

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**PRUEBAS DE SEDIMENTACIÓN REALIZADAS CON MUESTRAS
DE AGUA DE MINA**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA**

**PRESENTADO POR:
ANDRES MELQUIADES VILCA ZEGARRA**

LIMA-PERU

2009

DEDICATORIA:

A Dios, mis padres, hermanos, y mis hijos que fueron fuente de donde tome valor y fuerzas durante todos estos años de larga y dura lucha llena de éxitos. A todos mis profesores por haber tenido el honor de ser su alumno, de quienes estaré siempre infinitamente agradecido, por la paciencia que me tuvieron y por todo lo brindado en mi permanencia en la universidad.

Finalmente a todas las personas que me apoyaron en la elaboración del presente trabajo, muchas gracias.

Resumen

El presente trabajo se llevo a cabo en coordinación con los ingenieros del Área de Medio Ambiente, de la minera Shila-Paula; con los que se realizó visitas a bocamina (niveles 4880 y 4980 de la veta Nazareno) y en la Relavera # 4, con la finalidad de conocer la problemática del tratamiento de clarificación y purificación de las aguas de drenaje y presentarles una alternativa de tratamiento empleando reactivos de coagulación y floculación. La coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración y la floculación tiene por ayudar a favorecer con la ayuda de la mezcla lenta, el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un floculo que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración. Utilizando estos métodos de tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos se logra mejorar la calidad del agua tratada hacia los cuerpos receptores, de esta manera se elimina el impacto que puede ocasionar la presencia de sólidos y metales disueltos. El uso de la Floculación en el tratamiento del relave de flotación nos permite recuperar agua para ser utilizada a nivel industrial, De esta manera se logra minimizar el uso de agua fresca o de reposición proveniente de las lagunas del entorno al implementar la recirculación del agua tratada en los procesos de beneficio de minerales así como en las operaciones de minado.

INDICE

INTRODUCCIÓN	01
CAPITULO I - ANTECEDENTES	03
1.1.- Breve reseña histórica	03
1.2.- Algunos trabajos anteriormente realizados	05
CAPITULO II - FUNDAMENTO TEORICO.....	06
2.1.- Métodos convencionales de mitigación	06
2.2.- Método Primario de Coagulación y/o Floculación.....	19
CAPITULO III- INGENIERIA DEL PROYECTO.....	42
3.1.- Proceso Experimental	42
3.2.- Tratamiento de Efluentes y Relaves	53
3.2.1.- Aguas del Nivel 4880 – Veta Nazareno	53
3.2.2.- Aguas del Nivel 4980 – Veta Nazareno	60
3.2.3.- Relave de Flotación (Relavera # 04).....	72
CAPITULO IV EVALUACIÓN ECONOMICA	79
4.1.- Análisis Costo Beneficio	79
4.2.- Inversión, relación costo y/o beneficio de los ensayos y uso a nivel industrial.....	81
4.3.- Viabilidad del proyecto.....	84

CAPITULO V ASPECTOS AMBIENTALES	85
5.1.- Normatividad vigente del MEM.....	86
5.2.- Impactos Ambientales en la etapa de Explotación y Beneficio de Minerales.....	87
5.3.- Solución a los impactos ambientales	90
5.4- Contenidos finales promedio y la remediación final de las aguas vertidas a los cuerpos receptores.....	102
CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFÍA.....	115
A.NEXOS	116

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo es realizado para mejorar la calidad de aguas vertidas a los cuerpos receptores, provenientes en de los niveles 4880, 4980 y la Relavera . Es muy importante mencionar que características distinguen al agua contaminada de otra sin contaminación; en este caso la turbidez y el color del agua son causados principalmente por micro partículas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por un tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado aunque su concentración es muy estable, logran mantenerse alejadas unas de las otras. Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un flóculo que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración.

El presente trabajo se llevo a cabo en coordinación con los ingenieros Víctor Hugo Velásquez del Área de Medio Ambiente, se realizó una visita a bocamina (niveles 4880 y 4980 de la veta Nazareno) y en la Relavera # 4.



FIGURA - Relavera que produce aguas con altos contenidos TSS.

CAPITULO I

ANTECEDENTES.

1.1.- Breve reseña histórica.

Compañía de Exploraciones, Desarrollo e Inversiones Mineras, CEDIMIN S.A.C., es una empresa subsidiaria en 100% de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y es propietaria del 100% de las acciones de MINERA SHILA S.A.C. y del 100% de MINERA SHILA-PAULA S.A.C. y tiene bajo su dirección las operaciones de estas empresas. Adicionalmente en Mayo 2002, CEDIMIN asumió la gerencia de las Compañía Colquirrumi (73.63% de Buenaventura) y Coimolache (40.09% de Buenaventura) y con ello la conducción de sus proyectos de exploración. También, CEDIMIN es concesionaria de interesantes proyectos de exploración que son explorados en estrecha relación con el Departamento de Exploraciones de Cia. de Minas Buenaventura S.A.A. entre los que conviene mencionar el prospecto Trapiche en el departamento de Apurímac y el de Crucero en el departamento de Puno. Minera Shila, ubicada en las alturas de Arequipa, ha producido 21,946 onzas de oro durante el año 2,006. Durante sus 18 años de vida, su planta concentradora ha tratado 848,673 TCS obteniendo 268,628 onzas de oro y 6'503,244 onzas de plata; tanto Minera Shila como Minera Paula operan a más de 5,000 metros de

altura y manteniendo el record en los últimos 9 años sin accidentes fatales. En Shila se sigue demostrando que una mina de 200 TC/día puede operar dentro de los mejores estándares y ser rentable en Perú. Minera Shila S.A.C. operó hasta diciembre de este año 2007, fecha que en la cual culmina su operación. Minera Paula, ubicada a 15 km. de Shila explora vetas de Au-Ag y explota a pequeña escala mineral de alta ley para exportación directa y de menor ley que es tratado en la planta de Shila. La exploración de la mina está incrementando las reservas en especial en la veta principal Nazareno. Tanto Shila como Paula son yacimientos filoneanos con vetas irregulares de alta ley con posibilidades interesantes de crecimiento en el futuro y que vienen no sólo cubriendo sus gastos incluyendo sus exploraciones, sino que arroja pequeñas utilidades. En esta unidad se trataron 74.7 mil TCS de mineral, recuperando 39.2 mil onzas de oro y 101.3 mil onzas de plata, lo que significa un 21.39% de incremento en oro, comparado con la del 2007.

Las reservas al 31 de diciembre de 2008 totalizan 48.5 mil TCS con 0.616 Oz/TC de oro y 2.10 Oz/TC de plata. Esto significa una disminución de 69.07% en onzas de oro y 65.12% en onzas de plata respecto al año 2007, originado básicamente por la subida de nuestros costos. Los recursos minerales totalizan 16.9 mil TCS con 0.955 oz/TC de oro y 1.40 Oz/TC de plata.

La ejecución de sondajes tuvo resultados positivos pues algunos de ellos interceptaron las vetas Nazareno 3 y Angélica María, por debajo del Nivel 4,880

con interesantes valores en oro. Por ejemplo, el LY44-S-015-08 cortó a la veta Angélica María en la cota 4,860 m.s.n.m. con 1.00 metros de ancho y 1.155 Oz/TC de oro, y a la veta Nazareno 3, en la cota 4,836 m.s.n.m. con 0.45 metros de intervalo y 0.717 oz/TCS de oro; y el sondaje DMC 232(2) – 333-08 interceptó a la veta Nazareno 3 en la cota 4,800 m.s.n.m. con 0.70 metros de ancho con 18.088 Oz/TC de oro y 6.36 Oz/TC de plata. Estos resultados permitirán explorar las vetas de Paula por debajo de este nivel para lo que se está construyendo un pique en la cota 5,000 para establecer los niveles 4,830 y 4,780.

1.2.- Algunos trabajos anteriormente realizados

Evaluaciones similares en cuanto a tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos con el fin de reducir o eliminar impactos ambientales; se llevaron a cabo en las Unidades Mineras: Izcaycruz y Churin (Los Quenuales), Tamboraque (San Juan Gold Mining), Uchuchacua (Buenaventura S.A.A.), Atacocha (Milpo), El Brocal (capitales mixtos).

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO.

2.1.- Métodos convencionales de mitigación.

El tratamiento de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria minera. Debe de ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la comunidad y como parte del proceso de producción. En este último sentido, se deben tener en cuenta dos tipos posibles de costos:

- **Costo de producción:** proceso de tratamiento y “canon de vertido”
- **Costo de seguridad:** eliminación de problemas de seguridad e higiene y de penalizaciones por delito ecológico.

Para la planificación del proceso de tratamiento es preciso tener en cuenta, en principio, la triple posibilidad de actuación:

- a) Tratamiento conjunto en una PETAR (planta de tratamiento de aguas residuales) con aguas residuales de campamento o domesticas.
- b) Tratamiento en una planta de tratamiento de aguas ácidas (DAR y DAM).
- c) Tratamiento en la propia planta metalúrgica (sedimentación y filtrado).

Las características de los efluentes de cada industria, las posibilidades legislativas, los costos de vertido en cada caso y los costos de depuración propia, decidirán la opción elegida.

2.1.1.- Tratamiento de aguas residuales industriales.

También al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, para el tratamiento de las aguas residuales industriales podemos hablar de los mismos procesos generales: tratamientos primarios, secundarios y terciarios, utilizándose sólo los que sean de aplicación al proceso industrial concreto. Los principales tratamientos en cada una de las categorías son:

- **Pre-tratamientos y tratamientos primarios:** cribado, neutralización, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, floculación, desarenado y desaceitado. Tienen por objeto la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, metales pesados y aceites y grasas.
- **Tratamientos secundarios:** lodos activados, filtros percoladores, lagunaje, etc. Se elimina materia orgánica biodegradable.

- **Tratamientos terciarios:**

- Procesos de oxidación (destrucción o transformación de materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables) y de reducción.
- Procesos de precipitación química: eliminación de metales y aniones inorgánicos.
- Arrastre con aire o vapor (stripping): eliminación de compuestos volátiles.

Estos tres procesos también pueden ser, a veces, tratamientos primarios.

- Procesos de membrana (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis,...) y de intercambio iónico: eliminación de especies disueltas y coloides en su caso.
- Procesos de adsorción con carbón activo. Eliminación de compuestos orgánicos.
 - Procesos de incineración. Eliminación de compuestos orgánicos.
 - Procesos electroquímicos: electrolisis y electromembranas. Eliminación o transformación de especies disueltas.

