recepción Laboratorio:** 27-02-2016 13:05:41

Parámetro	Unidades	Resultados	Fecha y Hora Análisis	Ref.Método
Nitrato	mg/L N-NO3	37,2	02-03-16 11:39	SM 4500-NO3 B (2)
Nitrito	mg/L N-NO2	0,03	29-02-16 08:46	SM 4500-NO2 B (2)
Aluminio	mg/L Al	13,6	08-03-16 13:06	SM 3111 D (2)

**Notas**

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition 2012.

La muestra se recibe cerrada y refrigerada, tomada por el cliente. Muestra tomada en recipiente suministrado por el cliente

Milena Gómez  
Jefe de Laboratorio

Marcela Veléz  
Encargada área Físico Químico

Fecha Emisión Informe: 09-03-2016



**Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.**

# ANEXO B

## METODOS DE ANALISIS

### 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> NITROGEN (NITRATE)\*

#### 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> A. Introduction

##### 1. Selection of Method

Determination of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) is difficult because of the relatively complex procedures required, the high probability that interfering constituents will be present, and the limited concentration ranges of the various techniques.

An ultraviolet (UV) technique (Method B) that measures the absorbance of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> at 220 nm is suitable for screening uncontaminated water (low in organic matter).

Screen a sample; if necessary, then select a method suitable for its concentration range and probable interferences. Nitrate may be determined by ion chromatography (Section 4110), capillary ion electrophoresis (Section 4140), or the methods shown here. Applicable ranges are: nitrate electrode method (D), 0.14 to 1400 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L; cadmium reduction method (E), 0.01 to 1.0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L; automated hydrazine reduction method (H),

0.01 to 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L; automated cadmium reduction method (F), 0.1 to 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L; cadmium reduction flow injection method (I), 0.000 25 to 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L; second-derivative ultraviolet spectrophotometric method (C), 0.05 to 2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L. For higher NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentrations, dilute into the range of the selected method.

The colorimetric and UV second-derivative methods require an optically clear sample. Filter turbid sample through 0.45-µm membrane filter. Test filters for nitrate contamination.

##### 2. Storage of Samples

Start NO<sub>3</sub><sup>-</sup> determinations promptly after sampling. If storage is necessary, store for up to 2 d at 4°C; disinfected samples are stable much longer (at least 14 d) without acid preservation.

**NOTE:** If nitrite, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, is present, then acid preservation can cause disproportionation of HNO<sub>2</sub> to NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NO (nitric oxide). NO can be oxidized and hydrolyzed to nitrate. As a result, nitrate values may be the sum of nitrate and nitrite. Therefore, do not acidify samples for nitrate determination.

\* Approved by Standard Methods Committee, 2000. Editorial revisions, 2011.  
Joint Task Group: 21st Edition—(4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)—Thomas R. Hellem (chair), Martin S. Frost, Karla Alicia Johnson, Scott Stieg; 20th Edition (4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)—Scott Stieg (chair), Bradford R. Fisher, Owen D. Mathew, Theresa M. Wright.

#### 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> B. Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method

##### 1. General Discussion

*a. Principle:* Use this technique only for screening samples that have low organic matter contents, i.e., uncontaminated natural waters and potable water supplies. The NO<sub>3</sub><sup>-</sup> calibration curve follows Beer's law up to 11 mg N/L.

Measurement of UV absorption at 220 nm enables rapid determination of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Because dissolved organic matter also may absorb at 220 nm and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> does not absorb at 275 nm, a second measurement made at 275 nm may be used to correct the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> value. The extent of this empirical correction is related to the nature and concentration of organic matter and may vary from one water to another. Consequently, this method is not recommended if a significant correction for organic matter absorbance is required, although it may be useful in monitoring NO<sub>3</sub><sup>-</sup> levels within a water body with a constant type of organic matter. Correction factors for organic matter absorbance can be established by the method of additions in combination with analysis of the original NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content by another method. Sample filtration is intended to remove possible interference from suspended particles. Acidification with 1N HCl is designed to prevent interference from hydroxide or carbonate concentrations up to 1000 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Chloride has no effect on the determination.

*b. Interference:* Dissolved organic matter, surfactants, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, and Cr<sup>6+</sup> interfere. Various inorganic ions not normally found in natural water, such as chlorite and chlorate, may interfere. Inor-

ganic substances can be compensated for by independent analysis of their concentrations and preparation of individual correction curves. For turbid samples, see 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> A.1.

*c. Quality control (QC):* The QC practices considered to be an integral part of each method are summarized in Table 4020:1.

##### 2. Apparatus

*Spectrophotometer,* for use at 220 and 275 nm with matched silica cells of 1-cm or longer light path.

##### 3. Reagents

*a. Nitrate-free water:* Use redistilled or distilled, deionized water of highest purity to prepare all solutions and dilutions.

*b. Stock nitrate solution:* Dry potassium nitrate (KNO<sub>3</sub>) in an oven at 105°C for 24 h. Dissolve 0.7218 g in water and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 100 µg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N. Preserve with 2 mL CHCl<sub>3</sub>/L. This solution is stable for at least 6 months.

*c. Intermediate nitrate solution:* Dilute 100 mL stock nitrate solution to 1000 mL with water; 1.00 mL = 10.0 µg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N. Preserve with 2 mL CHCl<sub>3</sub>/L. This solution is stable for 6 months.

*d. Hydrochloric acid solution, HCl, 1N.*

## NITROGEN (NITRATE) (4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) Second-Derivative Ultraviolet Spectrophotometric Method

### 4. Procedure

a. *Treatment of sample:* To 50 mL clear sample, filtered if necessary, add 1 mL HCl solution and mix thoroughly.

b. *Preparation of standard curve:* Prepare NO<sub>3</sub><sup>-</sup> calibration standards in the range 0 to 7 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L by diluting to 50 mL the following volumes of intermediate nitrate solution: 0, 1.00, 2.00, 4.00, 7.00 . . . 35.0 mL. Treat NO<sub>3</sub><sup>-</sup> standards in same manner as samples.

c. *Spectrophotometric measurement:* Read absorbance or transmittance against redistilled water set at zero absorbance or 100% transmittance. Use a wavelength of 220 nm to obtain NO<sub>3</sub><sup>-</sup> reading and a wavelength of 275 nm to determine interference due to dissolved organic matter.

### 5. Calculation

For samples and standards, subtract two times the absorbance reading at 275 nm from the reading at 220 nm to obtain absor-

bance due to NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Construct a standard curve by plotting absorbance due to NO<sub>3</sub><sup>-</sup> against NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration of standard. Using corrected sample absorbances, obtain sample concentrations directly from standard curve. **NOTE:** If correction value is more than 10% of the reading at 220 nm, do not use this method.

### 6. Bibliography

- HEATHER, R.C. & R.F. RACKMAN. 1959. Oxidized nitrogen and sewage effluents observed by ultraviolet spectrophotometry. *Analyst* 84:549.
- GOLDMAN, E. & R. JACOB. 1961. Determination of nitrates by ultraviolet absorption. *J. Amer. Water Works Assoc.* 53:187.
- ARMSTRONG, F.A.J. 1963. Determination of nitrate in water by ultraviolet spectrophotometry. *Anal. Chem.* 35:1292.
- NAVONI, R. 1964. Proposed method for nitrate in potable waters. *J. Amer. Water Works Assoc.* 56:781.

