

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“ESTUDIO PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA DEL LAVADO
DE VEHÍCULOS DE UNA FUNDICIÓN”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

CYNTHIA ZENOBIA ROJAS QUINCHO

LIMA – PERÚ

2010

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue desarrollado en las instalaciones de la Fundición en Ilo y es el resultado del apoyo de muchas personas a las que quiero agradecer de manera muy especial.

Al personal del departamento de Servicios Ambientales de la empresa Southern Copper Corporation por su trato y ayuda de manera desinteresada durante todo ese tiempo.

Al ingeniero Darío Oviedo Calderón por todo su apoyo incondicional antes, durante y después del desarrollo del proyecto.

A mi familia, por su apoyo imprescindible en todo momento, en especial a mi madre por estar siempre a mi lado pase lo que pase, gracias por estar siempre cuando los he necesitado.

A los miembros del jurado por su apoyo y sus consejos en el desarrollo del informe.

Así mismo quiero agradecer de manera especial a José A. y a mis amigos con los que compartí el curso de titulación por su apoyo y sus ánimos.

RESUMEN

Este trabajo está dirigido al estudio de una alternativa de tecnología limpia para reutilizar el agua del lavado de vehículos, en la aplicación de una buena gestión de efluentes industriales.

El caso de estudio ha consistido en el tratamiento de efluentes procedentes de la zona de lavado de vehículos. El efluente tiene un contenido de aceites y grasas, sólidos disueltos totales, algunos metales como cobre, zinc, hierro, etc.

El estudio se inició con la caracterización del efluente, antes de las corridas experimentales, para finalmente encontrar la dosificación óptima, la cual probó que el proceso de coagulación y floculación puede ser usado como tratamiento para el efluente del área de lavado de vehículos ya que se produjo agua de calidad aceptable desde el punto de vista físico-químico para ser reutilizado en el mismo proceso.

INDICE**CAPITULO I**

1.1	Objetivo del proyecto	1
1.2	Alcance	1
1.3	Justificación	1
1.4	Introducción	1

CAPITULO II**CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS**

2.1	Parámetros de calidad del agua	3
2.2	Partículas en suspensión	5
2.3	Coagulación	7
2.4	Floculación	24
2.5	Sedimentación	27
2.6	Prueba de Jarras	28

CAPITULO III**METODOLOGÍA EXPERIMENTAL A NIVEL LABORATORIO PARA
TRATAR EL EFLUENTE**

3.1	Introducción	29
3.2	Toma de muestra	29
3.3	Caracterización del efluente	30
3.4	Ensayos físico-químicos	31
3.5	Equipos utilizados para ensayo experimental	31

3.6 Reactivos utilizados para ensayo experimental	32
3.7 Corridas experimentales	33
CAPITULO IV	
ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1 Resultado del performance	42
4.2 Tratamiento de lodos	45
4.3 Diagrama de Proceso recomendado	46
CAPITULO V	
COSTOS DE REQUERIMIENTO	
5.1 Costo de Requerimiento	47
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES	
6.1 Conclusiones	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	51

CAPITULO I

1.1 OBJETIVO:

Se ha definido como principal objetivo de este trabajo, evaluar la eficiencia del método físico químico de coagulación-floculación en la remoción de las sustancias contaminantes de efluentes provenientes del lavado de vehículos. A partir de los resultados se seleccionarán los reactivos y la dosificación.

1.2 ALCANCE:

Este proyecto considera el análisis para el tratamiento del agua proveniente del taller de lavado de vehículos livianos y del taller de lavado de vehículos pesados (montacargas). Así mismo se busca eliminar el efluente que se emite al mar, reutilizarlo inicialmente como regadío y más adelante reutilizarlo en el mismo proceso.

1.3 JUSTIFICACIÓN:

La necesidad de convivir en armonía con el medio ambiente y del gran sentido de conciencia del cuidado del medio ambiente, hizo posible la generación del presente proyecto, la cual consiste en la eliminación del efluente, reutilizándolo en el mismo proceso, esto como parte de la gestión ambiental de la empresa.

1.4 INTRODUCCIÓN:

Actualmente, las sociedades buscan desarrollarse a costa de la explotación de recursos naturales no renovables y la generación de residuos a gran escala. Y las empresas están trabajando pensando en la compleja integración entre el desarrollo y la conservación de la naturaleza perfilándose a un modelo de crecimiento ambientalmente sano, económicamente viable, socialmente equilibrado y justo, que se expresa con el término de desarrollo sostenible.

El libro “Nuestro Futuro Común” (nombre original del Informe Brundtland) define el desarrollo sostenible como “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”

Una correcta política medioambiental tomará en consideración no solo los tratamientos al final de línea y/o gestión de la corriente residual cuando se hayan analizado sino de aplicar las opciones de minimización viables para la empresa. Además de las mejoras ambientales que se consiguen, la implementación de una política de prevención de la contaminación repercute en una disminución del coste de gestión ambiental, en el diseño de las instalaciones de tratamiento de las corrientes residuales con un correcto dimensionamiento, en la mejora de la imagen y en la aportación de un nivel de protección superior de las personas y del medio ambiente.

Teniendo en cuenta las estrictas regulaciones ambientales, la mayor vigilancia y control, junto a la sensibilidad social y evolución de los mercados, una buena gestión medioambiental es un factor estratégico en la lucha por la competitividad.

El desarrollo alcanzado por las empresas en el tema de tratamiento del efluente, especialmente en zonas donde este recurso hídrico es limitado ha llevado a que se planteen varios proyectos.

CAPITULO II

CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

2.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA^{[1][4]}

Los parámetros que se considera importantes para determinar la calidad del agua son las siguientes:

- *Turbiedad*: Es originada por las partículas en suspensión o coloides; es decir aquellas que por su tamaño se encuentran en suspensión y reducen la transparencia del agua en mayor o menor grado.

Se mide mediante un turbidímetro o nefelómetro calibrado en los intervalos 0 - 20 y 0 - 200 NTU. Se seleccionarán los tratamientos que dejen una menor turbiedad en el agua tratada en el caso de la clarificación de aguas.

El diseño de los sistemas de remoción de turbiedad debe considerar no solo el tipo de partículas existentes (origen, estructura, composición y forma) sino también su tamaño y comportamiento.

- *pH*: Se mide mediante un electrodo y un pH-metro previamente calibrado con patrones de 4 y 7. El valor del pH sirve para establecer el tipo de reactivos a utilizar y, en el caso de la eliminación de dureza, está relacionado con la eficacia en la precipitación del $Mg(OH)_2$.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

- *Sólidos Totales*: La definición generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado, a una temperatura de 103°C a 105°C. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

Los métodos para la determinación de sólidos son empíricos, fáciles de realizar y están diseñados para obtener información sobre los diferentes tipos de sólidos presentes.

- *Color:* Esta característica del agua puede estar ligada a la turbidez o presentarse independiente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color.

Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la especie de tanino, lignina, etc. En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

- *Temperatura:* Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.
- *Aceites y Grasas:* La presencia de aceites y grasa en el agua pueden alterar su calidad estética (olor, sabor y apariencia). Se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico tal como el hexano. Los resultados se reportan como mg/L de MEH (material extraíble en hexano).
- *Metales Totales:* La presencia de metales en las aguas puede provenir de sustancias en disolución, en cantidades traza, o como partículas en suspensión, que pueden acabar sedimentándose y acumulándose en los ríos o mares.

La persistencia en el ambiente de los metales ocasiona una problemática especial. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales no pueden degradarse ni biológicamente ni químicamente en la naturaleza. Los compuestos que contienen metales pueden alterarse, pero los metales indeseables aún permanecen. En algunos casos tales reacciones

desembocan en formas más tóxicas del metal. La estabilidad de los metales permite también que sean transportados a distancias considerables, tanto por el aire como por el agua.

2.2 PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN. ^[1]

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas, partículas de limo, etc.), en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal (hierro, por ejemplo).

Las características de las partículas en suspensión son las siguientes:

2.2.1 Tamaño de las partículas en suspensión.

Las partículas se clasifican de acuerdo a su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a 1 micrómetro que corresponden a partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente.

La tabla siguiente indica los tiempos de decantación de las diferentes partículas en función de: sus dimensiones; densidad y de la temperatura del agua.

Tipo de Partícula	Diámetro (mm)	Tiempo de Caída	
		Densidad 2.65	Densidad 1.1
Grava	10	0.013 s.	0.2 s.
Arena gruesa	1	1.266 s.	20.9 s.
Arena fina	0.1	126.66 s.	34.83 min.
Lodo fino	0.01	3.52 h.	58 h.
Bacterias	0.001	14.65 d.	249.1 d.
Coloides	0.0001	4.12 a.	66.56 d.

Se observa fácilmente que a la misma densidad, las partículas más pequeñas tienen un tiempo de duración de caída más grande, esto imposibilita la decantación sin la adición de un coagulante.

Los Coloides son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbidez y del color del agua.

Los sistemas coloidales presentan un contacto de área superficial alto entre la fase sólida y la fase líquida.

2.2.2 Afinidad de las Partículas Coloidales por el Agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (tienen afinidad por el agua) e hidrófobas (es decir que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de medios químicos y físicos.

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; en realidad solo un poco son las partículas que son exclusivamente hidrofílicas o hidrofóbicas; se obtienen más bien partículas hidratadas en diferentes grados.

La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas tienden a desplazar las partículas unas de otras y, en consecuencia las estabiliza dentro de la solución.

2.2.3 Carga Eléctrica y Doble Capa.

Dentro del agua superficial, **las partículas coloidales**, son las causantes de la turbidez y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las

partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos (figura 1).

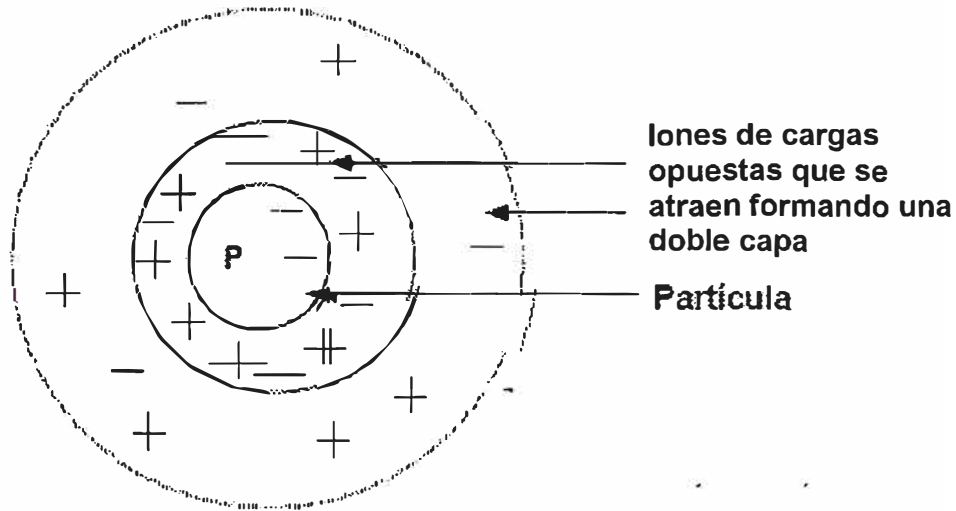


Figura 1 Doble capa de una partícula coloidal

2.2.4. Factores de Estabilidad e Inestabilidad.

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes de fuerzas:

- **Fuerzas de atracción de Van der Waals:** E_a (factores de Inestabilidad); son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.
- **Fuerzas de repulsión electrostáticas:** E_b (columbicas – factor de estabilidad); son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras; por ejemplo 2 partículas de igual signo no se pueden aproximar, estas se rechazan.

2.3 COAGULACIÓN^{[2][4]}

2.3.1. Objetivo Principal

El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia se eliminan las materias en suspensión estables; la

coagulación no solo elimina la turbidez sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.

2.3.2. ¿Qué es la Coagulación?

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.

La coagulación es el tratamiento mas eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante esta mal ajustada.