El siguiente esquema resume el diagrama general de tratamiento (fig. 3.1)

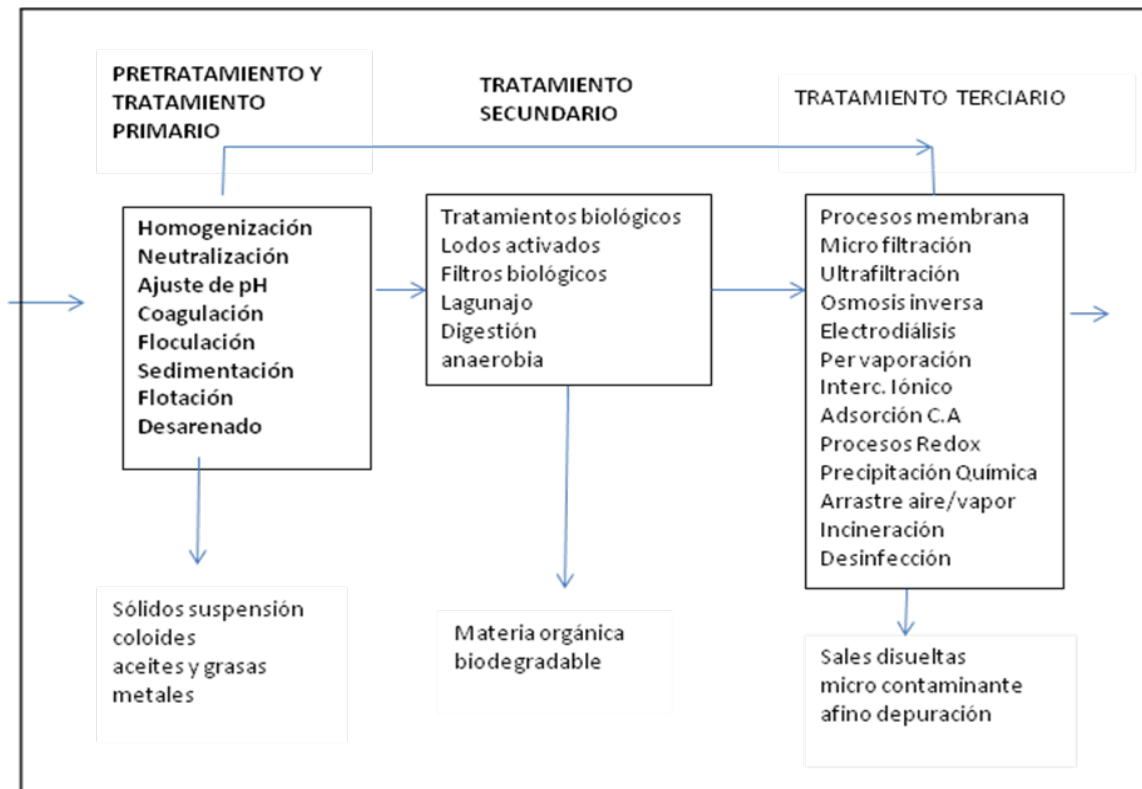


Fig. 2.1-resumen de los distintos tratamientos de aguas.

Con la denominación de tratamientos **físico-químico** de aguas residuales industriales se engloban una serie de tratamientos primarios y terciarios que se suelen aplicar frecuentemente en las industrias.

2.1.2.- Tratamientos Primarios:

- **Homogenización de efluentes:** con el mezclado y homogenización de los distintos efluentes generados en el proceso productivo se consigue disminuir las fluctuaciones de caudal de los diferentes vertidos,

consiguiendo una única corriente de caudal y concentración más constante. Se suelen realizar en tanques agitados.

- **Cribado:** al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, esta etapa sirve para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. Se suelen realizar mediante rejillas, con aberturas entre 5-90 mm.
- **Neutralización:** la neutralización (tratamiento ácido-base del agua residual) puede utilizarse para los siguientes fines:
 - o Ajuste final del pH del efluente último antes de la descarga al medio receptor: 5.5 - 9.
 - o Antes del tratamiento biológico: pH entre 6.5-8.5 para una actividad biológica óptima.
 - o Precipitación de metales pesados: es la aplicación más importante.

Intervienen diversos factores: producto de solubilidad del metal, pH óptimo de precipitación, concentración del metal y del agente precipitante, presencia de agentes complejantes del metal (cianuros, amonio). Los metales pesados se precipitan normalmente en forma de hidróxidos, utilizando cal hasta alcanzar el pH óptimo de precipitación (6-11).

- **Coagulación-floculación:** para eliminar sólidos en suspensión y material coloidal. Sobre este procedimiento o método de tratamiento se comentará en profundo más adelante.
- **Decantación:** se utiliza para la eliminación de materia en suspensión que pueda llevar el agua residual, eliminación de los flóculos precipitados en el proceso de coagulación floculación o separación de contaminantes en un proceso de precipitación química (metales, p.e).
- **La filtración:** es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante.

De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros.
- **Separación de fases:** Separación sólido-líquido: separación de sólidos en suspensión. Se suelen emplear la sedimentación, la flotación (para sólidos de baja densidad) y la filtración.

Separación líquido-líquido: la separación de aceites y grasas es la aplicación más frecuente.

En el cuadro siguiente se resumen los tratamientos primarios comentados, Fig. 2.2:

Cribado		Elimina materias flotantes > 5mm
Homogenización de efluentes		Neutraliza unos con otros Caudales y concentración mas homogéneas
Neutralización		Precipitar metales pesados. pH apto para tratamientos biológicos
Coagulación- Floculación		Elimina coloides y aglomera partículas
Separación de fases	Sólido-líquido Sedimentación Flotación Filtración	Proceso de clarificación
	Líquido- líquido Flotación	Separación de grasas y aceites

Fig. 2.2 Cuadro de resumen de tratamientos primarios

2.1.3.- Tratamientos Biológicos o Secundarios:

Los tratamientos secundarios son procesos biológicos, en los que la depuración de la materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa

por la actuación de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que se mantienen en suspensión en el agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.

Los efluentes industriales con carga orgánica depurable por métodos biológicos, corresponden principalmente a industrias de carácter agro-alimentario, aunque otras industrias como papeleras, farmacéuticas, etc., también producen vertidos que pueden ser sometidos a estos tratamientos secundarios.

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios (en ausencia de aire); en general, para aguas con alta carga orgánica (industrias agroalimentarias, residuos ganaderos, etc.) se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria.

Los tratamientos biológicos engloban tanto el proceso de reacciones biológicas comentado, como la posterior separación de los fangos por decantación. Entre las variables a controlar en estos procesos se encuentran la temperatura (en anaerobios esencialmente), oxígeno disuelto, el pH, nutrientes, sales y la presencia de inhibidores de las reacciones.

a) Tratamientos aerobios.

Los más empleados son el de lodos activados y tratamientos de bajo coste: filtros percoladores, bio-discos, bio-cilindros, lechos de turba, filtros verdes y lagunaje (este sistema se puede considerar como "mixto", ya que se dan tanto en procesos aerobios como anaerobios, dependiendo de la profundidad). En todos estos procesos, la materia orgánica se descompone convirtiéndose en dióxido de carbono, y en especies minerales oxidadas.

b) Tratamientos anaerobios.

La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados; en un proceso anaerobio, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano. Los productos finales de la digestión anaerobia son el biogás (mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno), que se puede aprovechar para la producción energética, y los lodos de digestión (compuestos no biodegradables y biomasa). Estos tratamientos tienen tres aplicaciones principales:

- Residuos ganaderos.
- Aguas residuales industriales con alta carga orgánica.
- Lodos de depuradora.

c) Tratamientos mixtos.

En algunos casos se utilizan tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma consecutiva, alternante o produciéndose ambos a la vez. Esto último es lo que sucede en las denominadas lagunas facultativas, con zonas de depuración aerobia (zona más superficial) y anaerobia (zonas más profundas). En los sistemas de lagunaje se combinan las lagunas de los tres tipos, anaerobias aerobias y facultativas.

2.1.4.- Tratamientos Terciarios:

El objetivo principal de los tratamientos terciarios es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario; son tratamientos específicos y costosos, que se usan cuando se requiere un efluente final de mayor calidad que la obtenida con los tratamientos convencionales. Las principales técnicas son:

- **Arrastre con vapor de agua o aire:** denominados como procesos de “stripping”, para la eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COV), como disolventes clorados (tricloroetileno, cloro benceno, dicloroetileno, etc.) o contaminantes gaseosos (amoníaco, etc.).
- **Procesos de membrana:** en estos procesos el agua residual pasa a través de una membrana porosa, mediante la adición de una fuerza impulsora, consiguiendo una separación en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente y del tamaño de poro de la membrana.
- **Intercambio iónico:** sirve para eliminar sales minerales, las cuales son eliminadas del agua residual que atraviesa una resina, por intercambio con otros iones (H^+ en las resinas de intercambio catiónico y OH^- en las de intercambio aniónico) contenidos en la misma.

- **Adsorción con carbón activo:** para eliminar compuestos orgánicos. Se puede utilizar en forma granular (columnas de carbón activado granular: GAC) y en polvo (PAC).

- **Procesos de oxidación:** sirven para eliminar o transformar materia orgánica y materia inorgánica oxidable. Los principales procesos de oxidación se pueden clasificar en:
 - o Procesos convencionales de oxidación: se usan como oxidantes ozono, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, hipoclorito de sodio, cloro y oxígeno.
 - o Procesos de oxidación avanzada:
 - o Combinaciones de oxidantes: $O_3 + UV$, $O_3 + H_2O_2$, $H_2O_2 + UV$, $O_3 +$ alto pH.
 - o Procesos a alta temperatura y presión: oxidación con aire húmedo (WAO), oxidación en condiciones supercríticas, etc.
 - o Detoxificación solar: utiliza la radiación UV solar, con catalizador de TiO_2 .

- **Procesos de reducción:** para reducir elementos metálicos en alto estado de oxidación (reducción de Cr_{6+} a Cr_{3+} mediante sulfito de sodio, tiosulfato de sodio, sulfato ferroso, etc).

- **Precipitación química:** se basa en la utilización de reacciones químicas para la obtención de productos de muy baja solubilidad. La especie contaminante a eliminar pasa a formar parte de esa sustancia insoluble, que precipita y puede ser separada por sedimentación y filtración.

2.1.5.- Tratamientos de los fangos:

En todo tratamiento de aguas residuales se producen, junto al agua depurada, una serie de lodos o fangos que deben ser tratados adecuadamente. Según el tipo de tratamiento y la naturaleza de los contaminantes eliminados, serán lodos de naturaleza predominantemente inorgánica u orgánica.

Los **objetivos** finales buscados en el tratamiento de los lodos son:

- **Reducción de volumen:** concentración del fango para hacer más fácil su manejo.
- **Reducción del poder de fermentación:** reducción de materia orgánica y de patógenos, para evitar la producción de olores y la evolución del lodo sin control.

Las principales etapas en el tratamiento de los lodos son: espesamiento (concentración) por decantación o flotación, digestión (estabilización para fangos fermentables), deshidratación y evacuación.

- **Espesamiento:** reducción de volumen en tanques de sedimentación o flotación, según la naturaleza del fango. A veces se realiza un

acondicionamiento previo, de tipo físico-químico (coagulación-floculación, elutriación) o térmico.

- **Digestión:** para fangos de naturaleza orgánica. En procesos de carácter aerobio (similar a fangos activos) o anaerobio (aprovechamiento energético).
- **Deshidratación y secado:** con el objetivo de una eliminación lo más completa posible del agua del fango. Normalmente con una etapa de acondicionamiento previo. Métodos más utilizados: filtros de vacío, filtros prensa, filtros banda, centrífugas, evaporación térmica o en eras de secado.
- **Evacuación:** depósito o destino final de los lodos. Métodos principales: vertedero de seguridad o de residuos sólidos urbanos según sus características; incineración con o sin adición de combustible adicional según el poder calorífico de los lodos, se generan cenizas, escorias y gases que necesitan tratamiento, con o sin recuperación de energía; compostaje, descomposición biológica controlada, de la materia orgánica, en condiciones aerobias, con el fin de obtener “compost” (abono orgánico).

2.2.- Método Primario de Coagulación y/o Floculación.

2.2.2.- Coagulación

Es el proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se produce 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.