## 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> C. Second-Derivative Ultraviolet Spectrophotometric Method (PROPOSED)

### 1. General Discussion

a. *Principle:* Even though nitrate strongly absorbs ultraviolet (UV) light, determining nitrate by measuring the absorbance at one wavelength is not feasible because natural organic matter (NOM) and other solutes also absorb UV light. The spectra of NOM from different water sources usually are different, so the UV nitrate screening procedure (4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.B) may not give reliable results. The UV spectrum of nitrate is quite different from that of NOM. In the nitrate spectrum, the absorbance increases rapidly from 230 to 210 nm, whereas in NOM spectra, the absorbance in the same wavelength range increases gradually. Computing the second derivative of a sample spectrum effectively eliminates the background NOM contribution.

b. *Interferences:* The nitrite UV spectrum is similar to that of nitrate. However, nitrite concentrations usually are much lower than nitrate concentrations. Bicarbonate absorbs weakly at wavelengths below 210 nm, but does not affect the second-derivative signal of nitrate. Bromide interferes at seawater concentrations (68 mg Br<sup>-</sup>/L, salinity 35‰) so this method cannot be used to determine nitrate in seawater. Neither Fe nor Cu interferes at 2 mg/L, but both metals seriously interfere at 20 mg/L.<sup>1</sup> The method has been tested only for potable water. Its suitability for nitrate determination in wastewater has not been tested.

c. *Quality control (QC):* The QC practices considered to be an integral part of each method are summarized in Table 4020.1.

### 2. Apparatus

a. *Spectrophotometer,* capable of scanning from 250 to 200 nm. Some spectrophotometers can compute the second derivative of a spectrum. If the spectrophotometer cannot compute second-derivative spectra, then a computer interface is needed.

b. *Cuvettes,* matched 1-cm quartz.

c. *Pipettor,* adjustable 1 to 5 mL. Use a pipettor that clicks into place for volume adjustment, not one with a sliding scale.\*

d. *Cuvette mixer.*†

e. *Computer, cable, and software* for transferring data from the spectrophotometer and computing second-derivative spectra. The cable and software may be available from the spectrophotometer manufacturer. These items are needed only if the spectrophotometer cannot compute second-derivative spectra.

### 3. Reagents

a. *Nitrate stock solution,* 100 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L. Prepare as in 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.B.3b or obtain from a commercial source.

b. *Nitrate-free water,* distilled or deionized. Use to prepare standards and dilute samples if necessary.

### 4. Procedure

a. *Sample treatment:* Filter samples if turbid. Add 1 mL 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> or 2 mL 1M HCl to 100 mL sample, mix thoroughly.

b. *Standards:* Dilute 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 mL nitrate stock solution to 100 mL to prepare standards containing 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 mg N/L.

c. *Measurement:* Pipet 3.0 mL standard or sample into sample cuvette. Discard and pipet another 3.0 mL. Scan from 250 to 200 nm. If absorbance goes off-scale, dilute sample by withdrawing some sample with the macropipet and then pipetting same volume of nitrate-free water into the cuvette. For dilutions of 1:3, 1:5, and 1:10, withdraw 2.0, 2.4, and 2.7 mL. Mix with cuvette mixer. Alternatively, perform dilutions in volumetric glassware. Record any dilution. Compute second-derivative

\* Wheaton pipet sold as Fisher #13-707-61 or VWR #53499-605, or equivalent.

† Bel-Art 157752-0000, or equivalent.

## 4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> NITROGEN (NITRITE)\*

### 4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> A. Introduction

#### 1. Occurrence and Significance

For a discussion of the chemical characteristics, sources, and effects of nitrite nitrogen, see Section 4500-N.

\* Approved by Standard Methods Committee, 2000. Editorial revisions, 2011.

#### 2. Selection of Method

The colorimetric method (B) is suitable for concentrations of 5 to 1000 µg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/mL. (See ¶ B.1a). Nitrite values can be obtained by the automated method given in Section 4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.E with the Cu-Cd reduction step omitted. Additionally, nitrite nitrogen can be determined by ion chromatography (Section 4110), and by flow injection analysis (see Sections 4130 and 4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.J).

### 4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> B. Colorimetric Method

#### 1. General Discussion

*a. Principle:* Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) is determined through formation of a reddish purple azo dye produced at pH 2.0 to 2.5 by coupling diazotized sulfanilamide with *N*-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NED dihydrochloride). The applicable range of the method for spectrophotometric measurements is 10 to 1000 µg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/mL. Photometric measurements can be made in the range 5 to 50 µg N/L if a 5-cm light path and a green color filter are used. The color system obeys Beer's law up to 180 µg N/L with a 1-cm light path at 543 nm. Higher NO<sub>2</sub><sup>-</sup> concentrations can be determined by diluting a sample.

*b. Interferences:* Chemical incompatibility makes it unlikely that NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, free chlorine, and nitrogen trichloride (NCl<sub>3</sub>) will coexist. NCl<sub>3</sub> imparts a false red color when color reagent is added. The following ions interfere because of precipitation under test conditions and should be absent: Sb<sup>3+</sup>, Au<sup>3+</sup>, Bi<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>, chloroplatinate (PtCl<sub>6</sub><sup>2-</sup>), and metavanadate (VO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Cupric ion may cause low results by catalyzing decomposition of the diazonium salt. Colored ions that alter the color system also should be absent. Remove suspended solids by filtration.

*c. Storage of sample:* Never use acid preservation for samples to be analyzed for NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Make the determination promptly on fresh samples to prevent bacterial conversion of NO<sub>2</sub><sup>-</sup> to NO<sub>3</sub><sup>-</sup> or NH<sub>3</sub>. For short-term preservation for 1 to 2 d, freeze at -20°C or store at 4°C.

*d. Quality control (QC):* The QC practices considered to be an integral part of each method are summarized in Table 4020.I.

#### 2. Apparatus

*Colorimetric equipment:* One of the following is required:

*a. Spectrophotometer,* for use at 543 nm, providing a light path of 1 cm or longer.

*b. Filter photometer,* providing a light path of 1 cm or longer and equipped with a green filter having maximum transmittance near 540 nm.

#### 3. Reagents

*a. Nitrite-free water:* If it is not known that the distilled or demineralized water is free from NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, use either of the following procedures to prepare nitrite-free water:

1) Add to 1 L distilled water one small crystal each of KMnO<sub>4</sub> and either Ba(OH)<sub>2</sub> or Ca(OH)<sub>2</sub>. Redistill in an all-borosilicate-glass apparatus and discard the initial 50 mL of distillate. Collect the distillate fraction that is free of permanganate; a red color with DPD reagent (Section 4500-CLF.2b) indicates the presence of permanganate.

2) Add 1 mL conc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 0.2 mL MnSO<sub>4</sub> solution (36.4 g MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O/100 mL distilled water) to each 1 L distilled water, and make pink with 1 to 3 mL KMnO<sub>4</sub> solution (400 mg KMnO<sub>4</sub>/L distilled water). Redistill as described in the preceding paragraph.

Use nitrite-free water in making all reagents and dilutions.

*b. Color reagent:* To 800 mL water add 100 mL 85% phosphoric acid and 10 g sulfanilamide. After dissolving sulfanilamide completely, add 1 g *N*-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride. Mix to dissolve, then dilute to 1 L with water. Solution is stable for about a month when stored in a dark bottle in refrigerator.

*c. Sodium oxalate, 0.025M (0.05N):* Dissolve 3.350 g Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, primary standard grade, in water and dilute to 1000 mL.

*d. Ferrous ammonium sulfate, 0.05M (0.05N):* Dissolve 19.607 g Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O plus 20 mL conc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in water and dilute to 1000 mL. Standardize as in Section 5220B.3d.

*e. Stock nitrite solution:* Commercial reagent-grade NaNO<sub>2</sub> assays at less than 99%. Because NO<sub>2</sub><sup>-</sup> is oxidized readily in the presence of moisture, use a fresh bottle of reagent for preparing

### NITROGEN (NITRITE) (4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) Colorimetric Method

the stock solution and keep bottles tightly stoppered against the free access of air when not in use. To determine NaNO<sub>2</sub> content, add a known excess of standard 0.05N KMnO<sub>4</sub> solution (see ¶ h below), discharge permanganate color with a known quantity of standard reductant such as 0.025M Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> or 0.05M Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, and back-titrate with standard permanganate solution.