En esta figura 2 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

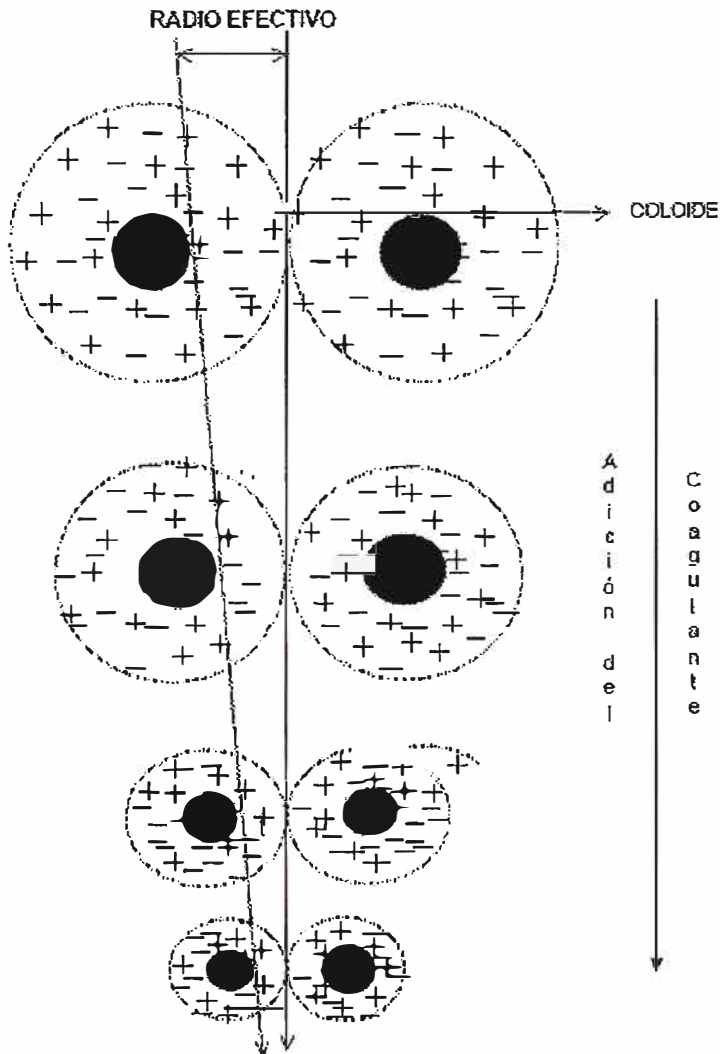


Figura 2. Neutralización de cargas por adición de un coagulante

2.3.3. Mecanismo de la Coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

a. Compresión de la Doble Capa

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. (Ver figura. 3).

Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción E_a , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a las Fuerzas de repulsión, las fuerzas de Van der Waals no son afectados por las características de la solución. Ver fig. 3

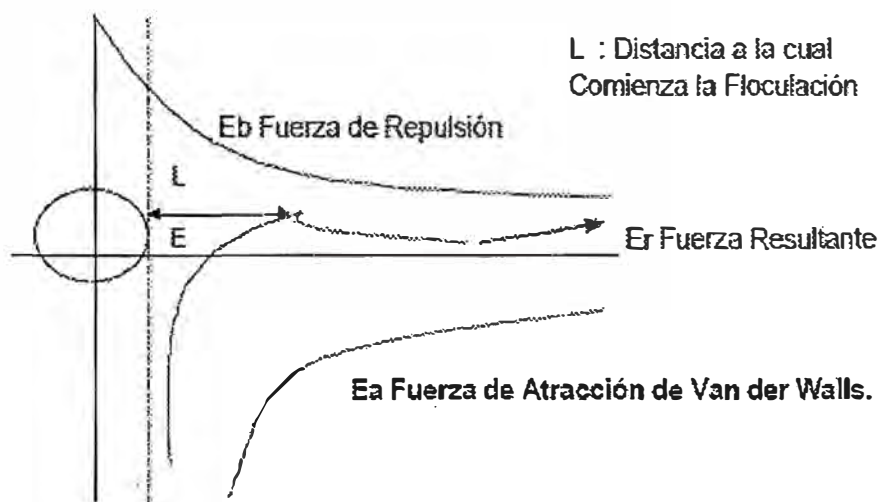


Figura 3 Fuerzas de atracción y de repulsión

b. Absorción y Neutralización de Cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

La neutralización de la carga se logra mediante la adición de una sustancia denominada coagulante y que puede ser algún polímero inorgánico u orgánico de naturaleza catiónica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original. (Ver figura 4)

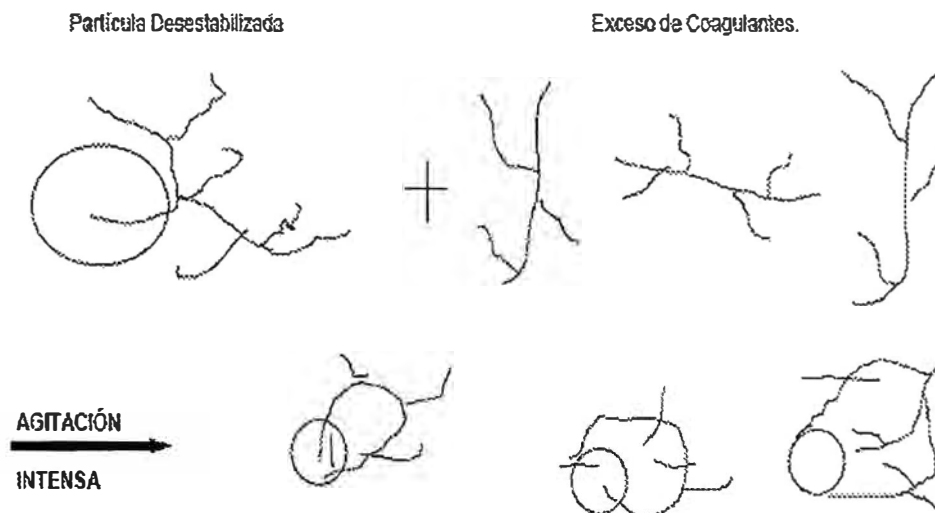


Figura 4 Reestabilización de partículas

c. Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floculo, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, o Cloruro Férrico FeCl_3 , el floculo está formado de moléculas de $\text{Al}(\text{OH})_3$ o de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floculo; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbidez y la cantidad de coagulante requerido. En otras palabras, una concentración importante de

partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante. (Ver figura 5).

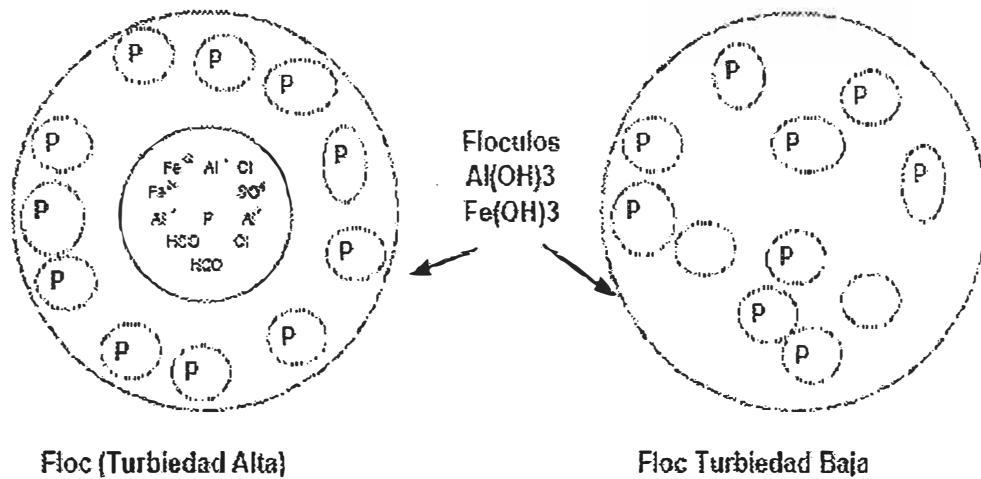


Figura 5. Atrapamiento de las partículas en un floculo

d. Adsorción y Puente

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas.

Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros. (Ver figura 6).

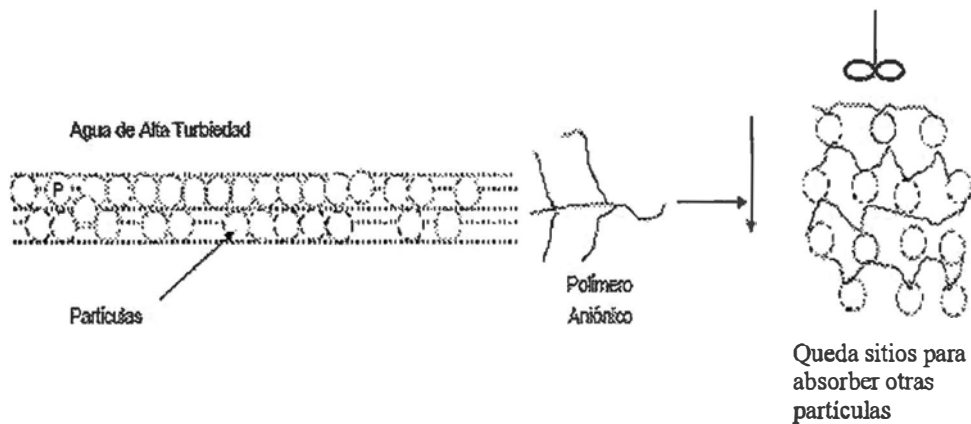


Figura 6. Efecto puente de las partículas en suspensión trabajando con polímero aniónico

2.3.4. Coagulantes Utilizados

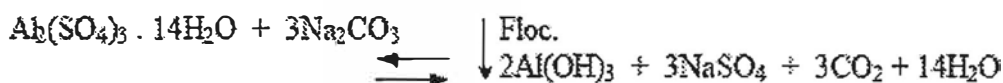
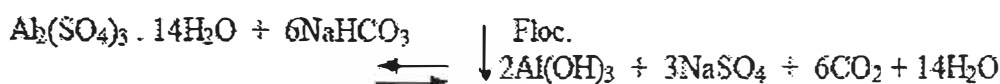
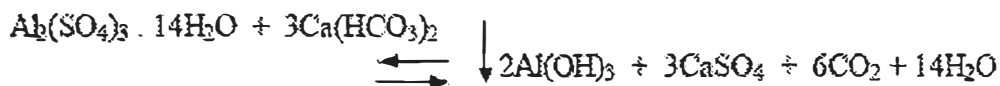
Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

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

- a) *Sulfato de Aluminio*: Conocido como Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH de 6 a 8. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Sin embargo su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas.

Las principales reacciones de sulfato de aluminio con la alcalinidad del agua son:



b) *Sulfato Férrico*: Funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, uno de los más amplios conocidos. Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez.

c) *Cloruro de Aluminio*: Se presenta en forma sólida o líquida y se utiliza preferentemente esta última.

d) *Cloruro Férrico*: Se usa para el tratamiento del agua la forma líquida. El cual contiene 40% de FeCl_3 . En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso FeCl_2 . Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución.

e) *Sulfato Ferroso*: El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m^3 .

Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico.

f) Aluminato de Sodio.

g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

2.3.5. Factores que Influyen en la Coagulación.

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbidez.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

a. Influencia del pH.

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo de las sales entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta.

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

b. Influencia de las sales disueltas

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

c. Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1 °C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floculo.

d. Influencia de la dosis del coagulante

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto la turbidez residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbidez residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:

- La buena o mala calidad del agua clarificada.
- El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

e. Influencia de la mezcla

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

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración, llamado **mezcla rápida**; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

Tipos de Mezcladores

Las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos : - Retromezcladores (agitadores)
- Mezcladores Hidráulicos: - Resalto Hidráulico: Canaleta Parshall y Vertedero Rectangular
 - En línea: Difusores (tuberías y canales)
 - Inyectores, etc.

Ventajas y desventajas de los mezcladores hidráulicos y mecánicos

El gradiente de velocidad en un mezclador mecánico no varía con el caudal, tiene la ventaja adicional de controlar el grado de agitación, haciendo variar la velocidad de rotación del impulsor; sin embargo tiene la limitante de depender de la energía externa que una falla hace que el proceso de mezcla se perjudique.