En la siguiente **Fig. 1** se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

La coagulación es un tratamiento muy eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal más utilizado porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas 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 no es la adecuada. En la misma **Fig. 2.3** se muestra como las sustancias químicas

anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

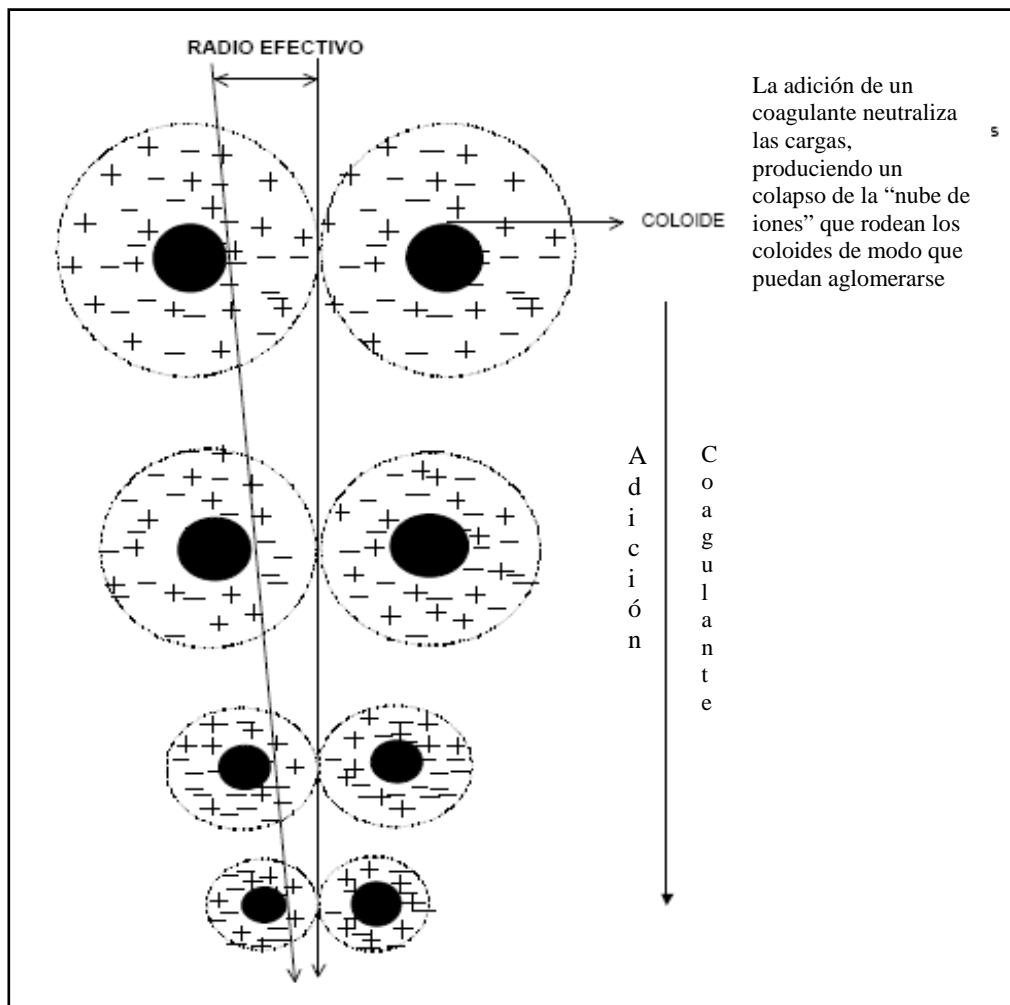


Fig. 2.3: Coagulación

Andía Cárdenas Yolanda TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACION Y FLOCULACION pág.10

2.2.3.- 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.

2.2.3.1.- 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 Fig. 2.4).

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 afectadas por las características de la solución.

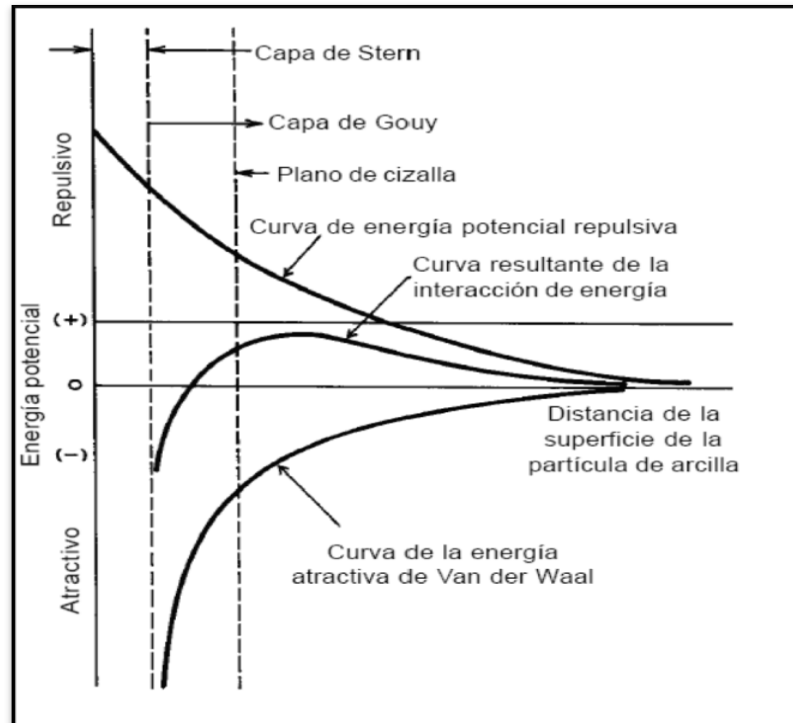


Fig. 2.4: Fuerzas de Atracción y Repulsión.

Barrenechea Martel Ada COAGULACION QUIMICA Capitulo 4 pág. 171

Si la distancia que separa a las partículas es superior a "L", entonces las partículas, no se atraen. E es la energía que los mantiene separados.

2.2.3.2.- Absorción y Neutralización de Cargas

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

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético, ó potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa, la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce 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 Fig. 2.5**).

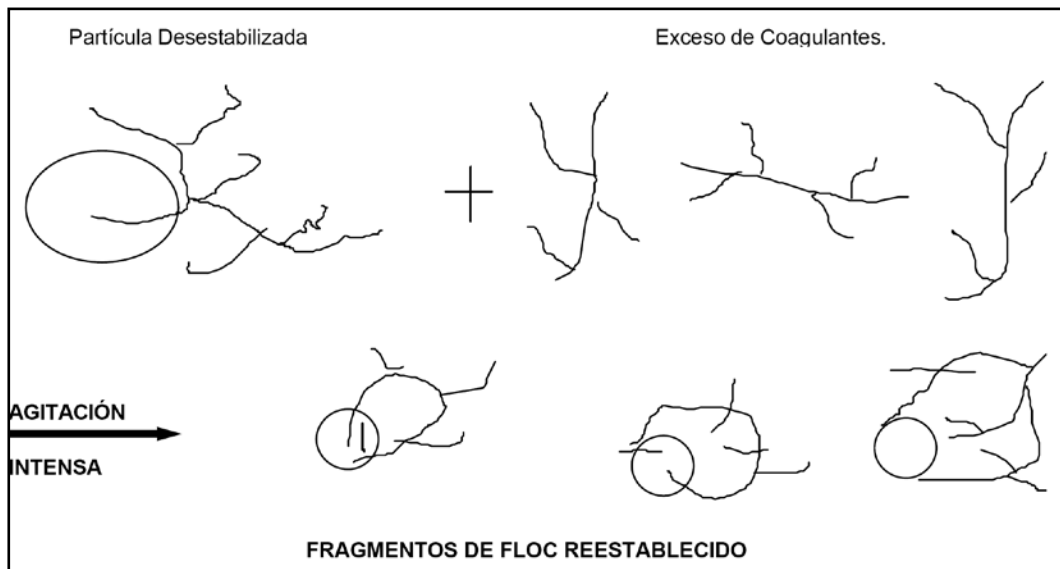


Fig. 2.5: Re estabilización de Partículas.

2.2.3.3.- Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un flóculo, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, ejemplo:

Habitualmente sales de metales trivalentes como el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, o Cloruro Férrico FeCl_3 , el floculo está formado de moléculas de $\text{Al}(\text{OH})_3$ ó 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 requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante, ver fig. 2.6

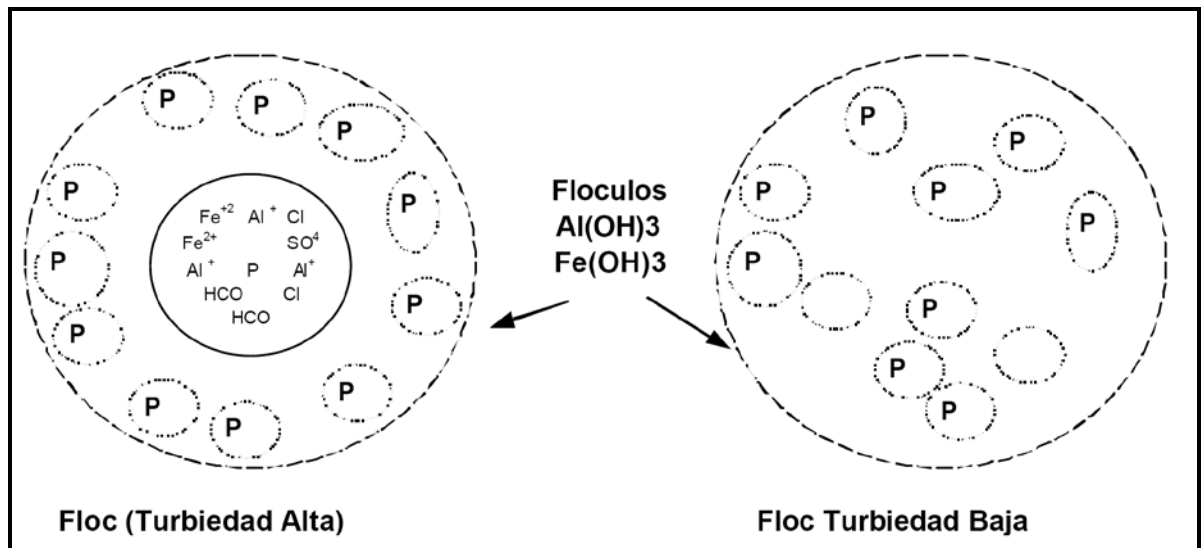


Fig. 2.6 : Agrupamiento de las Partículas en un Floc.

2.2.3.4.- 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, fig. 2.7

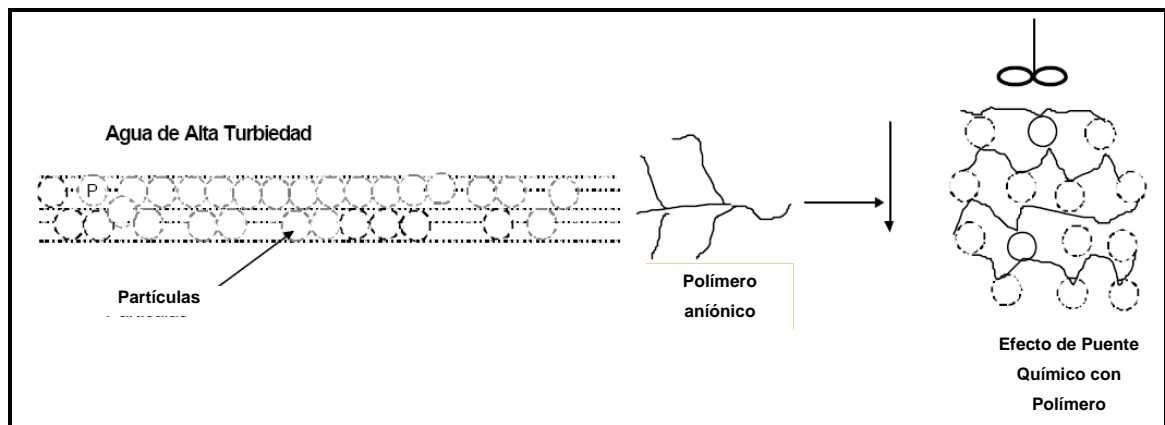


Fig. 2.7: Efecto de puente de las partículas en suspensión.