1) Preparation of stock solution—Dissolve 1.232 g NaNO<sub>2</sub> in water and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 250 µg N. Preserve with 1 mL CHCl<sub>3</sub>.

2) Standardization of stock nitrite solution—Pipet, in order, 50.00 mL standard 0.05N KMnO<sub>4</sub>, 5 mL conc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and 50.00 mL stock NO<sub>2</sub><sup>-</sup> solution into a glass-stoppered flask or bottle. Submerge pipet tip well below surface of permanganate-acid solution while adding stock NO<sub>2</sub><sup>-</sup> solution. Shake gently and warm to 70 to 80°C on a hot plate. Discharge permanganate color by adding sufficient 10-mL portions of standard 0.025M Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Titrate excess Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> with 0.05N KMnO<sub>4</sub> to the faint pink end point. Carry a water blank through the entire procedure and make the necessary corrections in the final calculation as shown in the equation below.

If standard 0.05M ferrous ammonium sulfate solution is substituted for Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, omit heating and extend reaction period between KMnO<sub>4</sub> and Fe<sup>2+</sup> to 5 min before making final KMnO<sub>4</sub> titration.

Calculate NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N content of stock solution by the following equation:

$$A = \frac{[(B \times C) - (D \times E)] \times 7}{F}$$

where:

- A = mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/mL in stock NaNO<sub>2</sub> solution,
- B = total mL standard KMnO<sub>4</sub> used,
- C = normality of standard KMnO<sub>4</sub>,
- D = total mL standard reductant added,
- E = normality of standard reductant, and
- F = mL stock NaNO<sub>2</sub> solution taken for titration.

Each 1.00 mL 0.05N KMnO<sub>4</sub> consumed by the NaNO<sub>2</sub> solution corresponds to 1725 µg NaNO<sub>2</sub> or 350 µg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N.

f. Intermediate nitrite solution: Calculate the volume, G, of stock NO<sub>2</sub><sup>-</sup> solution required for the intermediate NO<sub>2</sub><sup>-</sup> solution from G = 12.5A. Dilute the volume G (approximately 50 mL) to 250 mL with water; 1.00 mL = 50.0 µg N. Prepare daily.

g. Standard nitrite solution: Dilute 10.00 mL intermediate NO<sub>2</sub><sup>-</sup> solution to 1000 mL with water; 1.00 mL = 0.500 µg N. Prepare daily.

h. Standard potassium permanganate titrant, 0.05N: Dissolve 1.6 g KMnO<sub>4</sub> in 1 L distilled water. Keep in a brown glass-stoppered bottle and age for at least 1 week. Carefully decant or pipet supernate without stirring up any sediment. Standardize this solution frequently by the following procedure:

Weigh to the nearest 0.1 mg several 100- to 200-mg samples of anhydrous Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> into 400-mL beakers. To each beaker, in turn, add 100 mL distilled water and stir to dissolve. Add 10 mL 1 + 1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and heat rapidly to 90 to 95°C. Titrate rapidly with permanganate solution to be standardized, while stirring, to a slight pink end-point color that persists for at least 1 min. Do not

let temperature fall below 85°C. If necessary, warm beaker contents during titration; 100 mg will consume about 6 mL solution. Run a blank on distilled water and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

$$\text{Normality of KMnO}_4 = \frac{\text{g Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{(A - B) \times 0.067}$$

where:

- A = mL titrant for sample and
- B = mL titrant for blank.

Average the results of several titrations.

#### 4. Procedure

a. Removal of suspended solids: If sample contains suspended solids, filter through a 0.45-µm-pore-diam membrane filter.

b. Color development: If sample pH is not between 5 and 9, adjust to that range with 1N HCl or NH<sub>4</sub>OH as required. To 50.0 mL sample, or to a portion diluted to 50.0 mL, add 2 mL color reagent and mix.

c. Photometric measurement: Between 10 min and 2 h after adding color reagent to samples and standards, measure absorbance at 543 nm. As a guide use the following light paths for the indicated NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N concentrations:

Light Path Length cm	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N µg/L
1	2-25
5	2-6
10	<2

#### 5. Calculation

Prepare a standard curve by plotting absorbance of standards against NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N concentration. Compute sample concentration directly from curve.

#### 6. Precision and Bias

In a single laboratory using wastewater samples at concentrations of 0.04, 0.24, 0.55, and 1.04 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L, the standard deviations were ±0.005, ±0.004, ±0.005, and ±0.01, respectively. In a single laboratory using wastewater samples at concentrations of 0.24, 0.55, and 1.05 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L, the recoveries were 100%, 102%, and 100%, respectively.<sup>1</sup>

#### 7. Reference

1. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1979. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Method 353.3. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

#### 8. Bibliography

- BELTZ, D.F., ed. 1958. Colorimetric Determination of Nonmetals. Interscience Publishers, New York, N.Y.
- NEYDAL, F. 1976. On the optimum conditions for the reduction of nitrate by cadmium. *Talanta* 23:349.

To avoid problems associated with instability of extracted metal complexes, determine metals immediately after extraction.

### 5. Calculations

Calculate the concentration of each metal ion in micrograms per liter by referring to the appropriate calibration curve.

### 6. Bibliography

- ALLAN, J.E. 1961. The use of organic solvents in atomic absorption spectrophotometry. *Spectrochim. Acta* 17:467.  
SACHIN, S.L. & P.W. WIST. 1970. Concentration of trace metals by solvent extraction and their determination by atomic absorption spectrophotometry. *Environ. Sci. Technol.* 4:749.

## 3111 D. Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method

### 1. General Discussion

This method is applicable to the determination of aluminum, barium, beryllium, calcium, molybdenum, osmium, rhenium, silicon, thorium, titanium, and vanadium.

### 2. Apparatus

a. *Atomic absorption spectrometer and associated equipment:* See 3111A.6.

b. *Nitrous oxide burner head:* Use special burner head as suggested in manufacturer's manual. At roughly 20-min intervals of operation it may be necessary to dislodge the carbon crust that forms along the slit surface with a carbon rod or appropriate alternative.

c. *T-junction valve* or other switching valve for rapidly changing from nitrous oxide to air, so that flame can be turned on or off with air as oxidant to prevent flashbacks.

### 3. Reagents

- a. *Air:* See 3111B.3a.  
b. *Acetylene:* See 3111B.3b.  
c. *Metal-free water:* See 3111B.3c.  
d. *Hydrochloric acid, HCl, 1N, 1+1, and conc.*  
e. *Nitric acid, HNO<sub>3</sub>, conc.*  
f. *Sulfuric acid, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1% (v/v).*  
g. *Hydrofluoric acid, HF, 1N.*  
h. *Nitrous oxide, commercially available cylinders.* Fit nitrous oxide cylinder with a special nonfreezable regulator or wrap a heating coil around an ordinary regulator to prevent flashback at the burner caused by reduction in nitrous oxide flow through a frozen regulator. (Most modern atomic absorption instruments have automatic gas control systems that will shut down a nitrous oxide-acetylene flame safely in the event of a reduction in nitrous oxide flow rate.)

**CAUTION:** Use nitrous oxide with strict adherence to manufacturer's directions. Improper sequencing of gas flows at startup and shutdown of instrument can produce explosions from flashback.

- i. *Potassium chloride solution:* Dissolve 250 g KCl in water and dilute to 1000 mL.  
j. *Aluminum nitrate solution:* Dissolve 139 g Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O in 150 mL water. Acidify slightly with conc HNO<sub>3</sub> to preclude possible hydrolysis and precipitation. Warm to dissolve completely. Cool and dilute to 200 mL.

k. *Standard metal solutions:* Prepare a series of standard metal solutions in the optimum concentration ranges by appropriate dilution of stock metal solutions with water containing 1.5 mL conc HNO<sub>3</sub>/L. Stock standard solutions are available from a number of commercial suppliers. Alternatively, prepare as described below.