Los mezcladores hidráulicos se caracterizan por presentar poca flexibilidad a las variaciones de caudal, no depende de una energía externa. Por lo general se utilizan como mezcladores rápidos las canaletas Parshall y vertederos.

f. Influencia de la turbidez

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

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del

rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada tipo de calidad de agua existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbidez residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta, se debe adicionar la cantidad de coagulante necesaria, debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbidez es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbidez fuese alta.
- Cuando la turbidez es muy alta, conviene realizar una pre-sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbidez y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, por que requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

g. Sistema de aplicación del coagulante

Se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando:

- La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.
- El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable; en la figura 7 se observa las condiciones de mezcla del coagulante con el agua; se observa que la mejor mezcla es cuando el coagulante adicionado cae en su totalidad a la masa de agua (figura 7b). Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación tanto para los coagulantes al estado sólido y estado líquido, que deben

encontrarse calibrados y comprobados en la práctica por medio de las pruebas de aforamiento.

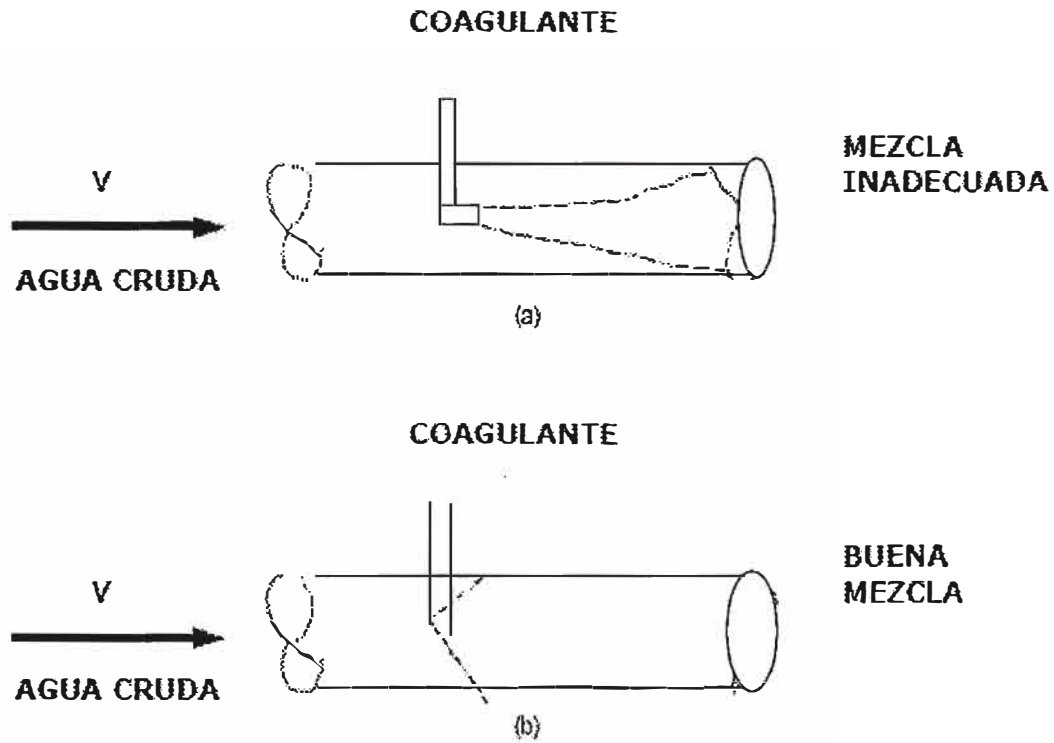


Figura 7 Condiciones de Mezcla

2.3.6. Etapas o Fases de la Coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas. (Ver figura 8)

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.

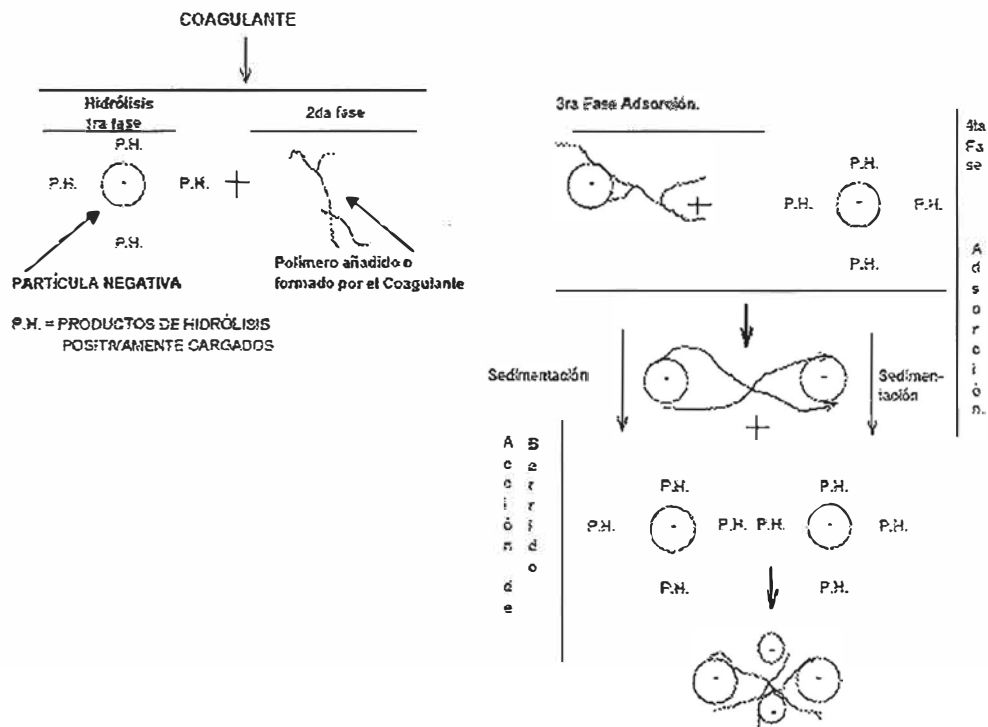


Figura 8. Fases de coagulación

2.3.7. Tipos de Coagulación

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: Por Adsorción y Por Barrido.

- a) **Coagulación Por Adsorción.**- Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea. (Ver figura 9)

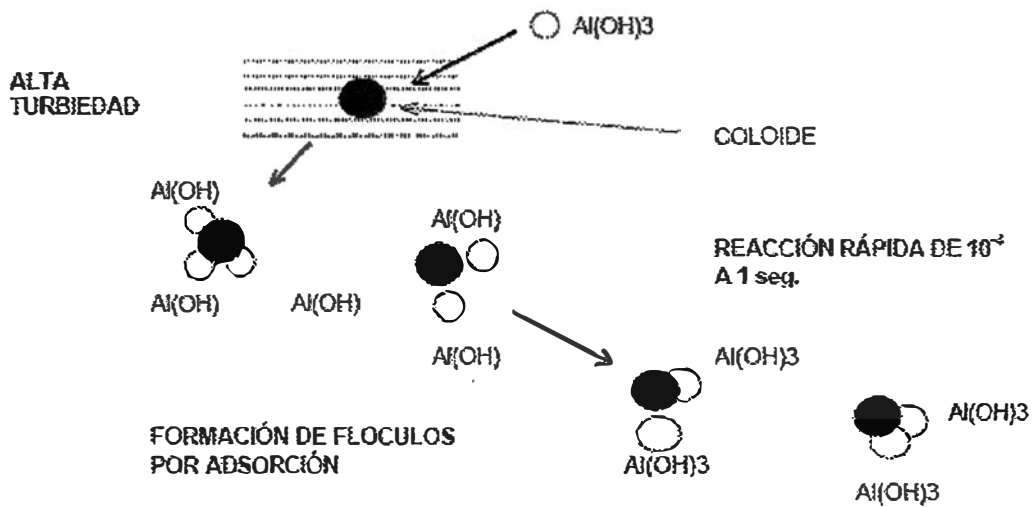


Figura 9. Coagulación por adsorción

- b) **Coagulación por Barrido.-** Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico. (Ver figura 10)

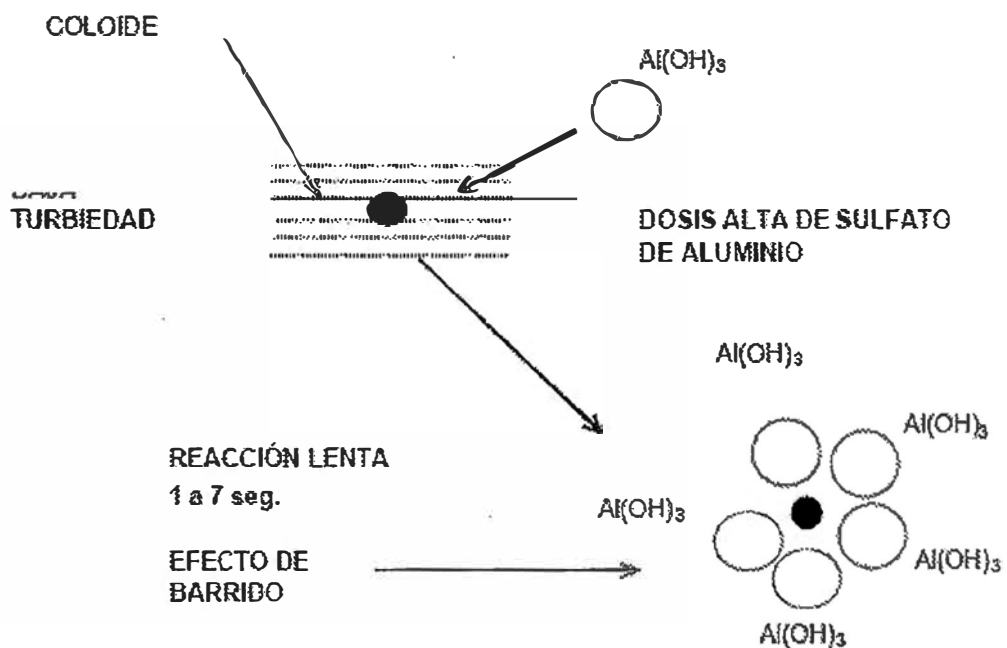


Figura 10. Coagulación por barrido.

2.3.8. Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación.

Tipo de Agua	Tipo de Coagulación	Requerimiento
1. Baja concentración de coloides, baja alcalinidad	Formación de precipitado Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de alcalinidad o partículas, o ambas
2. Baja concentración de coloides, alta alcalinidad	Formación de precipitado Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas
3. Alta concentración de coloides, baja alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides (pH 4 a 7)	Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas, adición de alcalinidad
4. Alta concentración de coloides, alta alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides (pH > 7)	Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas

2.3.9. Remoción de Turbidez.

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación, como se puede observar en la Figura 11.

Zona 1.- La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

Zona 2.- Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

Zona 3.- Si se continua incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se reestabilizan.

Zona 4.- Al aumentar aún mas la dosis, hasta producir una supersaturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad.