2.2.4.- Coagulantes Utilizados

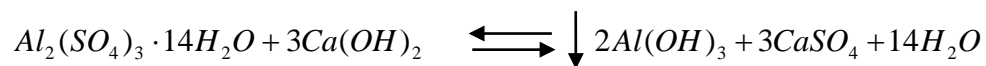
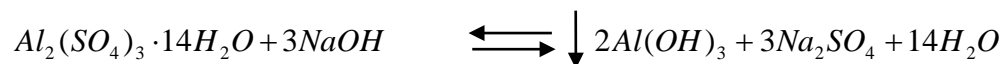
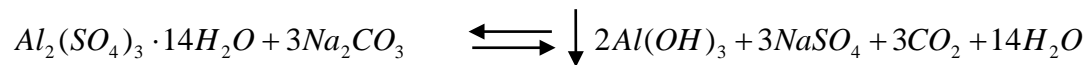
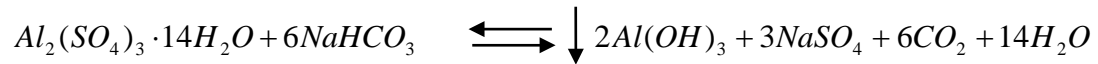
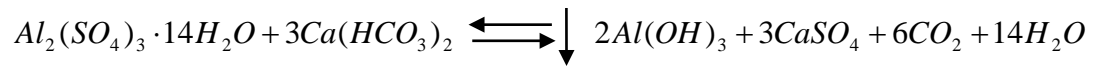
Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante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

- Sulfato de Aluminio.
- Aluminato de Sodio.
- Cloruro de Aluminio.
- Poli electrolitos(Como ayudantes de floculación).
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.

Siendo los mas utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son mas eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

Alcalinidad.- Es un método de análisis, con el que se determina el contenido de bicarbonatos (HCO_3^-); carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos de un agua natural o tratada. La alcalinidad tiene relación con el pH del agua.

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



2.2.5.- Factores que Influyen en la Coagulación.

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación; la interrelación entre cada uno de ellos permiten calcular cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua:

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

2.2.5.1.- 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 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.

2.2.5.2.- Influencia de las Sales Disueltas

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las siguientes influencias 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.

2.2.5.3.- 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 mas 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.

2.2.5.4.- 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 microfloculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación 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.

Por ejemplo: en el siguiente cuadro (fig. 2.9), se observa para Turbidez inicial de $T_o = 20$ NTU, los valores de dosis de coagulantes son diferentes para los diferentes valores de pH y alcalinidad.

Cuadro. 2.9. Turbidez inicial

PH: Unidades	Alcalinidad	Dosis Op. FeCl₃ Soluc.	Dosis Op. Al₂(SO₄)₃ Soluc.
7.46	91p.p.mCaCO₃	14p.p.m	26p.p.m
7.29	85p.p.mCaCO₃	16p.p.m	30p.p.m

2.2.5.5.- Influencia de 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 (60 seg., máx.) 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 una mayor utilización de productos químicos. Las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos : - Retromezcladores (agitadores)
- Mezcladores Hidráulicos:

1. Resalto Hidráulico: Canaleta Parshall y Vertedero Rectangular

2.2.5.6.- Sistema de Aplicación del Coagulante

Se considera lo siguiente:

- La dosis del coagulante que se agrega al agua es en forma constante y 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 las siguiente **fig. 2.10** se observan 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 (fig. 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.

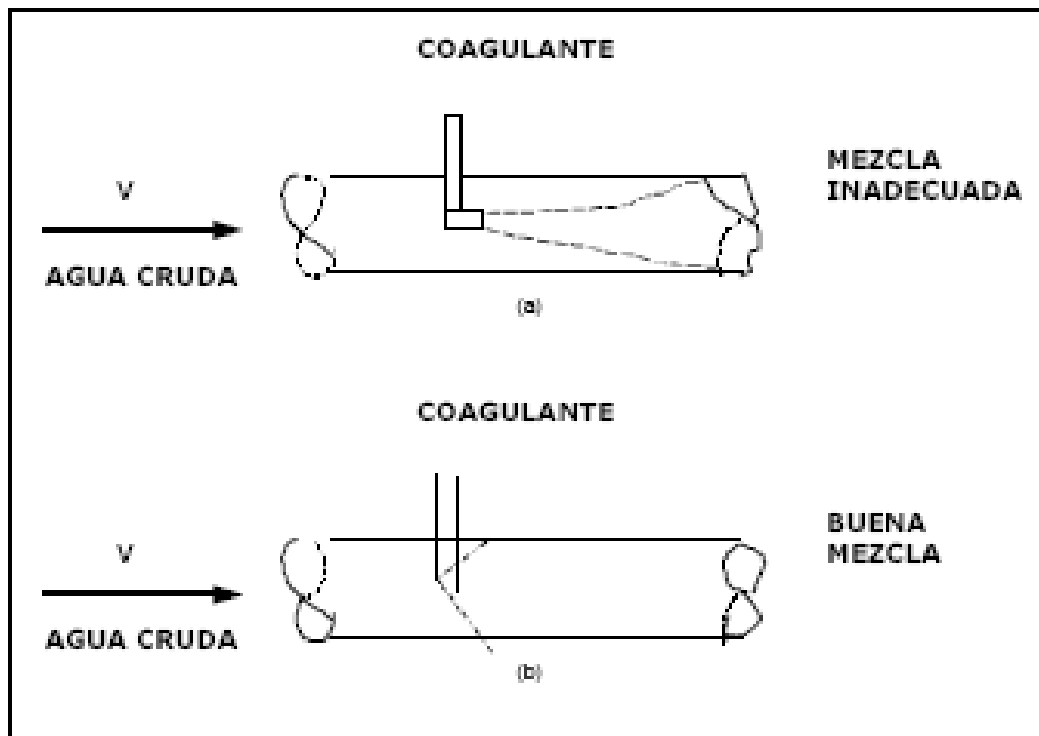


Fig. 2.10. Condiciones de Mezcla.

2.2.6.- Coagulación del Color

En general el color del agua es debido a la descomposición de la materias orgánica que contienen los humos de los suelos; esto depende de una gran variedad de compuestos orgánicos como las sustancias húmicas que son de masa molecular variada de 800 a 50000 gr/mol. Los mecanismos que permiten la eliminación del color no son los mismos que los utilizados para la turbidez.

2.2.7.- Etapas o Fases de la Coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), el mismo que se presenta las siguientes etapas. **(Fig. 2.11)**

- 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.

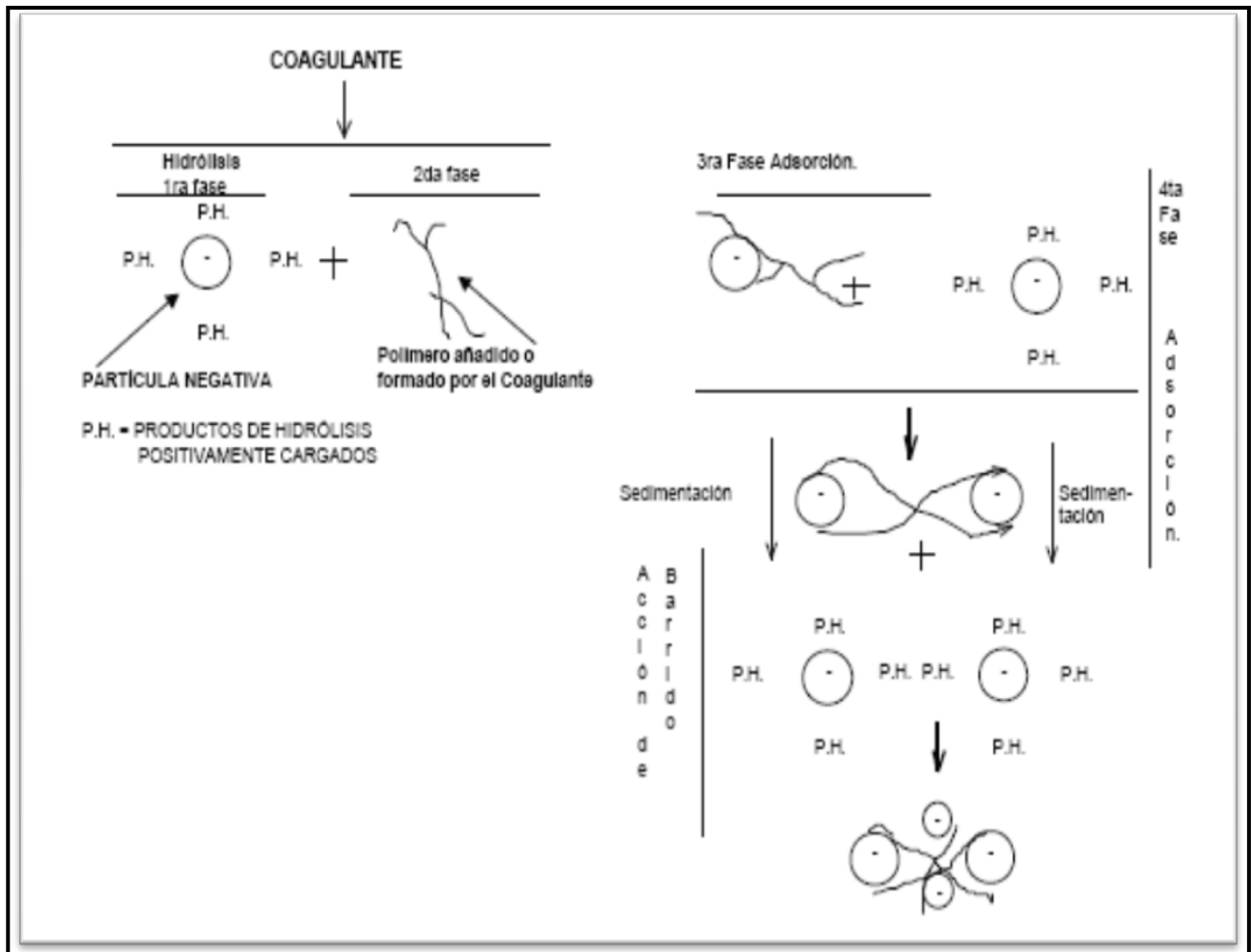


Fig. 2.11: Fases de la Coagulación

Andía Cárdenas Yolanda TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACION Y FLOCULACION pág.26

2.2.8.- 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 Fig. 2.12**).

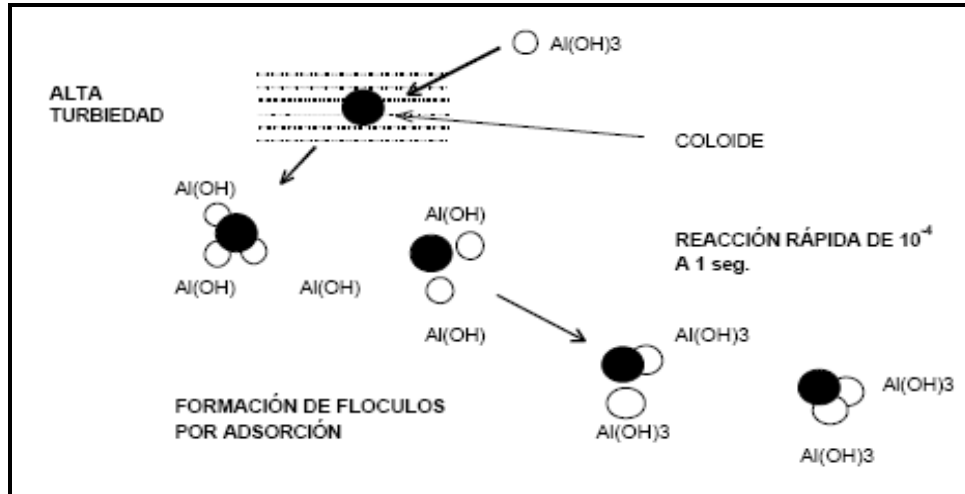


Fig. 2.12: Coagulación Por Adsorción.