1) *Aluminum:* Dissolve 0.100 g aluminum metal in an acid mixture of 4 mL 1 + 1 HCl and 1 mL conc HNO<sub>3</sub> in a beaker. Warm gently to effect solution. Transfer to a 1-L flask, add 10 mL 1 + 1 HCl, and dilute to 1000 mL with water; 1.00 mL = 100 µg Al.

2) *Barium:* Dissolve 0.1516 g BaCl<sub>2</sub> (dried at 250° for 2 h), in about 10 mL water with 1 mL 1 + 1 HCl. Add 10.0 mL 1 + 1 HCl and dilute to 1000 mL with water; 1.00 mL = 100 µg Ba.

3) *Beryllium:* Do not dry. Dissolve 1.966 g BeSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O in water, add 10.0 mL conc HNO<sub>3</sub>, and dilute to 1000 mL with water; 1.00 mL = 100 µg Be.

4) *Calcium:* See 3111B.3j4).

5) *Molybdenum:* Dissolve 0.2043 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> MoO<sub>4</sub> in water and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 100 µg Mo.

6) *Osmium:* Obtain standard 0.1M osmium tetroxide solution\* and store in glass bottle; 1.00 mL = 19.02 mg Os. Make dilutions daily as needed using 1% (v/v) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. **CAUTION: OsO<sub>4</sub> is extremely toxic and highly volatile.**

7) *Rhenium:* Dissolve 0.1554 g potassium perchlorate, KReO<sub>4</sub>, in 200 mL water. Dilute to 1000 mL with 1% (v/v) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 1.00 mL = 100 µg Re.

8) *Silica:* Do not dry. Dissolve 0.4730 g Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O in water. Add 10.0 mL conc HNO<sub>3</sub> and dilute to 1000 mL with water. 1.00 mL = 100 µg SiO<sub>2</sub>. Store in polyethylene.

9) *Thorium:* Dissolve 0.238 g thorium nitrate, Th(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O in 1000 mL water; 1.00 mL = 100 µg Th.

10) *Titanium:* Dissolve 0.3960 g pure (99.8 or 99.9%) titanium chloride, TiCl<sub>4</sub>† in a mixture of equal volumes of 1N HCl and 1N HF. Make up to 1000 mL with this acid mixture; 1.00 mL = 100 µg Ti.

11) *Vanadium:* Dissolve 0.2297 g ammonium metavanadate, NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>, in a minimum amount of conc HNO<sub>3</sub>. Heat to dissolve. Add 10 mL conc HNO<sub>3</sub>, and dilute to 1000 mL with water; 1.00 mL = 100 µg V.

\* GFS Chemicals, Inc., Columbus, OH, Cat. No. 64, or equivalent.

† Alpha Ventures, P.O. Box 299, 152 Andover St., Danvers, MA 01923, or equivalent.

## 4. Procedure

a. *Sample preparation:* See 3111B.4a.

When determining Al, Ba, or Ti, mix 2 mL KCl solution into 100 mL sample and standards before aspiration. When determining Mo and V, mix 2 mL  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  into 100 mL sample and standards before aspiration.

b. *Instrument operation:* See 3111B.4b. After adjusting wavelength, install a nitrous oxide burner head. Turn on acetylene (without igniting flame) and adjust flow rate to value specified by manufacturer for a nitrous oxide-acetylene flame. Turn off acetylene. With both air and nitrous oxide supplies turned on, set T-junction valve to nitrous oxide and adjust flow rate according to manufacturer's specifications. Turn switching valve to the air position and verify that flow rate is the same. Turn acetylene on and ignite to a bright yellow flame. With a rapid motion, turn switching valve to nitrous oxide. The flame should have a red cone above the burner. If it does not, adjust fuel flow to obtain red cone. After nitrous oxide flame has been ignited, let burner come to thermal equilibrium before beginning analysis.

Aspirate a blank consisting of deionized water containing 1.5 mL conc  $\text{HNO}_3/\text{L}$  and check aspiration rate. Adjust if necessary to a rate between 3 and 5 mL/min. Zero the instrument. Aspirate a standard of the desired metal with a concentration near the midpoint of the optimum concentration range and adjust burner (both horizontally and vertically) in the light path to obtain maximum response. Aspirate blank again and re-zero the instrument. The instrument now is ready to run standards and samples.

To extinguish flame, turn switching valve from nitrous oxide to air and turn off acetylene. This procedure eliminates the danger of

flashback that may occur on direct ignition or shutdown of nitrous oxide and acetylene.

c. *Standardization:* Select at least three concentrations of standard metal solutions (prepared as in 3111D.3k) to bracket the expected metal concentration of a sample. Aspirate each in turn into the flame and record absorbances.

Most modern instruments are equipped with microprocessors and digital readout which permit calibration in direct concentration terms. If instrument is not so equipped, prepare a calibration curve by plotting on linear graph paper absorbance of standards versus concentration. Plot calibration curves for Al, Ba, and Ti based on original concentration of standard before adding KCl solution. Plot calibration curves for Mo and V based on original concentration of standard before adding  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  solution.

d. *Analysis of samples:* Rinse atomizer by aspirating water containing 1.5 mL conc  $\text{HNO}_3/\text{L}$  and zero instrument. Aspirate a sample and determine its absorbance.

## 5. Calculations

Calculate concentration of each metal ion in micrograms per liter by referring to the appropriate calibration curve prepared according to 3111D.4c.

Alternatively, read the concentration directly from the instrument readout if the instrument is so equipped. If sample has been diluted, multiply by the appropriate dilution factor.

## 6. Bibliography

WELLS, J.B. 1965. Nitrous oxide-acetylene flame in atomic absorption spectroscopy. *Nature* 207:715.  
Also see 3111A.8 and 9.

## 3111 E. Extraction/Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method

## 1. General Discussion

a. *Application:* This method is suitable for the determination of aluminum at concentrations less than 900  $\mu\text{g}/\text{L}$  and beryllium at concentrations less than 30  $\mu\text{g}/\text{L}$ . The method consists of chelation with 8-hydroxyquinoline, extraction with methyl isobutyl ketone (MIBK), and aspiration into a nitrous oxide-acetylene flame.

b. *Interferences:* Concentrations of Fe greater than 10 mg/L interfere by suppressing Al absorption. Iron interference can be masked by addition of hydroxylamine hydrochloride/1,10-phenanthroline. Mn concentrations up to 80 mg/L do not interfere if turbidity in the extract is allowed to settle. Mg forms an insoluble chelate with 8-hydroxyquinoline at pH 8.0 and tends to remove Al complex as a coprecipitate. However, the Mg complex forms slowly over 4 to 6 min; its interference can be avoided if the solution is extracted immediately after adding buffer.

## 2. Apparatus

*Atomic absorption spectrometer and associated equipment:* See 3111A.6.

## 3. Reagents

a. *Air:* See 3111B.3a.

b. *Acetylene:* See 3111B.3b.

c. *Ammonium hydroxide,*  $\text{NH}_4\text{OH}$ , conc.

d. *Buffer:* Dissolve 300 g ammonium acetate,  $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ , in water, add 105 mL conc  $\text{NH}_4\text{OH}$ , and dilute to 1 L.

e. *Metal-free water:* See 3111B.3c.

f. *Hydrochloric acid,* HCl, conc.

g. *8-Hydroxyquinoline solution:* Dissolve 20 g 8-hydroxyquinoline in about 200 mL water, add 60 mL glacial acetic acid, and dilute to 1 L with water.

h. *Methyl isobutyl ketone:* See 3111C.3d.

i. *Nitric acid,*  $\text{HNO}_3$ , conc.

j. *Nitrous oxide:* See 3111D.3h.

k. *Standard metal solutions:* Prepare a series of standard metal solutions containing 5 to 1000  $\mu\text{g}/\text{L}$  by appropriate dilution of the stock metal solutions prepared according to 3111D.3k.

l. *Iron masking solution:* Dissolve 1.3 g hydroxylamine hydrochloride and 6.58 g 1,10-phenanthroline monohydrate in about 500 mL water and dilute to 1 L with water.