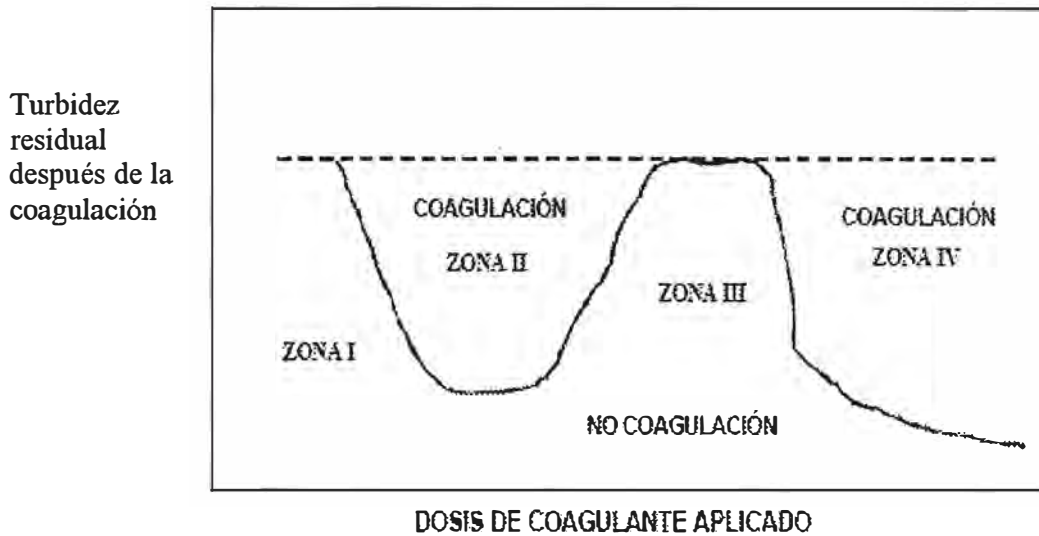


Figura 11. Remoción de la Turbiedad

2.4 FLOCULACIÓN ^{[2][4]}

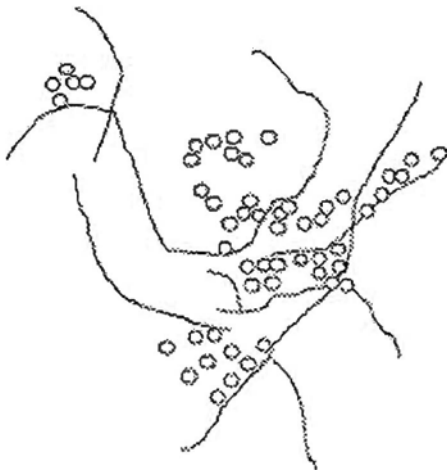
2.4.1. Objetivo de la Floculación

En la segunda etapa de la mezcla que corresponde a una mezcla lenta tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo es no mas del tiempo óptimo de floculación.

2.4.2. Definición

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Estos floculos inicialmente pequeños, crean al juntarse, aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. (Ver figura 12)



Floculación : El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar floculos mas grandes fácilmente sedimentables.

Figura 12. Formación del floculo

Sucedan que los floculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados, tal como se está mostrando en la figura anterior.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los floculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también aumenta su peso.

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

2.4.3. Tipos de Floculación.

Hay 2 tipos de floculación:

a. Floculación Pericinética

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

b. Floculación Ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica, luego se produce la floculación ortocinética.

2.4.4. Parámetros de la Floculación

Los parámetros que se caracterizan la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microfloculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floculo.
- Volumen de lodos (los floculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.4.5. Floculantes

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga.

Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

a) Floculantes Minerales.- Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación

es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

b) Floculantes Orgánicos Naturales.- Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

Los alginatos, cuya estructura polimérica son:

- Los ácidos manuránicos y.
- Los ácidos glucónicos.

c) Floculantes Orgánicos de Síntesis.- Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 10^6 a 10^7 g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

2.5 SEDIMENTACIÓN ^{[1][2]}

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su

clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua.

2.6 JART TEST ^[4]

Es un método experimental que consta de unidades de tratamiento simultáneas (ver figura 13). Cada una de ellas dispone de un agitador de palas normalizado con regulador de velocidad para el mezclado rápido o lento de las etapas de coagulación y floculación respectivamente. Dispone además de un controlador de tiempos y una pantalla iluminada por la parte posterior para observar bien el aspecto de las muestras tratadas.

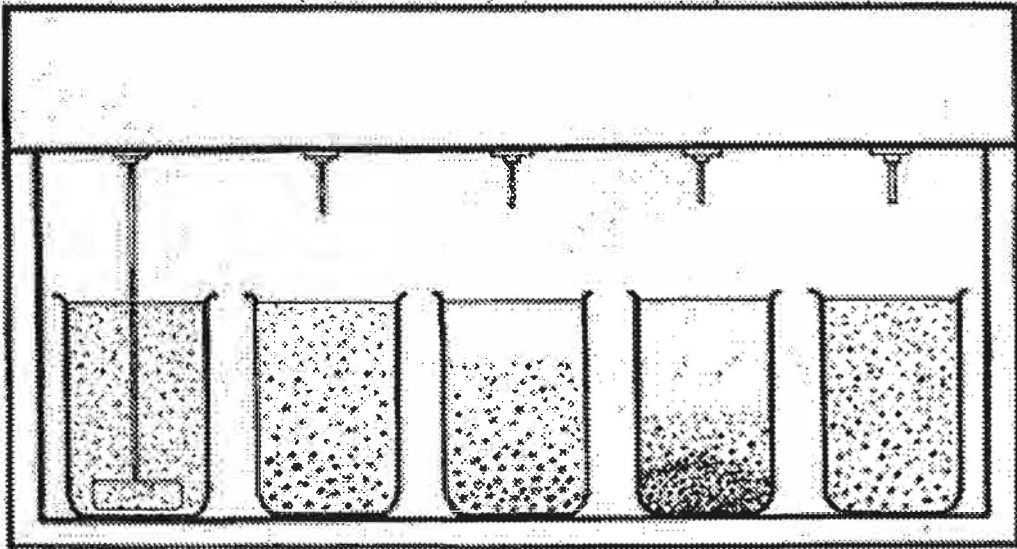


Figura 13. Equipo de Jar Test

CAPITULO III

MEODOLOGÍA EXPERIMENTAL A NIVEL LABORATORIO PARA TRATAR EL EFLUENTE

3.1 INTRODUCCIÓN

Una vez hecho el análisis preliminar de los parámetros del efluente, se busco cual sería el sistema a usar para tratar en base a estudios anteriores relacionados con el tema. En este capítulo se describirá los pasos que se siguieron para obtener la dosificación óptima para el método escogido.

3.2 TOMA DE MUESTRA

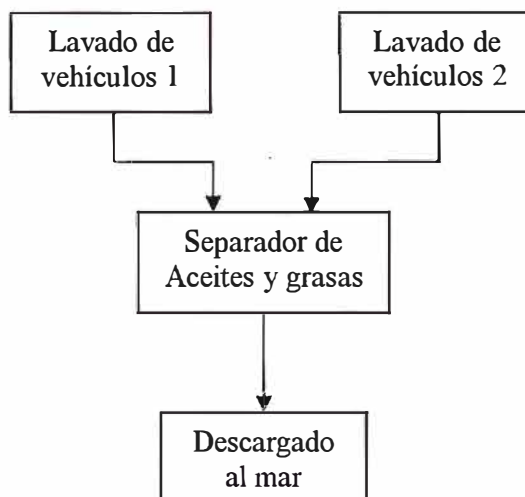
Para la evaluación del efluente generado por las operaciones del lavado de vehículos (vehículo pesado y vehículo liviano) se tomaron muestras de agua en el punto ubicado después del separador de aceites y grasas.

El lavado de vehículos se realizan de lunes a viernes entre 7:30 am y 16:15 pm y los sábados entre 7.30 am y 15:15 pm.

Las muestras fueron tomadas en días donde había efluente proveniente de uno o de los dos talleres (lavado de vehículo pesado y vehículo liviano).

Se tomaron varias muestras y almacenándose para luego ser llevadas al laboratorio de Servicios Ambientales para ser evaluados.

Diagrama de proceso antes del tratamiento del efluente.



3.3 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

El proceso de caracterización permite conocer la calidad del líquido a tratar, fijando el grado de depuración que se requiriere para tratarlo.

Los parámetros utilizados para la caracterización fueron: turbidez, pH, Conductividad, Salinidad, Temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), metales totales y metales disueltos.

Caracterización del Agua									
Muestras	Flujo l/seg	Flujo l/día	Temp °C	Salinidad	S.S. ppm	PH	Conductividad µS/cm	Turbidez NTU	Observaciones
Muestra 1	0.200	5760.0	27.9	1.2	109.3	7.64	2568	166.0	
Muestra 2	0.333	9600.0	27.0	0.9	207.1	7.46	1719	265.0	
Muestra 3	0.059	1694.1	27.5	0.8	47.3	7.27	1510	73.2	
Muestra 4	0.500	14400.0	28.6	0.8	67.4	7.17	1641	108.0	
Muestra 5	0.333	9600.0	27.6	1.1	22.2	7.13	2133	48.1	Enteramente solo el lavado de carros
Muestra 6	0.125	3600.0	27.7	1.0	28.3	7.46	2054	44.0	Solamente del Efluente 1
Muestra 7	0.083	2400.0	27.5	0.9	50.6	7.10	1763	111.0	Solamente del Efluente 1
Muestra 8	0.200	5760.0	28.6	0.9	93.1	7.58	1698	427.0	
Muestra 9	0.111	3200.0	26.0	1.4	122.6	7.32	2787	205.0	Solamente del Efluente 1
Muestra 10	0.077	2215.4	27.0	1.2	50.2	7.26	2410	133.0	Solamente del Efluente 1
Muestra 11	0.250	7200.0	25.5	0.9	21.9	7.10	1726	58.6	
Muestra 12	0.333	9600.0	26	1.2	28.7	7.35	2336	72.2	Ambos efluentes, poco efluente 1
Promedio	0.217	6252.5	27.2	1.0	70.7	7.32	2028.75	142.6	

Muestra de Agua			
Parámetros Secundarios de Campo	pH	unidades	6.77
	Temperatura	°C	27
	Turbidez	NTU	319
Metales Disueltos	Arsénico	mg/L	0.335
	Cobre	mg/L	0.756
	Hierro	mg/L	0.158
	Plomo	mg/L	< 0.02
	Zinc	mg/L	0.29
Metales Totales	Arsénico	mg/L	0.818
	Cobre	mg/L	19
	Hierro	mg/L	15.9
	Plomo	mg/L	0.63
	Zinc	mg/L	1.13

3.4 ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS

Para poder determinar las condiciones óptimas de operación, se realizaron corridas, a las que se fueron variando los parámetros: dosis de coagulante, velocidad de agitación, tiempo de agitación, adición de cal, etc., hasta poder determinar la dosificación óptima de operación.

En cada una de las diferentes corridas se observó la formación de los flóculos. Una vez que se seleccionó la dosis óptima del coagulante inorgánico, se comparó con la influencia del floculante comercial (Cat flocc).

3.5 EQUIPOS UTILIZADOS PARA ENSAYO EXPERIMENTAL:

Se dispone de los siguientes equipos:

1. Equipo de Jar Test, marca VELP, provisto de 4 unidades de tratamiento simultaneo de 1 L. de capacidad, cada una de ellas dispone de agitadores de paletas planas con variador de velocidad de agitación en un rango de 0 a 200 rpm. En este equipo se simularon los procesos tanto de agitación rápida, adición de químicos y la posterior sedimentación.
2. Agitador magnético, Marca NUOVA II, para la primera parte del análisis.
3. pHmetro-Conductímetro, marca YSI 63; modelo 63/10 FT, que nos permite obtener datos de pH, conductividad, salinidad y temperatura de las muestras
4. Balanza, marca OHAUS; modelo AP250D, para el peso de los filtros para determinar los sólidos totales suspendidos y para el peso en la preparación de reactivos.
5. Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100P, para medir el parámetro de turbiedad, que es el que nos va ayudar a determinar mejor los resultados del tratamiento.

3.6 REACTIVOS UTILIZADOS PARA ENSAYO EXPERIMENTAL:

Para las pruebas se dispondrá de los siguientes reactivos:

1. Un coagulante inorgánico: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, preparado al 1%, es un coagulante efectivo en pH de 6 a 8, permite la formación de flóculos pequeños.

Se observó que el uso del Sulfato puede hacer reducir el pH hasta un valor de 3.5, por lo que se decidió usar la lechada de cal para poder neutralizarlo

2. Un ayudante de la coagulación, lechada de cal a una concentración de 1.65 g/L, ayuda a la sal a mantener el pH, ya que el sulfato hace que el pH de la muestra disminuya.
3. Un reactivo comercial Cat flocc preparado al 1%, que será usado para el ensayo experimental como floculante.

3.7 CORRIDAS EXPERIMENTALES

Para esta primera parte se tomó varias muestras de agua del efluente en el punto ubicado después del separador de aceite y grasas para los análisis, variando los parámetros de operación hasta encontrar el más adecuado.

EL volumen de las muestras es de 200 mL. Para todos los casos de trabajó a temperatura ambiente.