Andía Cárdenas Yolanda TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACION Y FLOCULACION pág.27

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 Fig. 2.13).

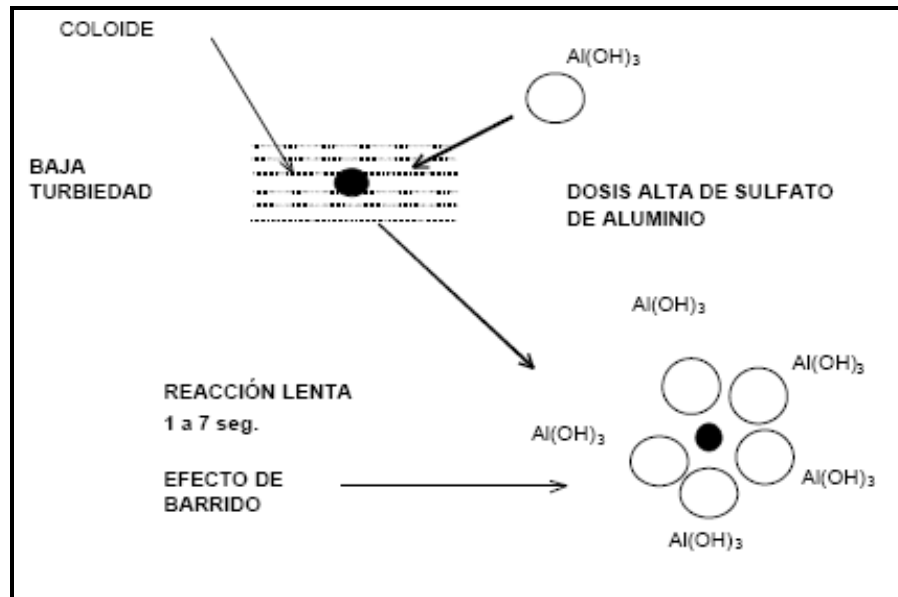


Fig. 2.13: Coagulación por Barrido

Andía Cárdenas Yolanda TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACION Y FLOCULACION pág.27

2.2.9.- Floculación

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que pueden ser depositados llamados flóculos. La floculación se ve mejorada con el empleo de coadyuvantes de esta, conocidos como polielectrolitos, estos suelen ser macromoléculas de polímeros orgánicos (tipo poliacrilamidas).

La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los flóculos ya formados. Los flóculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial. La formación de flóculo es favorecida por la introducción de un floculante en el líquido. Su objetivo es aumentar el

volumen, el peso y fundamentalmente la cohesión del floculo. (ver Fig. 2.14). El crecimiento del floculo es mejorado por:

- Una coagulación previa lo más perfecta posible.
- Un aumento de la cantidad de floculos en el líquido.
- Una mezcla homogénea y lenta del conjunto, a fin de incrementar las posibilidades de encuentro de partículas coloidales descargadas eléctricamente con una partícula de floculo.

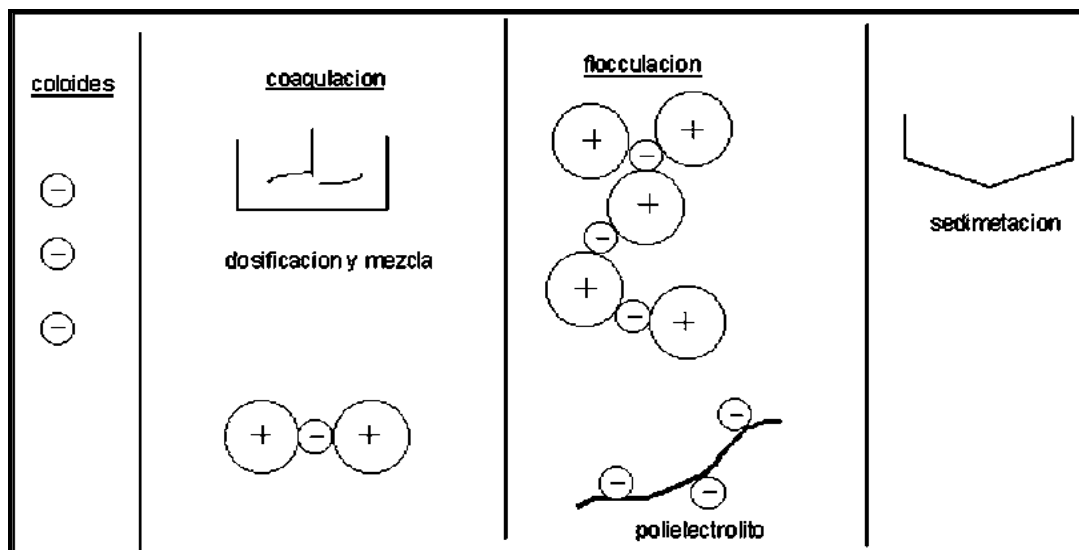
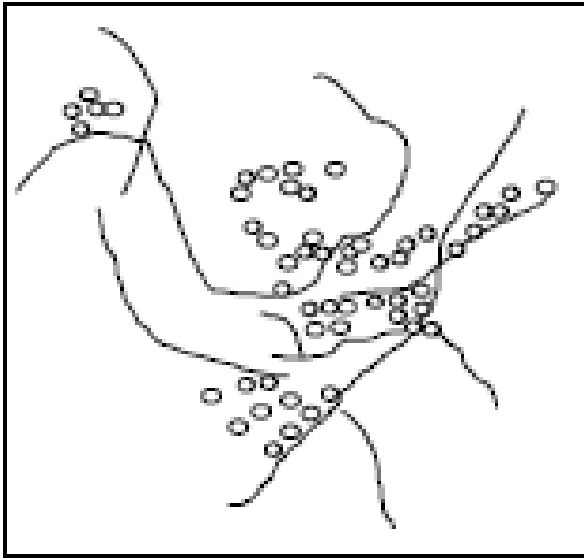


Fig. 2.14: Coagulación-Floculación

Para la completa floculación es necesario para reunir los flóculos en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados, tal como se está mostrando en la **Fig. 2.15**.



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

Fig. 2.15: Flóculos en forma de red.

Andía Cárdenas Yolanda TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACION Y FLOCULACION pág.33

2.2.10.- Mecanismos de Floculación.-

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

2.2.10.1.- Floculación Peri cinética.-

Por el propio movimiento de las partículas (movimiento ó difusión browniana). En este caso se habla de Floculación peri cinética o por convección natural. Es

muy lenta. Esta producido por el movimiento natural de las partículas sólidas dentro del fluido (agua) en el material y esta inducida por la energía térmica,

2.2.10.2.- Floculación Orto cinética.-

Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina Floculación ortocinética o por convección forzada. Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua dentro del material, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que la formación de los microflóculos es necesario que se produzca la aglomeración de los mismos; para que esto suceda se produce primero la floculación peri cinética luego se produce la floculación orto cinética.

2.2.11.- Parámetros de la Floculación.-

Los parámetros que caracterizan a la floculación son los siguientes:

- Floculación Orto cinética (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 microflóculos).

- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.2.12.- Tipos de Floculantes.-

Los floculantes son polímeros o poli electrolitos 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. (utilizado en el tratamiento de aguas).

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 gr./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 catión)

CAPITULO III

INGENIERIA DEL PROYECTO.

3.1.- Proceso Experimental

3.1.1.- Equipos Básicos:

- Probetas de sedimentación graduada graduadas de 1000 ml ($A_p \pm 20$ ml).
- Vasos de precipitación de 1000ml.
- Vasos de precipitación de 500ml.
- Pipetas graduadas de 5 y 10 ml.
- Equipo de “test de jarras” con disponibilidad para seis pruebas.

Ver Fig. 3.1

- Cronómetro ($A_p \pm 1$ s).
- pH metro ($A_p \pm 0,1$ pH) o papel medidor de pH.
- Balanza Analítica de precisión ($A_p \pm 0,01$ g).
- Turbidímetro de lecturas entre 0.01 a 1000 NTU ($A_p \pm 0,001$ NTU).

Ver Fig. 3.2

- Balanza de Mercy (para determinar densidades de pulpas)
- Baldes plásticos ($A_p \pm 1$ l).
- Varillas de agitación (Vaguetas).

- Picetas.
- Estufa.
- Set de Filtración
- Jeringas Hipodérmicas de 5, 10 y 20 ml.

3.1.2.- Materiales:

- Muestra de efluente minero-metalúrgico obtenido de un muestreo representativo (20 a 40 lts aproximadamente).
- Agua Industrial, agua destilada o desionizada.

3.1.3.- Reactivos:

- Cal, Soda Cáustica, Ácido Nítrico.
- Coagulantes orgánico AP (M7991) y B (C- VFH)
- Floculantes de AP(O- 2051 y M 351) y B (S- AF 205).



Fig. 3.1 Equipo de test de jarras



Fig. 3.2 Turbidímetro

3.1.4.- Preparación de Coagulantes y Floculantes:

En general la solución coagulante y floculante se debe prepara al menos dos horas antes de ser utilizada. En nuestro caso prepararemos soluciones al 0,1% y al 0,05%:

3.1.4.1.- Preparación de los Coagulantes.-

- Colocar 500 ml de agua en un vaso de precipitado de 1000 ml.
- Agitar hasta crear un vórtice (vacío cónico invertido producido por la agitación).
- Añadir 0.50 ó 0.25 gr. (según sea la concentración 0.1% ó 0.05% respectivamente) ya pesados del coagulante liquido al borde del vórtice de manera que se produzca una dispersión uniforme.
- Continué agitando hasta que todo el coagulante esté disuelto (aprox 30 a 60 min.).
- Diluir la solución del coagulante (si es necesario) al 0,01% en 20 ml de agua antes de añadirla a la pulpa o efluente.
- La dosis recomendada esta entre 20 a 30 g/t. para ello determine la cantidad de solución requerida.
- Se necesita una agitación rápida de la coagulación (250 a 300rpm) por ensayos durante 5 min.

3.1.4.2.- Preparación de los Floculantes.-

- Colocar 500 ml de agua en un vaso de precipitado de 1000 ml.
- Agitar hasta crear un vórtice (vacío cónico invertido producido por la agitación).
- Añadir 0.50 ó 0.25 gramos (según sea la concentración) ya pesados del floculante en polvo sólido al borde del vórtice de manera que se produzca una dispersión uniforme y sin grumos.
- Continuar agitando hasta que todo el floculante esté disuelto (aprox 60 a 90 min.).
- Diluir la solución del floculante (si es necesario) al 0,01% en 20 ml de agua antes de añadirla a la pulpa.
- La dosis recomendada esta entre 30 a 50 g/t. para ello determine la cantidad de solución requerida.
- En la floculación se recomienda una velocidad lenta (80 a 100rpm) en los ensayos de 2 a 3 min.

3.1.5.- Procedimientos de desarrollo de pruebas:

Esta técnica de Análisis será desarrollada por el Analista en turno en cada una de los Laboratorios de Control de Calidad, inicialmente se procederá a:

- Recolectar muestras de material a ensayar (aguas o pulpa) de los puntos de muestreo seleccionados previamente, la recolección se realizará en baldes rotulados adecuadamente y llevarlas al Laboratorio.
- Determinar las características principales de las muestras a ensayar como son: pH, color, turbidez, conductividad, flujo y densidad (estos dos últimos casos en pulpas).