## ANEXO C

### FICHAS DE SEGURIDAD

#### Ficha de Datos de Seguridad



Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión

Fecha de emisión: 15.01.2003 Reemplaza la emisión del 24.04.2001

<p><b>1. Identificación de la sustancia o del preparado y de la sociedad o empresa</b></p> <p><i>Identificación de la sustancia o del preparado</i></p> <p>Artículo número: 101056</p> <p>Denominación: Aluminio polvo fino, desensibilizado, aprox. 2% grasa</p> <p><i>Utilización de la sustancia/preparación</i></p> <p>Producción química en general Uso específico del cliente</p> <p><i>Denominación de la empresa</i></p> <p>Empresa: Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6151 72-2440</p> <p>Teléfono de urgencias: Instituto Nacional de Toxicología * Madrid * Tel: 91 562 04 20</p>												
<p><b>2. Composición/información sobre los componentes</b></p> <table><tr><td>Nr.-CAS:</td><td>7429-90-5</td><td>Número de índice CE:</td><td>013-002-00-1</td></tr><tr><td>PM:</td><td>26.98 g/mol</td><td>Número CE:</td><td>231-072-3</td></tr><tr><td>Fórmula molecular:</td><td>Al</td><td></td><td></td></tr></table> <p>(según Hill)</p>	Nr.-CAS:	7429-90-5	Número de índice CE:	013-002-00-1	PM:	26.98 g/mol	Número CE:	231-072-3	Fórmula molecular:	Al		
Nr.-CAS:	7429-90-5	Número de índice CE:	013-002-00-1									
PM:	26.98 g/mol	Número CE:	231-072-3									
Fórmula molecular:	Al											
<p><b>3. Identificación de peligros</b></p> <p>Inflamable. Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.</p>												
<p><b>4. Primeros auxilios</b></p> <p>Tras inhalación (partículas, polvo): Aire fresco. Consultar al médico en caso de malestar.</p> <p>Tras contacto con la piel: aclarar con abundante agua. Eliminar ropa contaminada.</p> <p>Tras contacto con los ojos: Aclarar con abundante agua, manteniendo abiertos los párpados.</p> <p>Tras ingestión: beber abundante agua, provocar vómito. Llamar al médico en caso de que persista el malestar.</p>												
<p><b>5. Medidas de lucha contra incendios</b></p> <p>Medios de extinción adecuados: polvo contra incendios de metales. Cubrir con arena seca o cemento.</p> <p>Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad: Agua, CO<sub>2</sub>, espuma, polvo.</p> <p>Riesgos especiales: Combustible. Riesgo de explosión del polvo Posible autoignición.</p> <p>Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios: Permanencia en el área de riesgo sólo si va provisto de sistemas respiratorios artificiales independientes del entorno.</p>												

<b>Ficha de Datos de Seguridad MERCK</b>		Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión
Artículo número:	101056	
Denominación:	Aluminio polvo fino, desensibilizado, aprox. 2% grasa	
<p><b>6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental</b></p> <p>Medidas de precaución relativas a las personas: Evitar el contacto con la sustancia. Indispensable evitar la formación y la inhalación de polvo.</p> <p>Medidas de protección del medio ambiente: No incorporar a la canalización del desagüe; ¡Riesgo de explosión!</p> <p>Procedimientos de recogida/limpieza: Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.</p>		
<p><b>7. Manipulación y almacenamiento</b></p> <p><i>Manipulación:</i></p> <p>Observaciones sobre la protección de incendios y explosiones: Mantener alejado de fuentes de ignición. Evitar la carga electrostática.</p> <p><i>Almacenamiento:</i></p> <p>Bien cerrado y alejado de fuentes de ignición y de calor. Temperatura de almacenamiento: sin limitaciones.</p>		
<p><b>8. Controles de exposición/protección personal</b></p> <p><i>Protección personal:</i></p> <p>Los tipos de auxiliares para protección del cuerpo deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa. Debería aclararse con el suministrador la estabilidad de los medios protectores frente a los productos químicos.</p> <p>Protección respiratoria: necesaria en presencia de polvo.</p> <p>Protección de los ojos: precisa</p> <p>Protección de las manos:</p> <p>Para contacto plano: Guañtes: Caucho nitrilo Espesor: 0.11 mm Tiempo de penetración: &gt; 480 Min.</p> <p>En caso de salpicaduras: Guañtes: Caucho nitrilo Espesor: 0.11 mm Tiempo de penetración: &gt; 480 Min.</p> <p>Los guantes de protección indicados deben cumplir con las especificaciones de la Directiva 89/686/EEC y con su norma resultante EN374, por ejemplo KCL 740 Dermatril® (Sumerción), 740 Dermatril® (Salpicaduras). Los tiempos de ruptura mencionados anteriormente han sido determinados con muestras de material de los tipos de guantes recomendados en mediciones de laboratorio de KCL según EN374.</p> <p>Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)</p> <p>Medidas de higiene particulares: Sustituir la ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo. Evitar la formación de polvo.</p>		

**Ficha de Datos de Seguridad MERCK**Conforme a la Directiva  
91/155/CEE de la ComisiónArtículo número: 101056  
Denominación: Aluminio polvo fino, desensibilizado, aprox. 2% grasa**9. Propiedades físicas y químicas**

Estado físico:	polvo	
Color:	brillante plateado	
Olor:	inodoro	
Valor pH		no disponible
Punto de fusión		660 °C
Punto de ebullición		2467 °C
Temperatura de ignición		~ 400 °C
Punto de inflamación		no disponible
Límite de explosión	bajo	no disponible
	alto	no disponible
Densidad	(20 °C)	2.70 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad en		
Agua	(20 °C)	(reacción)

**10. Estabilidad y reactividad***Condiciones a evitar*

información no disponible

*Materias a evitar*

ácidos, soluciones de hidróxidos alcalinos, oxidantes, halógenos, nitratos, sulfatos, sulfuros, alcoholes, compuestos de amonio, hidróxidos alcalinos, sales alcalinas, hidrocarburos halogenados, óxidos de semimetales, no metales, óxidos no metálicos, halogenuros de halógeno, óxidos metálicos, sales metálicas, aire, oxígeno, Compuestos de mercurio, halogenuros de semimetales, halogenuros de no metales, agua.

*Productos de descomposición peligrosos*

Posibles reacciones violentas con: agua (formación de hidrógeno).

*Información complementaria*

inflamable;

**11. Información toxicológica***Toxicidad aguda*

No nos constan datos cuantitativos sobre la toxicidad de este producto.

*Informaciones adicionales sobre toxicidad*

Tras inhalación de polvo: Irritaciones en las vías respiratorias.

Tras contacto con la piel: Posibles efectos: irritación leve.

Tras contacto con los ojos: leve irritaciones.

Tras ingestión: Posibles efectos: irritación de las mucosas.

*Otras indicaciones:*

Para los compuestos de aluminio es válido en general: Tras ingestión: solamente poco absorbible a través del tracto gastrointestinal. Alteraciones serias en humanos (a partir de aprox. 4000 mg de aluminio): metabolismo de los fosfatos, metabolismo del calcio.

*Información complementaria*

El producto debe manejarse con las precauciones apropiadas para los productos químicos.