3.7.1 Variando la Dosificación del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

3.7.1.1 Primera Corrida:

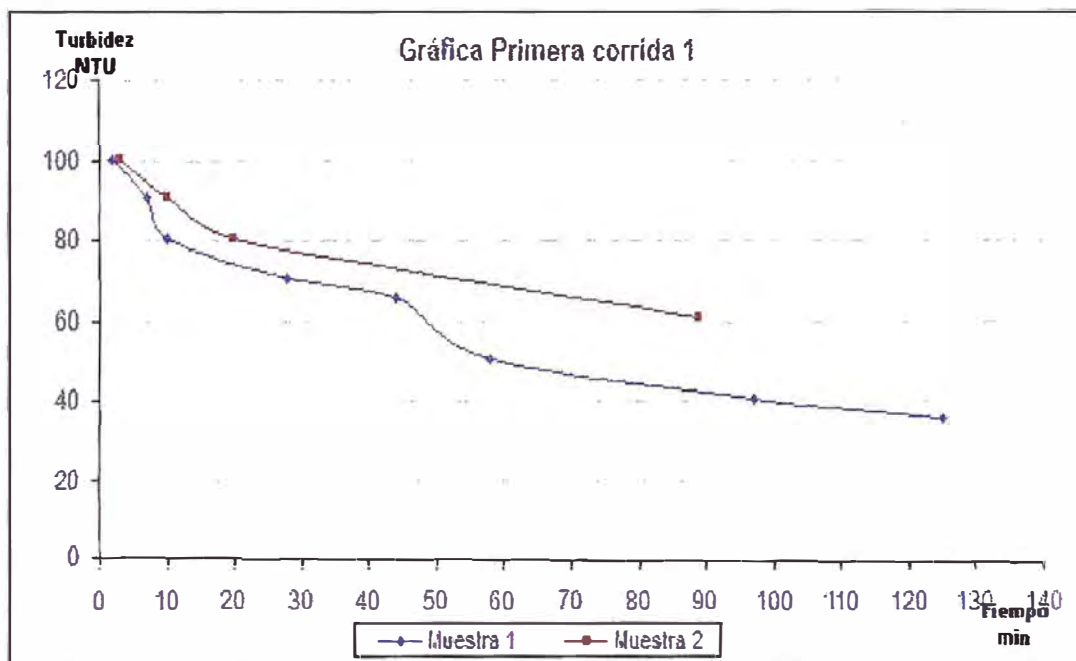
Parámetros	Muestra 1	Muestra 2
Cantidad $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	2	5
Tiempo con velocidad rápida (min)	4	4
Tiempo con velocidad lenta (min)	8	8
velocidad rápida (rpm)	993	993
velocidad lenta (rpm)	385	385

Muestra 1

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
2	100.5
7	90.9
10	80.8
28	70.7
44	65.7
58	50.5
97	40.4
125	35.4

Muestra 2

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
3	100.5
10	90.9
20	80.8
89	60.6



3.7.1.2 Segunda Corrida:

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Cantidad $Al_2(SO_4)_3$ (mL)	2	3	4
Tiempo con velocidad rápida (min)	4	4	4
Tiempo con velocidad lenta (min)	8	8	8
velocidad rápida (rpm)	993	993	993
velocidad lenta (rpm)	385	385	385

Muestra 1

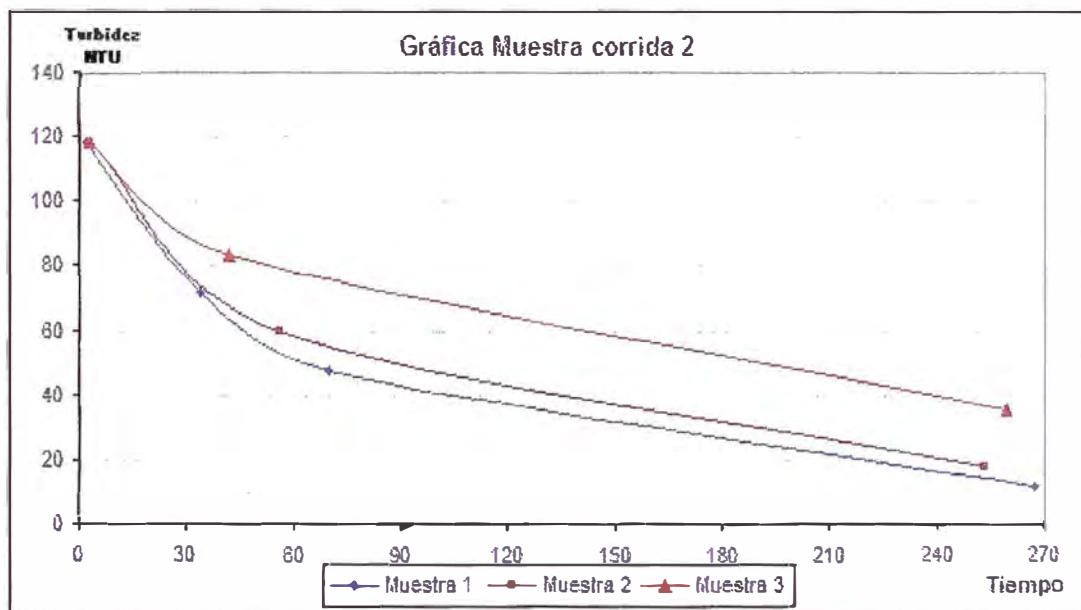
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
2	118.4
34	71.4
70	47.6
267	11.9

Muestra 2

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
3	118.4
56	59.5
253	17.9

Muestra 3

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
3	118.4
42	83.3
259	35.7



3.7.2 Variando la velocidad

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Cantidad $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	2	3	3
Tiempo con la veloc. rápida (min)	4	4	4
Tiempo con la veloc. lenta (min)	8	8	8
velocidad rápida (rpm)	1100	993	1100
velocidad lenta (rpm)	270	185	185

Muestra 1

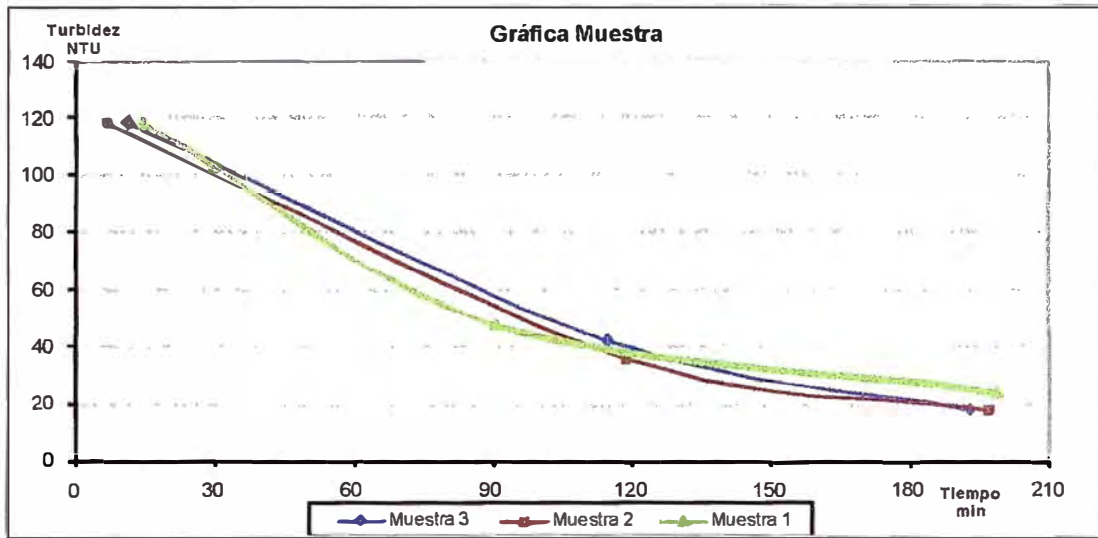
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
15	118.4
91	47.6
199	23.8

Muestra 2

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
7	118.4
119	35.7
197	17.9

Muestra 3

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
15	118.4
91	47.6
169	23.8



3.7.3 Variando el tiempo

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Cantidad $Al_2(SO_4)_3$ (mL)	3	3	3
Tiempo con la veloc. rápida (min)	3	4	3
Tiempo con la veloc. lenta (min)	10	12	12
velocidad rápida (rpm)	993	993	993
velocidad lenta (rpm)	185	185	185

Muestra 1

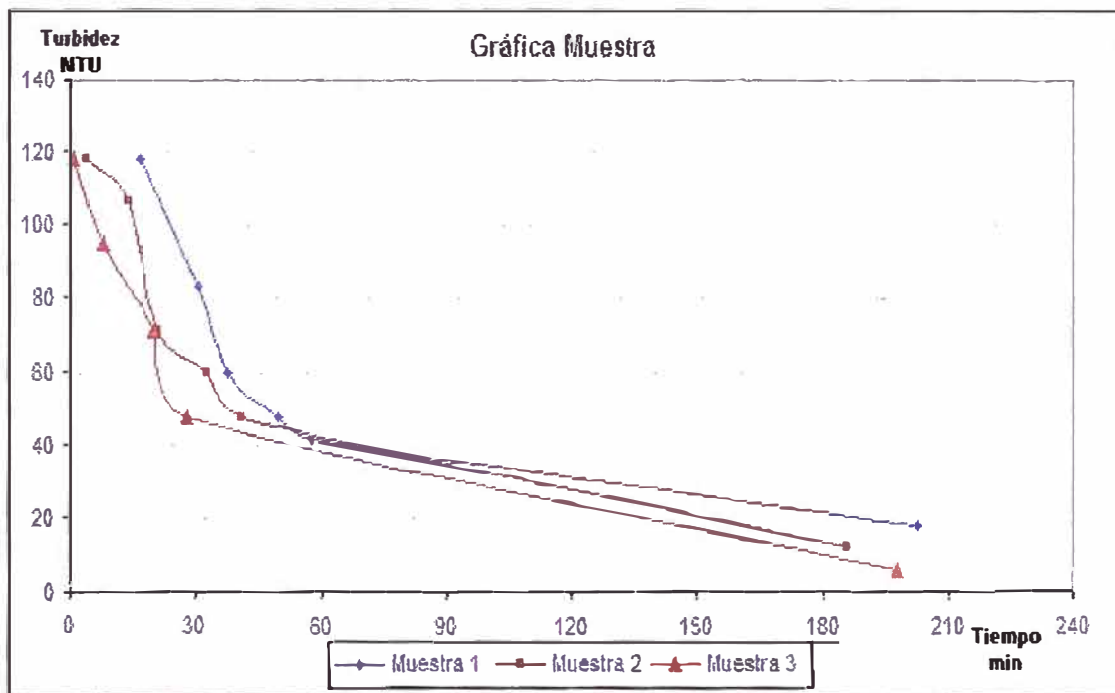
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
17	118.4
31	83.3
38	59.5
50	47.6
58	41.7
203	17.9

Muestra 2

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
4	118.4
14	107.1
21	71.4
33	59.5
41	47.6
186	11.9

Muestra 3

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
1	118.4
8	95.2
20	71.4
28	47.6
198	6



3.7.4 Usando Cal: Al evaluar el valor del pH al final de las corridas se observó que había una disminución sensible, es por eso que se usó lechada de cal como ayudante en la floculación y para mantener el pH.

La cal que se usó para las corridas y fueron tomadas de la planta que se encuentra dentro de las instalaciones de la Fundación.