3.1.5.1.- Ensayos Preliminares.-

Se realizan para evaluar el coagulante ó floculante idóneo, el cual se comparará con los productos similares del mercado, para ello efectuaremos lo siguiente **Ver Fig. 4.3:**

- Tomar muestras de 1lt de muestra en una probeta y agregar a un vaso de precipitado de 1lt, limpiar la superficie de las cubas para eliminar restos de material.
- Con la ayuda de una jeringa o una pipeta graduada, sustraer 1ml de solución de un tipo de floculante la cual fue preparada al 0.1% (equivale a 1ppm).
- Agitar la muestra con la ayuda de una vagueta o varilla de vidrio lentamente en un solo sentido y luego mezclar el floculante agregando 1ml, de esta manera aseguramos una dispersión total del producto en

toda la suspensión, se continuará hasta notar la formación de una interfase sólida-líquida luego dejar de agitar.

- Con la ayuda de un cronometro y un plumón indeleble marcar en el vaso durante cada segundo la interfase sólida-líquida formada.
- Si las dosis de floculante es insuficiente repetir la prueba con material nuevo y agregar una cantidad adicional de floculante (2, 3, 4, 5....ppm) hasta obtener el mejor resultado.
- Los aspectos visuales a evaluar durante la prueba por el analista serán los siguientes:
 - o Tiempo de formación de floculo (segundos, minutos).
 - o Tamaño de floculo.
 - o Cantidad de liquido sobrenadante.
- Lo que se pretende después es investigar el efecto de varias cantidades de dosificación de floculante, hasta advertir que el asentamiento ocurra en el menor tiempo que en las otras pruebas anteriores, para el mismo floculante.
- Finalmente nuevamente determinar las características principales del agua sobrenadante como son: pH, color, turbidez y conductividad.



Figuras 3.3: Ensayos preliminares.

3.1.5.2.- Ensayos en un equipo de Test de Jarras.-

En este equipo se evalúan la acción de los reactivos tanto coagulantes como floculantes sobre pulpas, líquidos, y otros con el objetivo de clarificar y/o realizar separación sólido / líquido. Además en este equipo se logra optimizar el nivel de consumo de estos reactivos, en esta oportunidad se tratará el caso de los floculantes, (Fig.3.4)

- Medir pH, turbiedad, conductividad y establecer el color a la muestra objeto de evaluación.
- Se vierte las muestras de agua (o pulpa) a analizar, en los vasos del equipo Test de Jarras. El volumen puede variar de 1 a 2 litros, esto depende de la cantidad de muestra de solución que se disponga y la cantidad de pruebas a realizar.
- Con la ayuda de tres personas, se añade floculante dentro de un rango de cantidades determinadas de tal manera que la adición de reactivo se realice al mismo tiempo. Los rangos pueden ser: (0, 0.1, 0.2,.....1ppm) ó (0,1, 2, 3,.....8, 9, 10.....ppm). En cada uno de los vasos se mantiene un orden ascendente de dosis de acuerdo al rango seleccionado.

- Una vez agregado estas dosis de floculante se enciende el equipo, luego de esto se regula la velocidad de agitación de 80-100 rpm, el tiempo de agitación será de 2-3 minutos y observando que la formación de floculos que se agrupan y sedimentan.
- Luego de transcurrido el tiempo de agitación, se dejan en reposo las muestras y luego se toman muestras de la solución sobrenadante a diferentes tiempos (5, 10 y 15 minutos).
- Observar durante el proceso del test el comportamiento de cada una de las pruebas, registrar sus observaciones. Posteriormente medir el color, la turbidez y la conductividad de la muestra ya tratada para cada una de las pruebas ensayadas, aquel vaso que posea la menor turbidez y la menor dosis de floculante consumido en esos tiempos será la mejor dosificación de floculante.
- Siempre comparar resultados antes y después de las pruebas y concluir cual es el sistema óptimo de tratamiento de material o efluente objeto de estudio.



Fig. 3.4: Equipo de Test de Jarras “B-Ker” en operación.

3.1.5.3.- Ensayos de Sedimentación.-

Luego de efectuar los ensayos preliminares y la evaluación en el equipo de Test de Jarras, se procede con los ensayos en una probeta de 1000ml (sedimentador discontinuo), de esta manera se puede determinar los parámetros de diseño de un sedimentador continuo a partir de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio, como son: el área y la altura de un sedimentador continuo, conociendo las características de la suspensión alimento (caudal y concentración de sólidos), sus propiedades físicas (densidades del sólido y del líquido, viscosidad del líquido, etc.) y las especificaciones de la suspensión que se desea obtener a la salida (concentración de sólidos); a continuación se muestra el procedimiento de ensayo:

- Agregar material de ensayo en una probeta de 1000ml (hasta la marca de 1000ml) y agregar 1 ml de floculante ó coagulante, preparado al 0.1% (equivale a 1ppm).
- Se mezcla uniformemente hasta asegurar una dispersión total en toda la suspensión mediante un mezclado suave; tapando la boca de la probeta e invirtiéndola una o dos veces pero sin agitar. Es muy importante que el mezclado sea uniforme ya que la variación puede dar origen a resultados inciertos y pruebas de mala calidad.
- En el momento en que se deja de mezclar se coloca la probeta sobre una mesa y se empieza a tomar el tiempo con el cronómetro, se va anotando conforme la línea de separación sólido-liquido pasa sobre las graduaciones de la probeta, en intervalos convenientes hasta que se observe muy poco o nada se asentamiento.
- Para cada prueba se deberá de utilizar pulpa o material fresco.
- En las siguientes pruebas la dosis de floculante se incrementará o se disminuirá para comparar la proporción de asentamiento. Se establece que hay una cantidad mínima de dosis, bajo la cual no ocurre floculación y una máxima sobre la cual incrementándose no produce aumento en la proporción de asentamiento sino que puede producir todo lo contrario es decir la dispersión.
- Con los otros floculantes el proceso de preparación y técnica de ensayo es la misma.

- Como referencia se llevará a cabo una prueba a la cual no se le agrega floculante.
- Con los datos obtenidos de la serie de pruebas de asentamiento con los distintos floculantes y dosis en varias cantidades, se comparan para seleccionar el mas adecuado; que será aquel con el que ocurra el mejor y más rápido asentamiento.
- Determinar las características principales del agua sobrenadante como son: pH, color, turbidez, conductividad.
- Adicionalmente se determinan curvas comparativas como: Turbidez vs tiempo; Altura vs tiempo (**Fig. 3.5**); TSS (sólidos disueltos totales), etc; también podemos calcular los porcentajes de remoción de turbidez y color en base a los valores de agua cruda, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ REMTURBIDEZ} = \frac{TI - TF}{TI} * 100$$

Donde:

TI = Turbidez inicial (agua antes del ensayo).

TF = Turbidez final (después de la evaluación del producto).

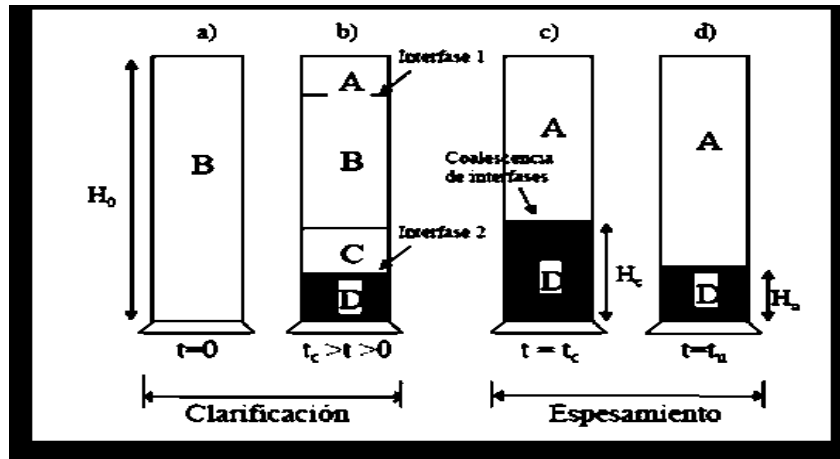


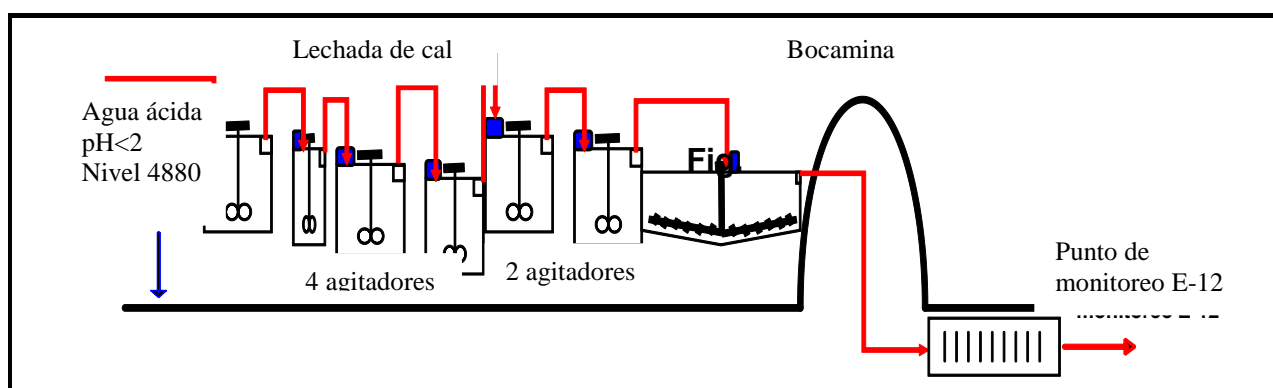
Fig. 3.5: Esquema de la sedimentación.

Tratamiento de aguas residuales Ed. Revertes S.A. 2002(Ramalho.R.S) pag.75

3.2.- Tratamiento de Efluentes y Relaves.

3.2.1.- Aguas del Nivel 4880 – Veta Nazareno

En este nivel se tiene problemas con TSS del agua saliente de la bocamina. A continuación mostramos el esquema (Ver Fig. 3.6) actual utilizado para el tratamiento del efluente en el nivel 4880.



3.6: Esquema de la Bocamina y tratamiento de Efluentes.

Del esquema anterior; el efluente ácido ($\text{pH} < 2$) es tratado con Lechada de Cal utilizando 6 tanques agitadores en serie para lograr el tiempo de agitación necesario con el fin de lograr una optima acción neutralizante de la lechada de cal. Transcurrido el tiempo necesario; el efluente neutro es depositado en un clarificador para determinar la composición final del agua en metales y TSS; esta agua es finalmente devuelta a los medios receptores de los alrededores.

3.2.1.1.- Pruebas de Sedimentación de las Aguas del Nivel 4880 – Veta Nazareno

En este punto de evaluación se tomaron muestras de agua del rebose del clarificador y se efectuaron las pruebas de sedimentación bajo las siguientes condiciones:

Condiciones de sedimentacion (aguas)

pH:	7.12
Cantidad:	20 litros
Concentración Floculantes:	0.1 %
Tiempo Sedimentación:	15 minutos
Turbidez Inicial:	234 NTU
Velocidad Sedimentación:	1 minuto

A continuación se muestra un resumen de las pruebas realizadas a diversas dosificaciones de floculantes AP-O 2051 (Tabla 4.1), AP-M 351 (Tabla 4. 2) y B-S AF 205 (Tabla 3.3).