Ficha de Datos de Seguridad MERCK		Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión																					
Artículo número:	101056																						
Denominación:	Aluminio polvo fino, desensibilizado, aprox. 2% grasa																						
<p><b>12. Informaciones ecológicas</b></p> <p>Efectos ecotóxicos: No disponemos de datos cuantitativos sobre los efectos ecológicos del producto.</p> <p>Otras observaciones ecológicas: Para aluminio en general: compuestos de Al con reacción ácida: Efectos biológicos: tóxico para organismos acuáticos, Peces: tóxico desde 0,55 mg/l; en aguas muy blandas, es tóxico desde 0,1 mg/l. Crustáceos: Daphnia magna (tóxico desde 136 mg/l). Algas: Sc. quadricauda (tóxico desde 1,5 mg/l). Todos los valores se refieren al Al disuelto. Compuestos alcalinos de Al: por la formación de escamas puede perjudicarse mecánicamente a los organismos acuáticos.</p> <p>Manteniendo las condiciones adecuadas de manejo no deben esperarse problemas ecológicos.</p>																							
<p><b>13. Consideraciones relativas a la eliminación</b></p> <p><i>Producto:</i> Los productos químicos han de eliminarse siguiendo las normativas nacionales. Bajo <a href="http://www.retrologistik.de">www.retrologistik.de</a> encontrará indicaciones sobre países, indicaciones específicas de productos así como contactos.</p> <p><i>Embalaje:</i> Los envases de productos Merck han de eliminarse siguiendo las normativas nacionales. Bajo <a href="http://www.retrologistik.de">www.retrologistik.de</a> encontrará indicaciones especiales para las peculiaridades nacionales así como contactos.</p>																							
<p><b>14. Información relativa al transporte</b></p> <p>Transporte terrestre ADR, RID UN 1396 ALUMINIUMPULVER, NICHT UEBERZOGEN, 4.3, II</p> <p>Transporte fluvial ADN, ADNR no ensayado</p> <p>Transporte marítimo IMDG, GGVSee UN 1396 ALUMINIUM POWDER, UNCOATED, 4.3, II EmS: 4.3-0</p> <p>Transporte aéreo CAO, PAX ALUMINIUM POWDER, UNCOATED, 4.3, UN 1396, II</p> <p>Las informaciones relativas al transporte se mencionan de acuerdo a la reglamentación internacional y en la forma como se aplican en Alemania (GGVSE). Pueden existir posibles diferencias a nivel nacional en otros países comunitarios.</p>																							
<p><b>15. Información reglamentaria</b></p> <p><i>Etiquetado según Directivas de la CEE</i></p> <table border="0"> <tr> <td>Pictograma:</td> <td>F</td> <td>Fácilmente inflamable</td> </tr> <tr> <td>Frasas R:</td> <td>10-15</td> <td>Inflamable. Reacciones con el agua liberando gases extremadamente inflamables.</td> </tr> <tr> <td>Frasas S:</td> <td>7/8-43</td> <td>Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco. En caso de incendio, utilizar arena - no usar nunca agua.</td> </tr> <tr> <td>Número CE:</td> <td>231-072-3</td> <td>Etiquetado CE</td> </tr> </table> <p><i>Etiquetado reducido (1999/45/CE, art. 10, 4)</i></p> <table border="0"> <tr> <td>Pictograma:</td> <td>F</td> <td>Fácilmente inflamable</td> </tr> <tr> <td>Frasas R:</td> <td>10</td> <td>Inflamable.</td> </tr> <tr> <td>Frasas S:</td> <td>---</td> <td></td> </tr> </table>			Pictograma:	F	Fácilmente inflamable	Frasas R:	10-15	Inflamable. Reacciones con el agua liberando gases extremadamente inflamables.	Frasas S:	7/8-43	Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco. En caso de incendio, utilizar arena - no usar nunca agua.	Número CE:	231-072-3	Etiquetado CE	Pictograma:	F	Fácilmente inflamable	Frasas R:	10	Inflamable.	Frasas S:	---	
Pictograma:	F	Fácilmente inflamable																					
Frasas R:	10-15	Inflamable. Reacciones con el agua liberando gases extremadamente inflamables.																					
Frasas S:	7/8-43	Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco. En caso de incendio, utilizar arena - no usar nunca agua.																					
Número CE:	231-072-3	Etiquetado CE																					
Pictograma:	F	Fácilmente inflamable																					
Frasas R:	10	Inflamable.																					
Frasas S:	---																						

**Ficha de Datos de Seguridad MERCK**

Conforme a la Directiva  
91/155/CEE de la Comisión

Artículo número: 101056

Denominación: Aluminio polvo fino, desensibilizado, aprox. 2% grasa

**16. Otras informaciones**

*Razón de revisión*

Cambio/completado en el capítulo 5.

Valores límite de control.

Cambio/completado en el capítulo 8.

Cambio en el capítulo de toxicología.


*Revisión general.*

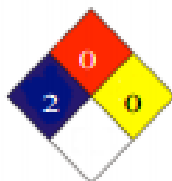
*Representante regional:*

VWR Internacional S.L. \* Apartado 46 \* E-08100 Mollet del Valles \* Tel.: +34 (0) 93 5655 500 \*  
Fax: +34 (0) 93 5440 000

Merck Farma y Química, S.A. \* Apartado 47 \* E-08100 Mollet del Valles \* Tel.: +34 (0) 93 5655 500  
\* Fax: +34 (0) 93 5440 000

*Los datos suministrados en esta ficha de seguridad se basan a nuestro actual conocimiento. Describen tan sólo las medidas de seguridad en el manejo de este producto y no representan una garantía sobre las propiedades descritas del mismo.*

	<b>Hoja de Seguridad</b>	FA 03 01
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	Ver. : 2
		20 Agosto de 2009
		Página 1 de 5



Pictograma NFPA

### 1. IDENTIFICACION DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑIA

Nombre Químico:	Sulfato De Aluminio
Sinónimos:	Alumbre, Torta de Alumbre, Salmuera de Alumbre, Alumbre de perla
Formula:	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .14H <sub>2</sub> O
Familia Química:	Salas Inorgánicas
Registro CAS:	10043-01-1
Numero UN:	N.R
Información de la Compañía:	Nombre: Fujian Shan S.A. Dirección: Carretera central de Occidente Km 1.5 Via Funza, Parque Industrial San Carlos, Etapa I Local 4
Teléfono de Emergencia:	5467000 – Funza

### 2. COMPOSICION E INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES	
Ingrediente	Sulfato Aluminio
CAS	10043-01-1
%	98 – 100
Peligroso	Si

### 3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Inhalación:	El Polvo puede causar carraspera, tos, irritación de la nariz y la garganta.
Ingestión:	Nauseas, Vómito.
Contacto con la Piel:	Irritación.
Contacto Ocular:	Irritación con posibles heridas permanentes.

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

	<b>Hoja de Seguridad</b>	<b>FA 03 01</b>
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2 20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 2 de 5</i>

<b>Inhalación:</b>	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la persona abrigada en reposo. Buscar atención médica.
<b>Ingestión:</b>	Lavar la boca con agua. Si esta consciente, suministrar abundante agua. No inducir al vomito, si este se presenta inclinar la víctima hacia adelante.
<b>Contacto con la Piel:</b>	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repeler el lavado. Buscar Atención médica.
<b>Contacto Ocular:</b>	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico.

#### 5.MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

**Peligros de Incendio y/o explosión:** No inflamable ni combustible.  
**Productos de la combustión:** Puede desprender gases tóxicos de óxidos de azufre a temperaturas superiores a 760 °C.  
**Precauciones:** Eliminar toda fuente de calor que lo lleve a la combustión. No inhalar los gases producidos.  
**Procedimientos en caso de incendio y/o Explosión:** Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal.  
**Agentes Extintores del Fuego:** Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor.


#### 6.MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES Y FUGAS

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Eliminar toda fuente de ignición.