3.7.4.1 Primera Corrida.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Cantidad $Al_2(SO_4)_3$ (mL)	2	3	3
Cantidad de Cal	0	1	4
Tiempo con la veloc. rápida (min)	3	3	3
Tiempo con la veloc. lenta (min)	12	12	12
velocidad rápida (rpm)	993	993	993
velocidad lenta (rpm)	185	185	185
PH inicial	7.5	7.5	7.5
PH final	5.89	4.58	7.28

Muestra 2

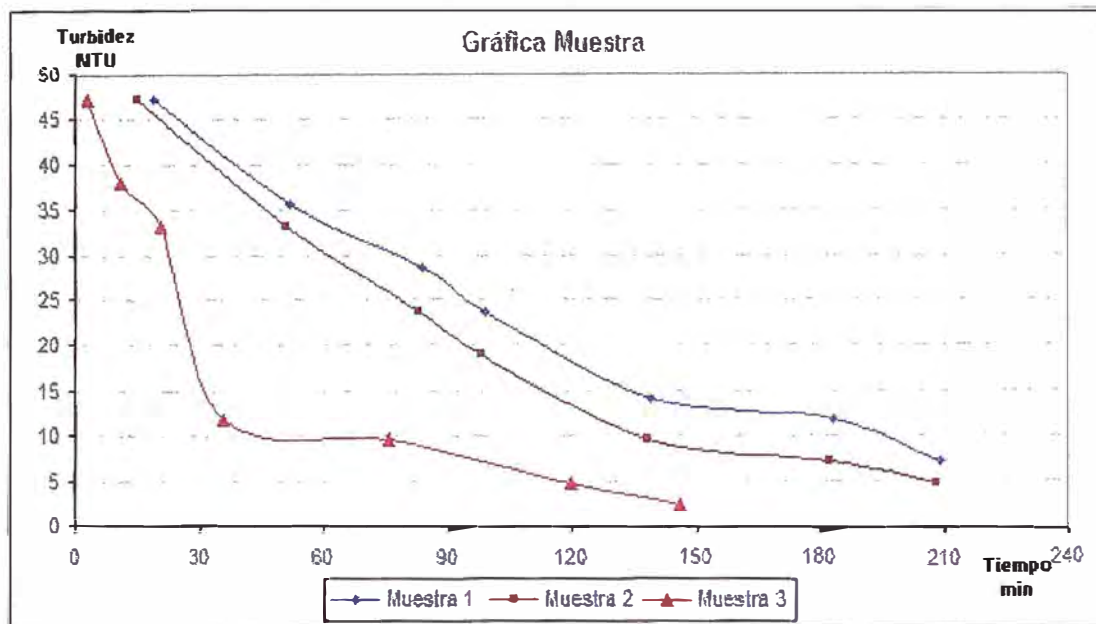
Muestra 1

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
19	47.3
52	35.6
84	28.5
99	23.8
139	14.3
183	11.9
209	7.1

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
15	47.3
51	33.3
83	23.8
98	19
138	9.5
182	7.1
208	4.8

Muestra 3

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
3	47.3
11	38
21	33.3
36	11.9
76	9.5
120	4.8
146	2.4



3.7.4.2 Segunda Corrida.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Cantidad $Al_2(SO_4)_3$ (mL)	3	3	3	3
Cantidad de Cal	3	4	5	6
Tiempo con la veloc. rápida (min)	3	3	3	3
Tiempo con la veloc. lenta (min)	12	12	12	12
velocidad rápida (rpm)	993	993	993	993
velocidad lenta (rpm)	185	185	185	185

Muestra 1

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
0	262.7
3	237.6
20	184.8
27	158.4
37	132
57	105.6
77	79.2
187	52.8
217	26.4

Muestra 2

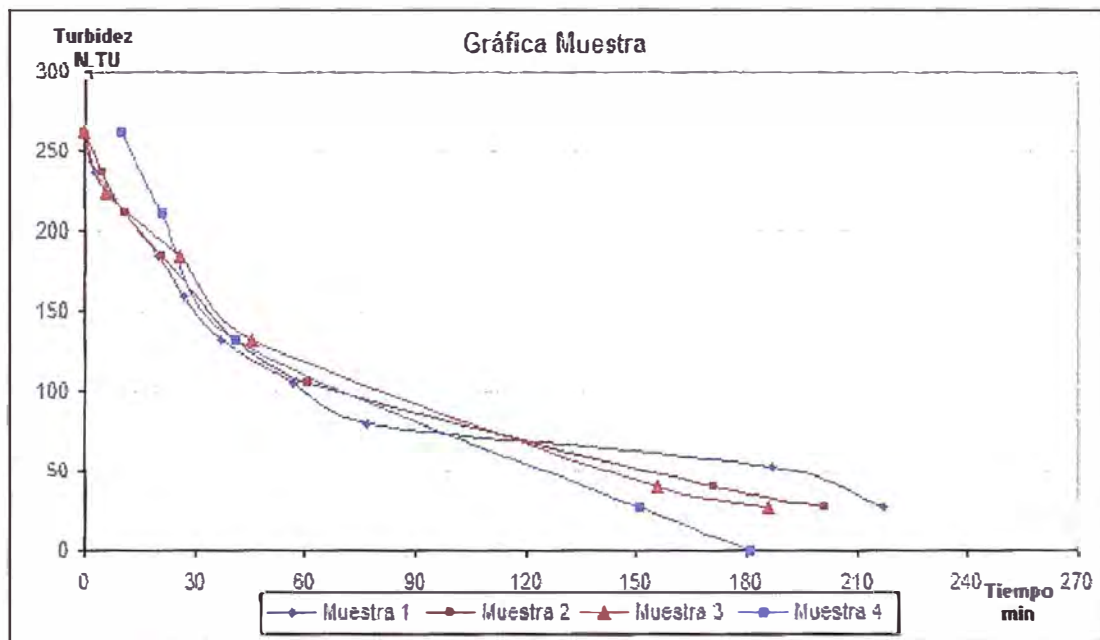
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
0	262.7
5	237.6
11	211.2
21	184.8
41	132
61	105.6
171	39.6
201	26.4

Muestra 3

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
0	262.7
6	224.4
26	184.8
46	132
156	39.6
186	26.4

Muestra 4

Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
10	262.7
21	211.2
41	132
151	26.4
181	5.2



Muestra	Tiempo (min)	pH (i)	pH (f)	Turbiedad (i)	Turbiedad (f)	$\mu\text{S/cm}$ (i)	$\mu\text{S/cm}$ (f)
Muestra 1:	141	7.68	7.65	264	6.98	1666	822
Muestra 2:	141	7.68	7.66	264	7.03	1666	831
Muestra 3:	140	7.68	8.01	264	7.83	1666	829
Muestra 4:	140	7.68	8.32	264	4.84	1666	830

3.7.5 Comparando con un químico comercial.

En esta corrida, se pretendió identificar si el sulfato de Aluminio mostraba una mejor performance si se le adicionaba un floculante comercial Cat Flocc.

Esta corrida se realizó utilizando la prueba de jarras, se tomaron muestras de 200 mL. Los reactivos usados son los siguientes:

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 1.0%

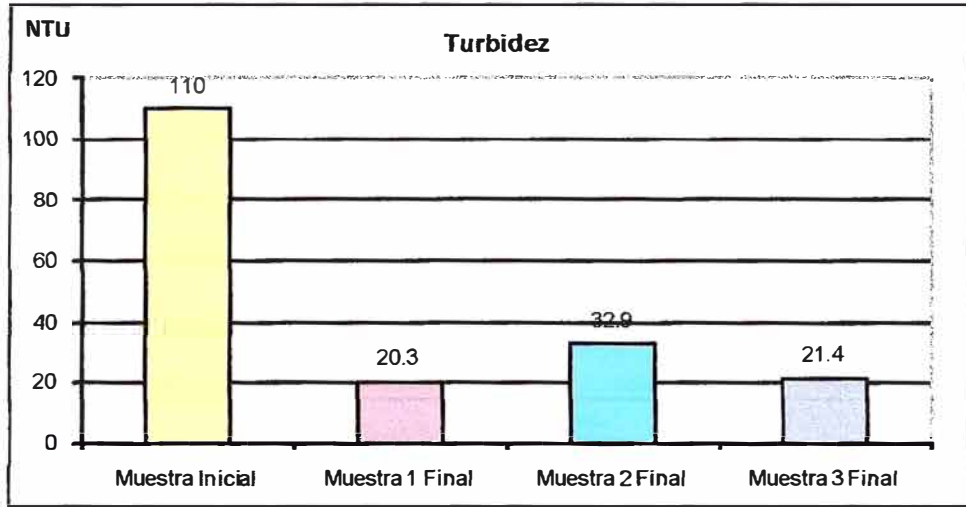
Cal: 1.65 g/L

Cat flocc: 1.0%

CONDICIONES		MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
t (min)	RPM	REACT (mL)		REACT (mL)		REACT (mL)	
0	200	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	15	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	15	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	15
2.5	200	Cal	30	Cal	30		
3	20	Cat flocc	10	Cat flocc	5	Cal	30
13	0						

PARÁMETRO FISICOS QUÍMICOS:

Parámetros	unidades	Muestra Inicial	Muestra 1 Final	Muestra 2 Final	Muestra 3 Final
Tiempo			5 horas	5 horas	5 horas
T	°C	22	21.8	22.1	22.0
pH		7.37	7.19	7.01	7.3
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2980	1050	1053	1045
Salinidad	ppt	1.2	0.5	0.5	0.5
Turbiedad	NTU	110	20.3	32.9	21.4



CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADO DE MEJOR PERFORMANCE.

Una vez realizado las corridas correspondientes se obtiene una dosificación que para nuestro efluente se obtiene:

Muestra: Agua de Efluente tomado en el punto ubicado después del separador de aceites y grasas

Condiciones Iniciales:

Temperatura: 24.2 °C

pH: 8.1

Turbiedad: 40.5 NTU

Conductividad: 1221 ppm

Salinidad: 0.6 ppt

Sólidos Suspendidos: 22.4 ppm

Condiciones de Operación:

1 Litro de muestra

15 mL reactivo $Al_2(SO_4)_3$

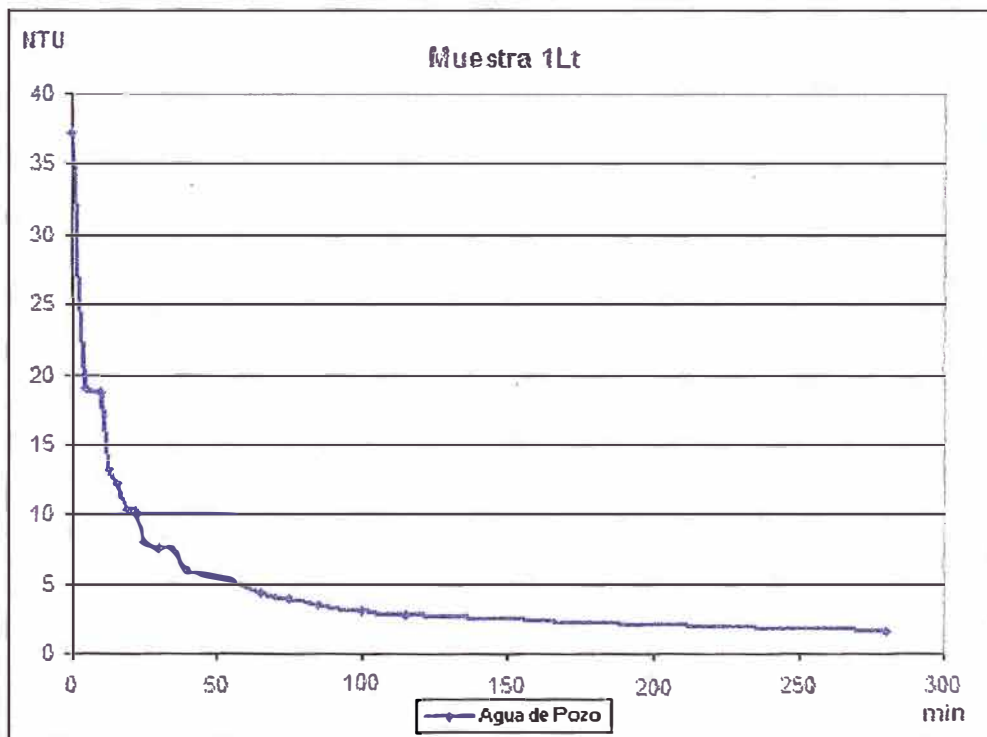
Tiempo para agitación rápida (993 rpm) 3 min