**Tabla 3.1: Datos de las curvas de Sedimentación del Orifloc 2051
AP –O 2051 en dosis diversas.**

Tiempo (min)	Altura del agua clara (mm)				
	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Orifloc 2051)			
		O 2051(0.5ppm)	O 2051(1.0ppm)	O 2051(2.0ppm)	O 2051(3.0ppm)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	1.0	10.2	10.6	10.8	10.9
0.50	2.0	15.1	19.5	21.2	21.8
1.00	2.6	18.3	23.0	25.0	26.1
2.00	3.0	19.9	26.0	26.3	27.6
5.00	3.6	21.8	28.0	28.9	29.2
10.00	4.0	23.3	28.9	30.1	30.5
Velocidad cm/min	1.20	6.40	7.00	7.60	8.60

**Tabla 3.2: Datos de las curvas de Sedimentación del
Magnafloc 351 en dosis diversas.**

Tiempo (min)	Altura del agua clara (mm)				
	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)			
		M 351 (0.5ppm)	M 351 (1.0ppm)	M 351 (2.0ppm)	M 351 (3.0ppm)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	1.0	11.2	11.6	12.0	12.2
0.50	2.0	15.8	20.2	21.7	22.7
1.00	2.6	19.2	23.8	25.5	27.1
2.00	3.0	20.5	26.9	27.1	29.4
5.00	3.6	22.6	30.3	29.5	30.5
10.00	4.0	24.1	31.3	31.8	31.7
Velocidad cm/min	1.20	6.80	7.20	7.60	8.80

Tabla 3.3: Datos de las curvas de Sedimentación del B-S AF 205

Tiempo (min)	Altura de agua Clara (mm)				
	NF (Sin Floculante)	Reactivo BASF (Sedipur AF 205)			
		AF 205(0.5ppm)	AF 205(1.0ppm)	AF 205(2.0ppm)	AF 205(3.0ppm)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	1.0	10.0	10.4	10.7	10.9
0.50	2.0	14.2	19.1	20.8	20.8
1.00	2.6	17.1	22.6	24.5	25.0
2.00	3.0	18.8	25.6	25.8	27.4
5.00	3.6	20.9	27.3	27.9	28.6
10.00	4.0	21.5	28.1	29.0	29.2
Velocidad cm/min	1.20	5.80	7.00	7.40	8.40

Las Curvas de Sedimentación a igual concentración de floculante (en ppm) se presentan en los siguientes **Gráficos: 3.1, 3. 2 , 3. 3 y 3.4**

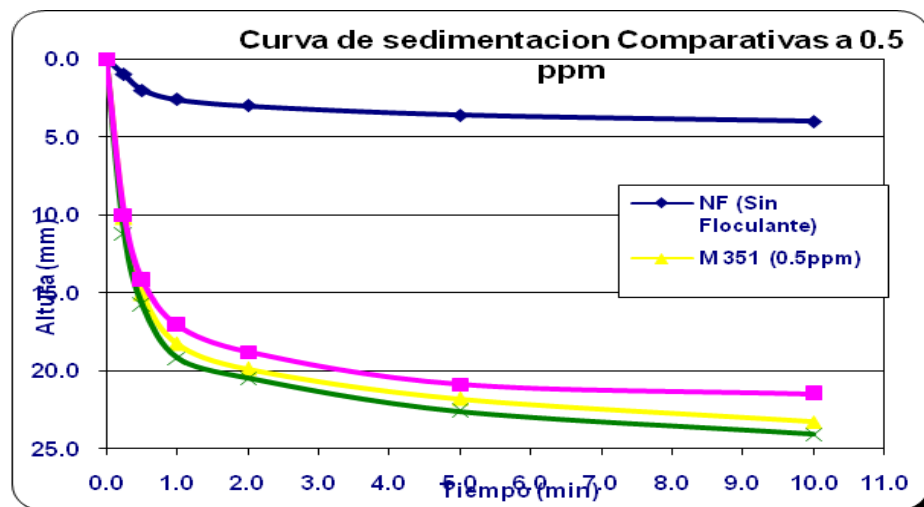


Gráfico 3.1; curvas de sedimentación comparativas con 0.5ppm

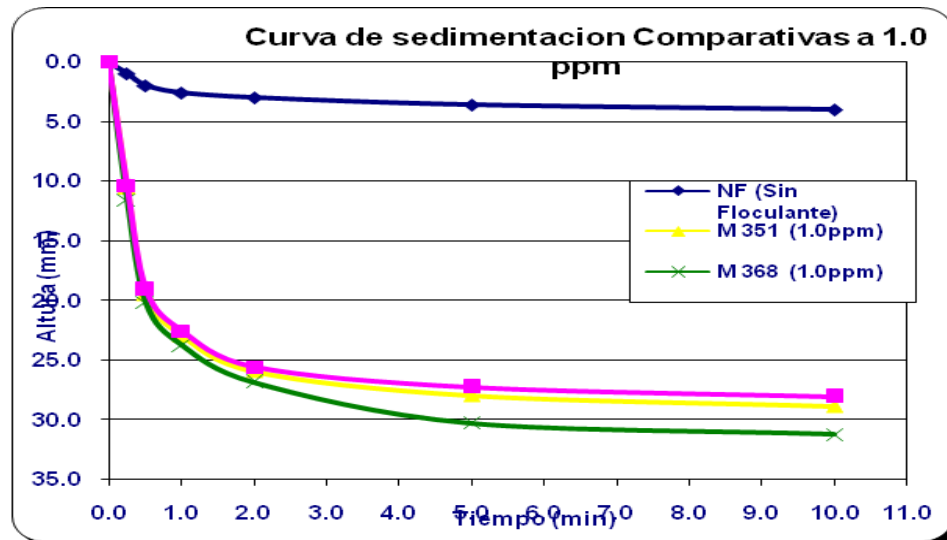


Grafico 3.2; curvas comparativas de sedimentación con 1 ppm

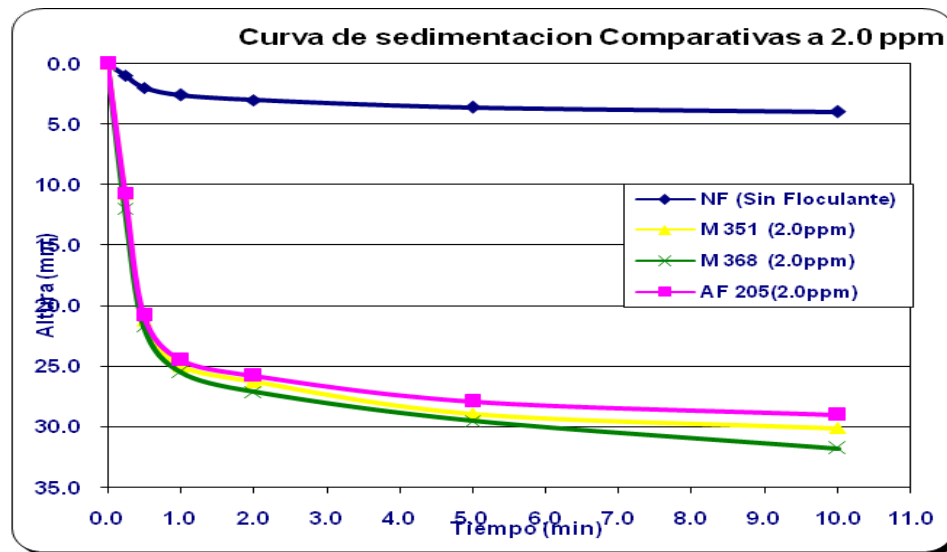


Grafico 3.3; Curvas comparativas de sedimentación con 2 ppm

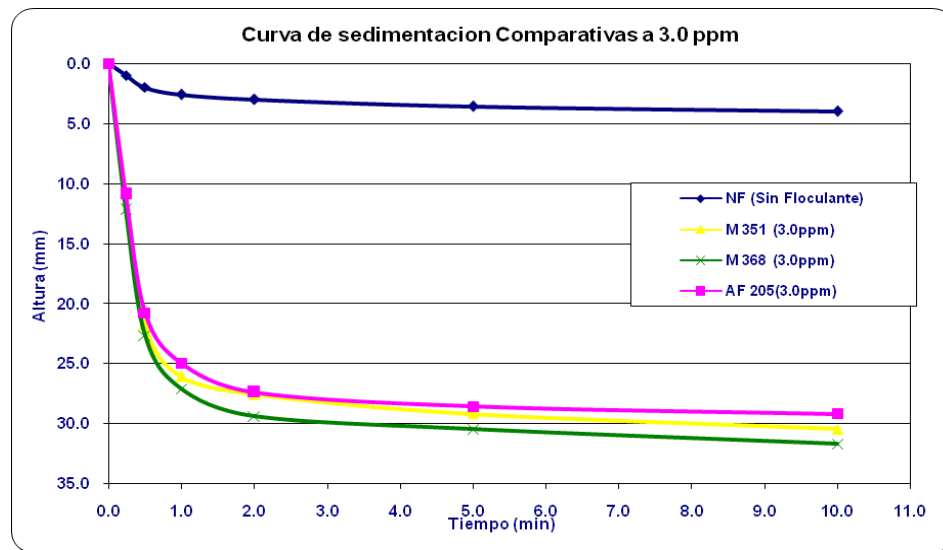


Gráfico 3.4: Curvas comparativas de sedimentación con 3.0 ppm

Se obtuvieron mayores velocidades de sedimentación con 3 ppm de dosificación, de los diversos floculantes, en este caso se está evaluando los floculantes Magnafloc 351 y el Sedipur AF 205 los cuales se están comparando con el Orifloc 351 (de uso actual); por cuestión de costos y para evaluar los contenidos metálicos se utilizó una dosis de 2 ppm de Magnafloc 351. que resultó ser el mejor de los tres comparados.

A.- Evaluación Comparativa entre los reactivos floculantes Orifloc 2051, Magnafloc 351 y Sedipur AF-205.

- A continuación mostramos una tabla (Tabla 4) con los TSS obtenidos de la muestra al acondicionarse con 2ppm de floculante

(Sedipur AF-205, Orifloc 2051 y Magnafloc 351) y luego de 15 min. de reposo.

- Como se observa en la **Tabla 3.4** con el Magnafloc 351 logramos reducir el contenido de sólidos de 46ppm (en el Blanco) a 19.5 ppm; así como los contenidos de metales disueltos evaluados

Tabla 3.4: Contenidos metálicos y de TSS después de la evaluación de los diversos Floculantes.

Elemento (mg/L) sin filtrar	Sin Floculante	Floculante (filtrado)			LMP	R.M. N°011-96
	NF (pH= 2.8)	Magnafloc 351	Magnafloc 368	Sedipur AF 205	Clase III	EM/VMM
Cu	2.790	0.078	0.065	0.081	0.5	1.0
Zn	2.450	0.007	0.004	0.006	25.0	3.0
Pb	0.113	0.075	0.045	0.098	0.1	0.4
Fe	133.370	0.010	0.008	0.011	1.0	2.0
TSS (mg/L)	46.0	26.5	19.5	21.0		50.0

B.- Efecto de los agentes coagulantes en los TSS.

- Ahora mostramos los datos de los TSS obtenidos de la muestra al acondicionarse diversos coagulantes a diferentes concentraciones de Magnafloc 7991 y Catiofast VFH y luego adicionar 2 ppm de Magnafloc 351 y luego de 15 min de reposo.
- Como observamos en la **Tabla 3.5**, que luego de acondicionar con coagulante Magnafloc 7991 (5ppm) y luego de adicionar 2ppm de

Magnafloc 351, la inclusión del coagulante ayuda a reducir los TSS en la solución tratada de 21 ppm hasta 16.0ppm.

Tabla 3.5: TSS Sedimentación – Lab. CEDIMIN (Febrero 2009)

Elemento (mg/L)	Coagulante QAP (Magnafloc 7991)				
	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
TSS (mg/L)	21.0	16.0	8.5	6.0	2.0

Elemento (mg/L)	Coagulante BASF (Catiofast VFH)				
	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
TSS (mg/L)	21.0	17.5	9.5	7.0	2.5

3.2.2.- Aguas del Nivel 4980 – Veta Nazareno

En este nivel se tiene problemas con los iones Fe y la acidez del agua saliente de la bocamina. A continuación mostramos el esquema (**Ver Fig.3.7**) actual utilizado para el tratamiento del efluente en el nivel 4980. La muestra proviene de la mezcla de 2 aguas, una del Nivel 4930 que es la de $\text{pH} < 3$ y el agua del Nivel 4980 ($\text{pH} = 6.5$).