#### 7.MANUPULACION Y ALMACENAMIENTO

**Almacenamiento:** Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados.  
**Manipulación:** Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer donde esta el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto.

#### 8.CONTROL A LA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

	<b>Hoja de Seguridad</b>	FA 03 01
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2 20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 3 de 5</i>

Controles de Ingeniería:	Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional o se mantenga lo mas baja posible. Considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministrar aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido.
<b>Equipos de Protección Personal</b>	
Respiratoria:	Respirador con Filtro para polvo.
Cutánea:	Overol, guantes, botas.
Ojos y Cara:	Gafas de seguridad.
Otro Tipo de Protección requerida:	Equipo de respiración autónomo.


#### 9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado Físico	Sólido Granulado
Apariencia y Olor	Blanco Sin Olor Característico
Concentración como Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> * 14 H <sub>2</sub> O	100%
pH	3-4 en solución al 1% en agua
Temperatura de Descomposición	760 °C
Temperatura de auto ignición	No Aplicable
Punto de Inflamación	No Aplicable
Propiedades Explosivas	No Aplicable
Peligros de Fuego y Explosión	No Aplicable
Densidad de Vapor	No Detectable

#### 10. REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD

Estabilidad:	Estable en condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.
Incompatibilidades:	Corrosivo en metales con presencia de agua
Condiciones a evitar:	Humedad e incompatibles.
Productos por descomposición peligrosa:	Se hidroliza para formar ácido sulfúrico diluido. Se pueden formar óxidos de azufre tóxico y corrosivo cuando se



	<b>Hoja de Seguridad</b>	FA 03 01
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2</i> <i>29 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 4 de 5</i>

	calienta hasta la descomposición.
Polimerización Peligrosa	No ocurrirá.

#### 11. INFORMACION TOXICOLÓGICA

Anhydrous Material: LD50 oral en ratones: 8027 mg/kg; irritación ojos de conejos 10 mg/24H severa; Ha sido investigado como mutagénico, causante de efectos reproductivos.

18-Hydrate: LD50 oral en ratones: > 9 gm/kg; Ha sido investigado como mutagénico.

Lista de Cánceres

--Carcinógeno NTP--

Ingrediente	Conocido	Anticipado	Categoría IARC
-------------	----------	------------	----------------

Sulfato de Aluminio (10043-01-3)	No	No	Ninguno
----------------------------------	----	----	---------

#### 12. INFORMACION ECOLÓGICA

Nocivo para la vida acuática desde concentraciones bajas.

Tox. Peces = 240 ppm / 48h/pez

#### 13. CONSIDERACIONES PARA DISPOSICION

Material peligroso de desecho. El sólido puede ser enterrado en un relleno especial para sustancias químicas.


#### 14. INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

Clase Riesgo:	
Numero UN:	N.R.

#### 15. INFORMACION REGULATORIA

Esta hoja ha estado preparada según los criterios del peligro de las regulaciones controladas de los productos (CPR) y la hoja contiene toda la información requerida por el CPR.

#### 16. OTRA INFORMACION



	<b>Hoja de Seguridad</b>	<b>EA 03 01</b>
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2</i>
		<i>20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 5 de 5</i>

<b>Clasificación NFPA</b>	
Salud:	2
Inflamabilidad:	0
Reactividad:	0

La información y recomendaciones que aparecen en esta hoja de seguridad de materiales son a nuestro entender enteramente confiables. Los Consumidores y clientes deberán realizar su propia investigación y verificación sobre el uso seguro de este material

**Este documento es propiedad exclusiva de FUJIAN SHAN S.A.**

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

<b>ÁCIDO SULFÚRICO</b>			ICSC: 0362 Febrero 2000
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	7664-93-9 WS5000000 1830 015-020-00-4 231-639-5	Ácido sulfúrico 100% Aceite de vitriolo H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Masa molecular: 98.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fría las bóvedas y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		<b>EVITAR LA FORMACIÓN DE NEBLAS DEL PRODUCTO. EVITAR TODO CONTACTO.</b>	<b>CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS.</b>
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jaqueo. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
<b>DERRAMES Y FUGAS</b>		<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
Consultar a un experto. Evacuar la zona de peligro. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Envase intrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente intrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE: Símbolo: C R: 35 S: (16)-(26)-30-45 Nota: B Clasificación NU: Clasificación de Peligros NU: B Grupo de Envasado NU: II	
<b>RESPUESTA DE EMERGENCIA</b>		<b>ALMACENAMIENTO</b>	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TERC (R)-8051830 o 80GC1-8-H-81 Código NFPA: H3; F0; R2; W		Separado de sustancias combustibles y reductores, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea y la CE, IPCS, 2005			
			

## Fichas internacionales de Seguridad Química

<b>ÁCIDO SULFÚRICO</b>		ICSC: 0362
<b>DATOS IMPORTANTES</b>		
<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Líquido higroscópico incoloro, aceitoso e inodoro.</p> <p><b>PELIGROS QUÍMICOS</b> La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reducidos. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentarse forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).</p> <p><b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN</b> TLV: 0,2 mg/m<sup>3</sup>; Fracción tóxica, A2 (sospecho de ser cancerígeno humano); ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes) (ACGIH 2003). MAK: (Fracción inhalable) 0,1 mg/m<sup>3</sup>; Categoría de limitación de pico 1(1); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).</p>	<p><b>VÍAS DE EXPOSICIÓN</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACIÓN</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN</b> Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas).</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA</b> Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son carcinógenas para los seres humanos.</p>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
<p>Punto de ebullición (en descomposición): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1,8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0,13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,4</p>		
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
<b>NOTAS</b>		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirlo al agua siempre lentamente. Otros números NU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico agotado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver Límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2014):</p> <p>VLA-ED (niebla): 0,05 mg/m<sup>3</sup></p> <p>Nota: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida. Véase UNE EN 481: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".</p>		
<b>NOTA LEGAL</b>	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del ICPS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CIE, el ICPS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	



## FICHA TECNICA Y HOJA DE SEGURIDAD

POLICLORURO DE ALUMINIO

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA

Sinónimos: PAC, hidroxloruro de aluminio en solución.

Fórmula química:  $Aln(OH)mCl3n-m$

Peso molecular (g/mol): No aplicable

Usos: En tratamiento de aguas, manufactura del papel, sistemas de flotación, en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.

Empresa: Occidental de Productos Químicos S.A.S.

Dirección y teléfono: Cr 65 #75-35 Medellín Tel: 448 7535

Teléfonos de emergencia: Medellín (054): 123 y 448 7535(Oficinas Oxiquímica)

Cistema Suratep: 01 8000 511414 y 01 8000 941414

### 2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE COMPONENTES

INGREDIENTES	No. CAS	Porcentaje	Límites de exposición (mg/m3)
Policloruro de aluminio	7784-13-6	19 %	Permisible ponderado: 1.0 Permisible absoluto: 8.0 (ver glosario numeral 16)

### 3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Resumen de emergencia: Producto de poco riesgo que causa leves irritaciones.

Inhalación: Causa irritaciones menores.

Contacto con la piel: Irritaciones leves y quemaduras.

Contacto con los ojos: Irritaciones leves y quemaduras.

Ingestión: Puede producir molestias en el tracto respiratorio.

Cancerígeno: No hay evidencia.

Mutagénico: No hay evidencia.

Teratógeno: No hay evidencia.

### 4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Nota para médicos:

- En caso de paro respiratorio emplear método de reanimación cardiopulmonar (RCP).

Inhalación: Trasladar a la persona donde exista aire fresco, si respira con dificultad se debe suministrar oxígeno. Conseguir asistencia médica.

Contacto con la piel: Lave con abundante agua por lo menos durante 15 minutos, use preferiblemente una ducha de emergencia. Solicitar ayuda médica en caso de persistir la irritación.