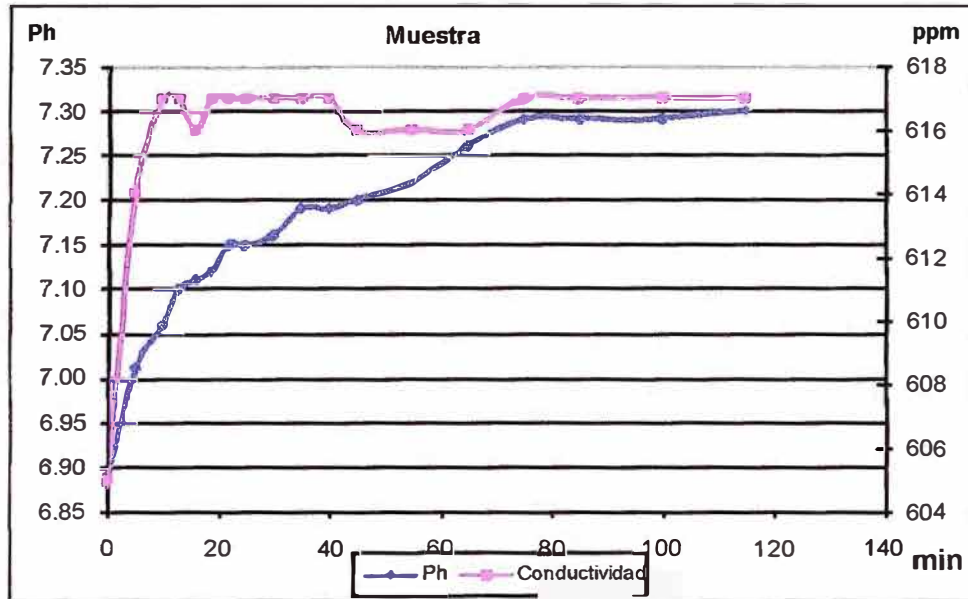
Tiempo para agitación lenta (185 rpm) 12 min

Cal 30 mL

Tiempo ¹ min	Turbiedad (f) NTU	pH (f)	Conductividad (f) mS/cm
0	37.2	6.89	605
5	19.1	7.01	614
10	18.8	7.06	617
13	13.3	7.1	617
16	12.2	7.11	616
19	10.4	7.12	617
22	10.2	7.15	617
25	8.06	7.15	617
30	7.51	7.16	617
35	7.38	7.19	617
40	5.99	7.19	617
45	5.7	7.2	616
55	5.2	7.2	616
65	4.36	7.26	616
75	3.87	7.29	617
85	3.51	7.29	617
100	3.07	7.29	617
115	2.8	7.3	617
280	1.56		

1: tiempo de reposo luego de la adición de reactivos y agitación



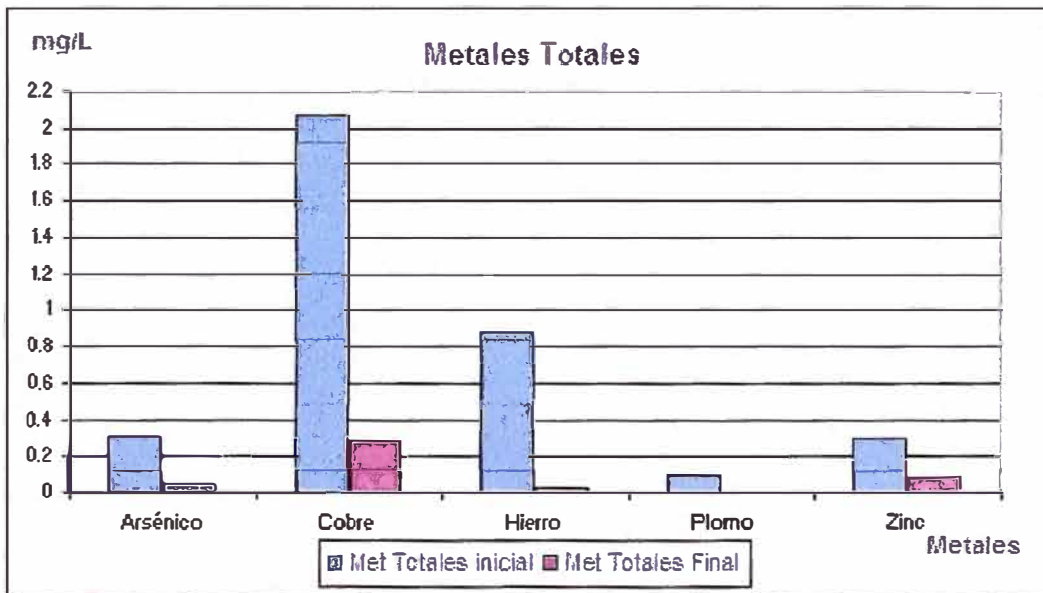
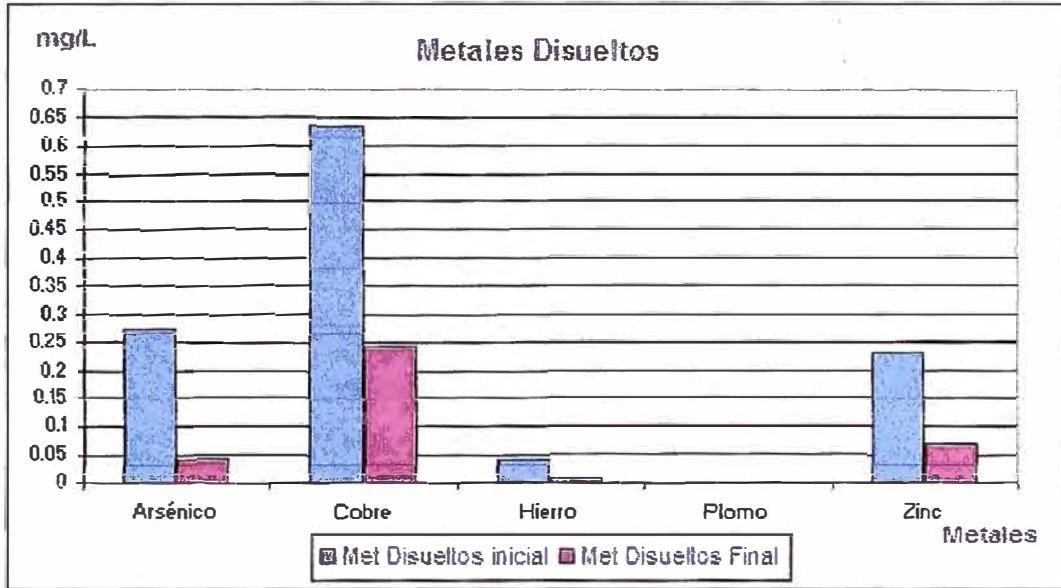


Metales Disueltos:

	Unidades	Muestra (i)	Muestra (f)
Arsénico	mg/L	0.271	0.043
Cobre	mg/L	0.634	0.24
Hierro	mg/L	0.041	0.006
Plomo	mg/L	< 0.02	< 0.02
Zinc	mg/L	0.23	0.07

Metales Totales:

	Unidades	Muestra (i)	Muestra (f)
Arsénico	mg/L	0.316	0.042
Cobre	mg/L	2.07	0.284
Hierro	mg/L	0.883	0.018
Plomo	mg/L	0.1	< 0.02
Zinc	mg/L	0.3	0.08

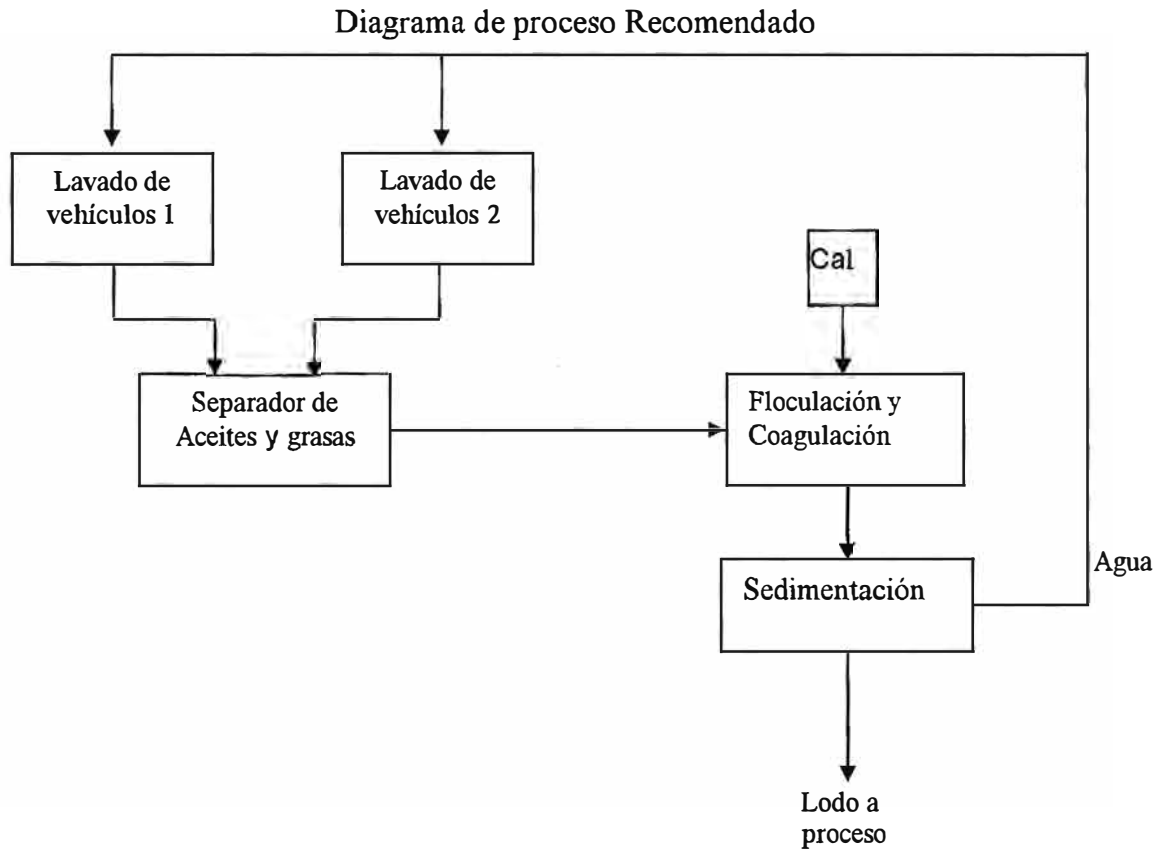


4.2 TRATAMIENTO DE LODOS:

Si bien es cierto este trabajo se ha tratado del tratamiento del efluente, otro tema que no debe dejarse de lado son los lodos que se forman debido al proceso.

Debido a que su composición es básicamente de sólidos disueltos y metales disueltos, se opta que será regresarla al proceso de fundición.

4.3 DIAGRAMA DE PROCESO RECOMENDADO.



CAPITULO V
COSTOS DE REQUERIMIENTO

5.1 Costos de Requerimiento

Dosificación Requerida

Para 1000 mL de muestra:

15 mL reactivo $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1% de dilución

Cal 30 mL con una disolución de 1.65 g/L

Tiempo para agitación rápida (993 rpm) 3 min

Tiempo para agitación lenta (185 rpm) 12 min

Requerido en gramos de reactivos para una muestra de 1 L

Agua para dilución (L)	0.045
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (g)	0.15
Cal (g)	0.0495

Según la caracterización:

Flujo aproximado L/día	Máx.	prom
	14400	6252

Para calcular el requerimiento tomamos como base el máximo valor de efluente

14400 L/día

Entonces para 1 día requerimos:

Agua para dilución (L)	648
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (g)	2160
Cal (g)	712.8

Para el año se requerirá:

Considerando que el año tiene 52 semanas y solo se trabaja 6 días por semana

Agua para dilución (L)	202200
Al ₂ (SO ₄) ₃ (kg)	673.9
Cal (kg)	222.4

Entonces si le damos un 20% de stock el costo por año sería de:

	Requerimiento	Precio	Costo
Agua para dilución (m ³)	242.6	2.242	543.9
Al ₂ (SO ₄) ₃ (Kg)	808.7	1.14	921.9
Cal (Kg)	266.9	0 ⁽¹⁾	0

TOTAL S/. 1465.9

(1): Costo cero, debido a que la empresa produce dicho insumo.