Contacto con los ojos: Lavarse con abundante agua en un lavadero de ojos durante 15 minutos como mínimo o hasta remover la sustancia química de los ojos. Acudir al médico en caso de mantenerse la irritación.

Ingestión: Lavar la boca con bastante agua, dar de beber leche o abundante agua, no inducir vómito. Desplazarse a un centro de atención médica de persistir alguna molestia.

Carrera 65 # 75-35 Medellín-Antioquia ☎ 448 7535

Pag 1

ventas@oxiquimicacolombia.com

www.oxiquimicacolombia.com



## FICHA TECNICA Y HOJA DE SEGURIDAD

# POLICLORURO DE ALUMINIO

### 5. MEDIDAS CONTRA INCENDIO

Condición de inflamabilidad: No combustible  
Temperatura de inflamación: No aplicable  
Temperatura de autoignición: No aplicable  
Límites de inflamabilidad: No aplicable  
Riesgo general: Formación de productos de combustión como cloruro de hidrógeno.  
Medios de extinción: En general, uso de extintores apropiados de acuerdo con el fuego circundante, tales como polvo químico seco y anhídrido carbónico.

### 6. MEDIDAS CONTRA VERTIDO ACCIDENTAL

Contener el derrame o fuga, ventilar el área, absorber con arena u otro material similar, recoger el residuo con precaución, utilizar elementos de protección personal y lavar la zona contaminada con agua. Solicitar ayuda especializada si es necesaria.

### 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo: Manipular a temperaturas entre 0°C y 30°C.  
Almacenamiento: Almacenamiento en tanques, en lugares frescos y con buena ventilación, en contenedores de plástico o de caucho preferiblemente. Almacenar separadamente de productos incompatibles y mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados. Evitar temperaturas superiores a 65°C.

### 8. CONTROL DE EXPOSICIÓN

Controles de Ingeniería: Trabajar en un lugar con buena ventilación y mantener los envases con sus respectivas etiquetas.  
Protección personal: Uso de protección respiratoria en caso de sobrepasarse los límites permisibles ponderado o absoluto, utilización de guantes de PVC, neopreno u otro equivalente y de lentes de seguridad contra proyecciones de la sustancia química.

### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico: Líquido  
Apariencia: Amarillo  
Olor: Picante  
pH: 2.1 a 3.5  
Temperatura de ebullición: 110°C  
Temperatura de fusión: No disponible  
Densidad a 20 °C(kg/l): 1.90 – 1.93  
Presión de vapor a 20 °C: No disponible  
Densidad de vapor relativo: (aire=1): No disponible  
Solubilidad en agua: Soluble

### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable en condiciones normales.  
Incompatibilidades: Puede reaccionar con agua, con zinc y aluminio produce gas hidrógeno, en contacto con soluciones de amoníaco, soda cáustica, hidróxido de potasio y cloruros puede generar calor y vapores tóxicos.  
Peligro de polimerización: No ocurre  
Productos peligrosos de descomposición: Cloruro de hidrógeno.

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

Produce irritaciones y quemaduras en la piel, ojos y tracto respiratorio. No hay evidencia de efectos cancerígenos ni de posibles desórdenes reproductivos.

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

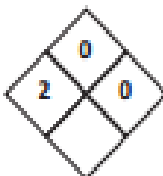
Posibles efectos ecológicos por desviación de pH en aguas, para esto se debe diluir en una proporción alta. No incorporar a suelos ni acuíferos.

**13. CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN**

Diluir con agua y luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe. En particular, los compuestos de bajo riesgo, se pueden diluir en agua en una proporción mínima de 1:20 u otra que sea necesaria, para luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.

**14. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE**

Número UN: 1760



0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo  
COR: Corrosivo OXI: Oxidante W: No adicionar agua.

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

Pictograma: Corrosivo

Clase: 8



Frases R: 34-37 – Provoca quemaduras, irrita las vías respiratorias.  
Frases S: 524/25: Evite el contacto con ojos y piel.

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Glosario: CAS: Servicio de resúmenes químicos (Chemical Abstracts Service).  
 OSHA: Administración de salud y seguridad ocupacional (Occupational Safety and Health Administration).  
 ACGIH: Confederación americana de higiene industrial gubernamental (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

STEL: Límite de exposición de corta duración (Short Term Exposition Limit).  
 TWA: Media ponderada en el tiempo (Time Weighted Average).  
 TLV: Valor límite umbral (Threshold Limit Value).  
 DL50: Dosis letal media.  
 CL50: Concentración letal media.

La información que se suministra en este documento se ha recopilado basándose en las mejores fuentes existentes, de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, empaqueo y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario evaluar si la información de la hoja de datos de seguridad satisface los requerimientos para una aplicación específica distinta a la adecuada.

La presente hoja de seguridad para materiales y tarjeta de emergencia se realizó con base en las normas técnicas Colombianas NTC 4532 y NTC 4435 respectivamente, del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

1. ASPECTOS GENERALES

FÓRMULA:  $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}H_2O$

PESO MOLECULAR: No aplica

PROPIEDADES: El policloruro de aluminio (PAC) es el resultado de un proceso de fabricación complejo bajo condiciones de trabajo controladas. Es un polímero inorgánico catiónico

Se denomina como polihidroxiclорuro de aluminio, cloruro de polialuminio, cloruro de aluminio polibásico, clorhidróxido de aluminio.

USOS: 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

CALIDADES: Líquido de color amarillo claro

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDADES	VALOR	MÉTODO DE ANÁLISIS
Densidad a 25°C, g/ml	1.37 - 1.38	MA-1-03
Cl, %	13 Máximo	MA-1-04
Relación Al / Cl	0.87 + 0.10	MA-1-04, MA-1-08
Basicidad, %	70 Mínimo	MA-1-07
Contenido de aluminio como $Al_2O_3$ , %	23 + 1	MA-1-08
pH directo	2.10 - 3.50	MA-1-11





## FICHA TECNICA Y HOJA DE SEGURIDAD

# POLICLORURO DE ALUMINIO

### 3. MANEJO DEL PRODUCTO

3.1. Utilizar equipo completo de protección incluyendo botas altas de caucho y delantal.

### 4. EMPAQUE Y TRANSPORTE

Producto suministrado a granel mediante carro tanque, contenedores de 1 tonelada o garrafas plásticas de 250 kilos


### 5. ALMACENAMIENTO

Es un producto corrosivo por ello se debe almacenar en tanques de fibra

### 6. TOMA DE MUESTRAS

**DURANTE LA PRODUCCION:** Ver plan general de muestreo PC-1-05

**EN EL ALMACENAMIENTO:** Tomar una muestra de acuerdo con el "PC-1-05 plan general de muestreo", procediendo como se indica.


	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

### AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros **NICOLAS ESTEBAN GARCIA BARBOSA** y **SANDRA LILIANA HERNÁNDEZ QUINTANA** en calidad de titulares de la obra **PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL ALUMINIO PG, PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PRODUCCION DE HIDROGELESEN LA PLANTA ANTONIO RICAURTE FEXAR INDUMIL**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la *licencia Creative Commons* que se señala a continuación:

	<b>Atribución- no comercial- sin derivar:</b> permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial:</b> permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial – compartir igual:</b> permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input checked="" type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizoamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

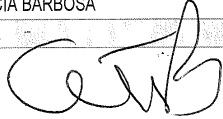
AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

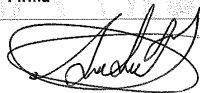
Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 22 días del mes de Marzo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
NICOLAS ESTEBAN	GARCÍA BARBOSA
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
cc. 1013609335	

Autor 2

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
SANDRA LILIANA	HERNÁNDEZ QUINTANA
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
cc. 1032451262	

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.