Si trato $14.4 \text{ m}^3/\text{día} * 6\text{días /semana} * 52 \text{ semanas/ año}$

$4492.8 \text{ m}^3 \text{ al año}$

Costo de tratamiento sería: 0.33 soles/m^3

Costo reducido de uso de agua como insumo sería **S/. 10072.9**

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- Reutilizar el agua en la industria de los procesos y en caso de una fundición, es muy importante ya que el agua es un recurso natural limitado.
- Después de la prueba con la dosificación óptima, la muestra presenta un buen aspecto en el color, una excelente reducción en turbiedad, indicando además que el agua tratada tiene buenas características físico-químicas para su reuso.
- Se observó que el coagulante $Al_2(SO_4)_3$ sin floculante y con adición del floculante Cat flocc presentan resultados similares lo que indica que no es necesario la adición de floculante por las características de nuestro efluente, donde la principal ventaja es la reducción tanto de los minerales totales como de los minerales disueltos.
- Los lodos que se forman después del tratamiento, por su composición puede ser regresado al proceso.
- Basados en estos resultados se puede afirmar que la calidad del efluente del lavado de vehículos puede ser mejorado usando un tratamiento físico-químico, eliminándose la descarga al mar de dicho efluente y reutilizándose para el mismo proceso.
- Así mismo se puede concluir que para la empresa el costo del tratamiento sería 0.33 soles / m^3 .
- Es posible promover la reutilización del agua del lavado de vehículos, lo cual podría significar una reducción en el uso del agua como insumo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Weber Walter J., Jr, (1979) Control de la calidad del agua. Procesos Físicos Químicos, Editorial Reverte, Reimpreso en España 2003, pág. 64.
- [2] María Graciela Godoy Z. (2001) Coagulación y Floculación de contaminantes del agua, Revista Ciencia Abierta de la Universidad de Chile, Volumen 15.
- [3] Soto E., Miranda R., Sosa C. y Loredo J. (2006) Optimización del proceso de Remoción de metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química, Información Tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León – México, volumen 17. pág. 33.
- [4] American Water Works Association, (1971) Water Quality and Treatment. A Handbook of Public Water Supplies, M. & Hannah, S. A., 1971, Capítulo 3, Tercera edición.
- [5] Bratby, J. R. (1981) Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation systems. Journal of the American Water Works Association, EE.UU, volumen. 73, pp. 312–318.
- [6] Dr. Cliff J. Kirchmer, Aspectos Químicos y Físicos de la coagulación del Agua, Asesor Regional en Química y Laboratorios CEPIS. Lima.- Perú.
- [7] Ramírez R., Durán A., Bernal A., Orta T., Proceso de Coagulación-Floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos, Edificio E, Laboratorio 301, Paseo de la Investigación Científica, México.
- [8] <http://desarrollosostenible.wordpress.com/2006/09/27/informe-brundtland/>

ANEXOS

LIMITE MÁXIMOS PERMISIBLES

Tabla N° 01

Limites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad

	Parámetros	Unidad	LMP	Método de ensayo
I	Generales			
1	pH		6,5 – 8,5	APHA 4500-H+ - B Pag. 4-00 a 4-04 21ava edición
II	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	30	APHA 2540-D Pag. 2-58 a 2-59 21ava edición
III	Orgánicos			
3	DBO	mg/L	120	EP6 method 410.1 6004-79-020 REVISED MARCH
4	DBD	mg/L	20	APHA, WWA-WEF 5210 B, 21st edition
5	Hidrocarburos Totales de Petróleo		10	DIN EN ISO 9377-2, Julio 2001
IV	Inorgánicos			
6	Amoníaco (como N)	mg/L	10	
7	Arsénico total	mg/L	0,1	APHA 3114-C Pag. 3-37 a 3-38 21ava edición
8	Cadmio total	mg/L	0,1	APHA 3111-B, Pag. 3-17 a 3-19, 21st Edition
9	Cobre total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pag. 3-17 a 3-19 21ava edición
10	Cromo VI (*)	mg/L	0,1	Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, WWA-WEF, 3500 Cr-B 21 st Edition
11	Hierro total	mg/L	2	APHA 3111-B Pag. 3-17 a 3-19 21ava edición
12	Mercurio total	mg/L	0,01	APHA 3112-B Pag. 3-23 a 3-24 21ava edición
13	Plomo total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pag. 3-17 a 3-19 21ava edición
14	Zinc total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pag. 3-17 a 3-19 21ava edición
V	Biológico			
15	Coliformes totales	NMP/100 mL	1 000	APHA 9221 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition

(*) En muestra no filtrada

Nota:

Para más detalles dirigirse a los cuerpos de agua beneficiarias

FICHA TECNICA DEL SULFATO DE ALUMINIO

1. DESCRIPCION:

El Sulfato de Aluminio es una Sal Inorgánica, manufacturada a partir de una fuente de Aluminio (Hidróxido de aluminio, bauxita, etc.) y ácido sulfúrico, debidamente clasificado por proceso granulométrico.

Corresponde a un hidrato con 14 moles de agua y fórmula general $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Cuando está en solución se disocia en cationes y aniones, donde el catión Al^{+3} finalmente se hidroliza formando una estructura tetraédrica con las moléculas del agua, el cual facilita el proceso físico-químico de la coagulación y posterior floculación de las partículas coloidales.

2. CARACTERISTICAS:

A.- APARIENCIA: Sólido granulado, color blanco, soluble en agua.

B.- ANALISIS QUIMICO:

Características Especificación

Aluminio, Al_2O_3 , % 17.0 mín.

Basicidad, Al_2O_3 , % 0.60 máx.

Hierro, Fe_2O_3 , % 0.05 máx.

Insolubles, % 0.20 máx.

C.- ANALISIS GRANULOMETRICO:

Características Especificación

Malla 4, pasante, % 100

Malla 10, pasante, % 60 mín.

Malla 50, pasante, % 20 máximo

3. APLICACIONES

Por la alta carga del catión Al^{+3} que tiene el sulfato de aluminio, se emplea como coagulante y floculante en la mayoría de los procesos hidrodinámicos de separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales. En el tratamiento de agua para consumo humano es el principal coagulante/floculante, aprobado por normas internacionales ANSI/ AWWA B 403-93 y Norma Técnica Peruana NTP 311.095-1999.

Otros campos de aplicación de este producto es en la industria de bebidas y gaseosas, tratamiento de agua residual, agente encolante para papeles y cartones, fabricación del carmín, astringente en desodorantes, agente de encurtido en la industria peletera, acelerante de fraguado en la industria de la construcción, etc.

4. CONDICIONES DE ALMACENAJE:

Almacenar sobre parihuelas, en lugar seco, bajo techo, protegido contra el sol y la lluvia para evitar que el producto se endurezca formando bloques compactos por ganancia o pérdida de agua.

Es recomendable apilar en rumas de un máximo de 18 bajo las condiciones mencionadas.

Para el embarque y transporte vía marítima se recomienda cubrir las bolsas adecuadamente para protegerlas de la humedad, luz solar directa y cambios de temperatura extremos.

5. REFERENCIAS:

-Especificación 32-C/010, serie 4 del 24-06-2004, San Miguel Industrial S.A.

-AWWA Standard for Aluminum Sulphate- Liquid, Ground or Lump.
NSI/AWWA B 403-93.

FICHA TECNICA DE LA CAL

CARACTERISTICAS GENERALES

Denominación Técnica	CAL HIDRATADA AL 80 % DE OXIDO DE CALCIO
Unidades de medida	kg
Descripción general	Polvo finamente dividido, resultante de la hidratación de la cal viva con una cantidad suficiente de agua para satisfacer su afinidad química. Es esencialmente hidróxido de calcio e hidróxido de magnesio, dependiendo del tipo de cal viva empleada en el proceso de apagado.

CARACTERISTICAS TECNICAS

Requisitos Físicos: La granulometría de la cal se establece con el propósito de satisfacer los requisitos de diferentes tipos de equipos.

La cal hidratada debe estar seca, finamente pulverizada y libre de cualquier material extraño. La uniformidad del tamaño de las partículas es una característica importante que debe ser acordada entre el comprador y el vendedor.

Requisitos Químicos Mínimos: La cal hidratada debe tener al menos 80% de óxido de calcio utilizable.

Nota: La cal viva debe tener al menos 80% de óxido de calcio disponible, deberá elevar la temperatura máxima, como mínimo, en 20 minutos en el proceso de apagado de acuerdo a lo establecido en la norma AWW/ANSI B 202.

EXIGIR CERTIFICACIÓN

Certificación del peso: El comprador puede solicitar que los envíos a granel sean acompañados por certificados de peso o pesajes certificados o también los pesos pueden ser verificados por el comprador en el propio envío.

OTRAS ESPECIFICACIONES

Rotulado:

Cada envío de material debe ser envasado y rotulado en la forma que determine el organismo nacional competente, dicho rotulo debe contener entre otros, lo siguiente:

- * Nombre del fabricante
- * Ingrediente activo y su contenido
- * Peso neto
- * Numero de registro de autorización del organismo competente.

Envasado:

El productor o envasador debe despachar el cloro en recipientes que cumplan todas las condiciones establecidas en las reglamentaciones para materiales peligrosos de la legislación vigente. Los recipientes se deben inspeccionar, reacondicionar, limpiar, mantener y cargar.

Precauciones en el envasado

Los envasadores que reciban cloro de un productor deben tener cuidado especial y condiciones mínimas de seguridad en las operaciones de envase, de manera que no se adicione humedad u otros contaminantes que aumente la formación de cloruro férrico u otro material peligroso que pueda tapar las válvulas, los evaporadores o los cloradores y eviten la corrosión que produzca fugas con envenenamiento del personal.

El envasado y transporte de cal hidratada debe cumplir con la legislación nacional vigente que regula el transporte.

FICHA TECNICA DE LA CAT-FLOC (NALCO)

COAGULANTE-FLOCULANTE LÍQUIDO

BENEFICIOS DEL PRODUCTO

- Líquido, fácil de manejar
- Completamente miscible con agua
- Efectivo en una amplia gama de pH
- Disminuye lodos de tratamiento
- Reduce o elimina la necesidad de ajuste del pH.

USOS PRINCIPALES

Cat Flocc es un coagulante-floculante líquido cuyo uso se recomienda en las siguientes aplicaciones:

- Acondicionamiento para filtración de arena y grava de aguas de superficie e industriales
- Clarificación de aguas de desecho/aguas de recirculación
- Espesamiento y drenaje de lodos en plantas de tratamiento de desechos municipales
- Ayuda en la sedimentación para clarificación con floculantes inorgánicos
- Componente catiónico en floculación de dos etapas.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Cat Flocc es un polielectrolito catiónico de peso molecular moderado diseñado para neutralizar cargas de sólidos suspendidos.

DOSIFICACIÓN

La dosificación específica de Cat Flocc, variará dependiendo de las características de operación de su sistema, de la química del agua, y de la gravedad de los problemas que se encuentren.

Su representante le recomendará la dosificación óptima que sea necesaria para garantizar el máximo desempeño del programa de acuerdo con sus parámetros de sistema específicos.

ALIMENTACIÓN

Antes de utilizarse, Cat Floc, deberá diluirse en una solución 1 -10%. Cat Floc deberá aplicarse en un punto en que se garantice la máxima distribución y mezcla. Al emplear soluciones más diluidas de Cat Floc y mezclar después de la aplicación, será posible aumentar la eficiencia.

MATERIALES

Equipos de almacenamiento y aplicación (bombas, líneas) deberán estar hechos de CPVC, PVC, PP, HDPE, Kynar, Viton, FRP, Plasite 7122 (epoxy) y Plasite 4100 (éster vinilo). No deberá utilizarse acero carbono, acero inoxidable 304 + 316, LDPE, Neoprén, Buna-N, caucho, Silicona 65 en contacto con el producto puro.

MANEJO – ALMACENAMIENTO – EMBARQUE

Como precaución estándar con todas las sustancias químicas, recomendamos el uso de equipos de protección tales como antiparras y guantes de goma durante su manipulación. Consultar las Hojas de Seguridad de los Productos como la única fuente oficial de información sobre Medio Ambiente y Prevención de Riesgos.

El producto podrá almacenarse por al menos 12 meses desde la fecha de embarque en caso de mantenerse en su estado original, en un contenedor sin abrir y bajo condiciones normales de almacenamiento. Será necesario protegerlo de congelamiento y de la exposición a temperaturas elevadas.

Cat Floc se encuentra disponible en envases no retornables de distintos tamaños.