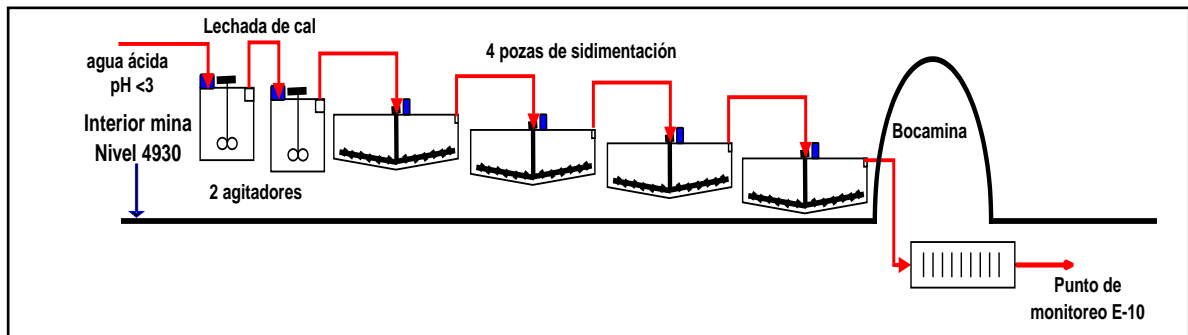


Fig. 3.7: Esquema de la Bocamina y tratamiento de Efluentes.

3.2.2.1.- Pruebas de Sedimentación de las Aguas del Nivel 4980 – Veta Nazareno

La muestra fue tomada en interior mina en la mezcla de las 2 aguas y antes de tratamiento del efluente y se efectuaron las pruebas de Sedimentación bajo las siguientes condiciones

Condiciones de sedimentacion (aguas)

pH inicial:	2.8
Cantidad:	20 litros
Concentración Floculantes:	0.1 %
Dosificación de Floculante:	2.0 ppm
Tiempo Sedimentación:	15 minutos
Turbidez Inicial:	885 NTU
Velocidad Sedimentación:	1 minuto

Dimensiones de probeta de 1lt

Altura	358 mm
Diametro	61 mm

Notas:

- Las pruebas de sedimentacion se realizaron en probeta de 1lt, tomando como cero su punto máximo, para luego marcar a los tiempos indicados abajo el descenso de la pulpa.
- La turbidez final se midio despues de terminado cada floculacion en 15 minutos.

A continuación se muestra un resumen de las pruebas realizadas a diversos pH y con 2 ppm de los diversos floculantes: Orifloc 2051 (**Tabla 3.6**), Magnafloc 351 (**Tabla 3.7**) y Sedipur AF 205 (**Tabla 3.8**). El agua que sale de la bocamina se encontró a pH 2.8 con un caudal de 8 L/seg.

Tabla 3.6: Datos de las curvas de Sedimentación del Orifloc 2051

Tiempo (min)	Altura del agua clara (mm)				
	Sin Floculante (pH= 2.8)	Reactivo QAP (Orifloc 2051)			
		O 2051(pH:4.5)	O 2051(pH:7.37)	O 2051(pH:8.18)	O 2051(pH:9.55)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	0.1	0.6	10.3	9.8	9.4
0.50	0.2	1.2	18.4	14.6	14.3
1.00	0.3	2.2	22.9	19.0	18.6
2.00	0.4	3.3	26.0	22.5	21.9
5.00	0.5	3.5	27.8	24.5	23.9
10.00	0.5	3.7	29.5	25.7	25.6
Velocidad cm/min	0.20	2.00	9.00	8.80	8.60

Tabla 3.7: Datos de las curvas de Sedimentación del Magnafloc 368

Tiempo (min)	Altura del agua clara (mm)				
	Sin Floculante (pH= 2.8)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)			
		M 351 (pH:4.5)	M 351 (pH:7.37)	M 351 (pH:8.18)	M 351 (pH:9.55)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	0.1	0.7	10.5	9.6	9.4
0.50	0.2	1.3	18.6	14.3	14.2
1.00	0.3	2.3	23.1	18.0	18.5
2.00	0.4	3.4	26.3	22.1	21.9
5.00	0.5	3.7	27.9	24.6	24.0
10.00	0.5	3.9	29.7	26.0	25.8
Velocidad cm/min	0.20	2.00	9.00	7.40	8.60

Tabla 3.8: Datos de las curvas de Sedimentación del Sedipur AF 205

Tiempo (min)	Altura (mm)				
	Sin Floculante (pH= 2.8)	Reactivo BASF (Sedipur AF 205)			
		AF 205(pH=4.5)	AF205(pH=7.37)	AF205(pH=8.18)	AF205(pH=9.55)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	0.1	0.5	10.0	9.0	9.1
0.50	0.2	1.0	18.0	14.1	14.0
1.00	0.3	2.0	22.2	18.5	18.2
2.00	0.4	3.0	25.6	21.8	21.5
5.00	0.5	3.4	27.3	23.9	23.5
10.00	0.5	3.5	29.0	25.5	25.3
Velocidad cm/min	0.20	2.00	8.40	8.80	8.40

Las Curvas de Sedimentación de los diversos floculantes variando el pH, se presentan en los siguientes Gráficos: 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8

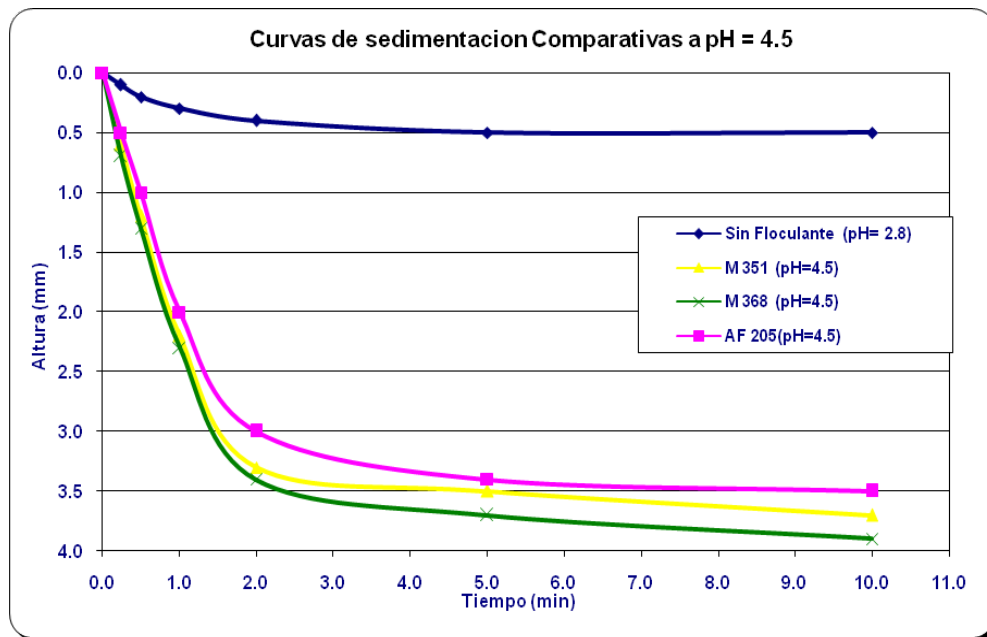


Grafico 3.5, Curvas de sedimentación a pH: 4.5

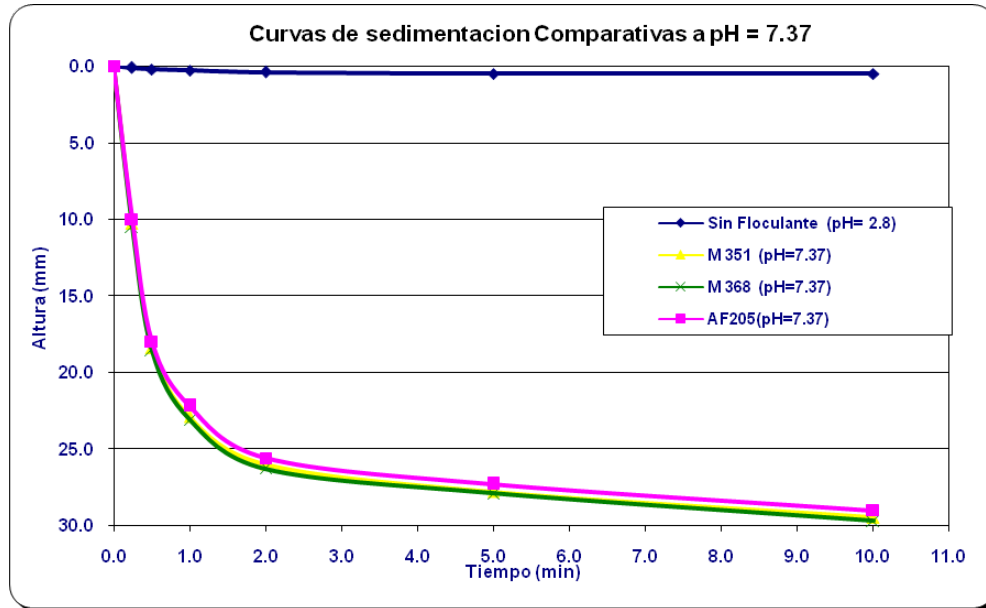


Grafico 3.6; Curvas de sedimentación a pH: 7.37

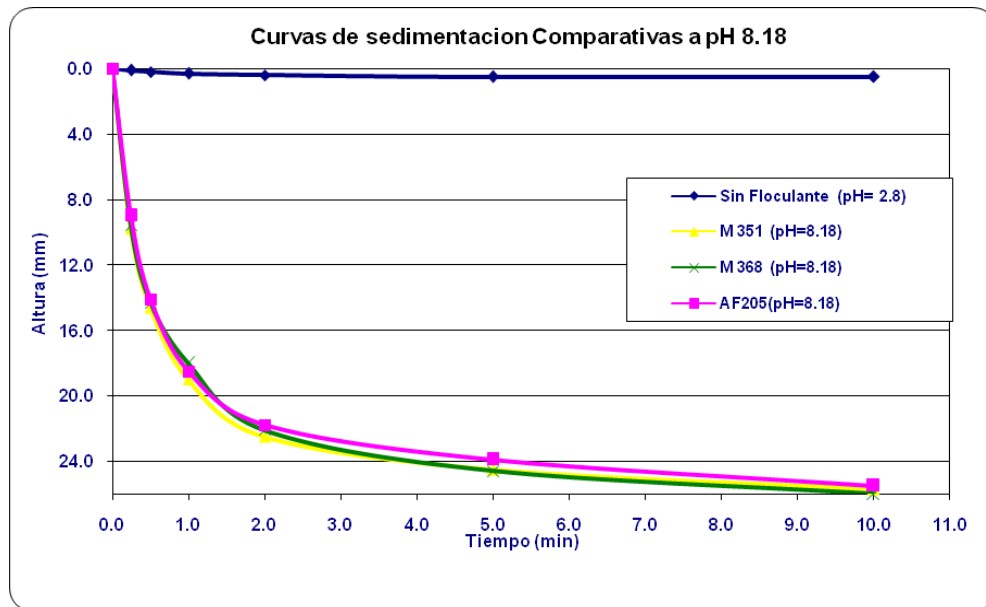


Grafico 3.7; Curvas de sedimentación a pH: 8.18

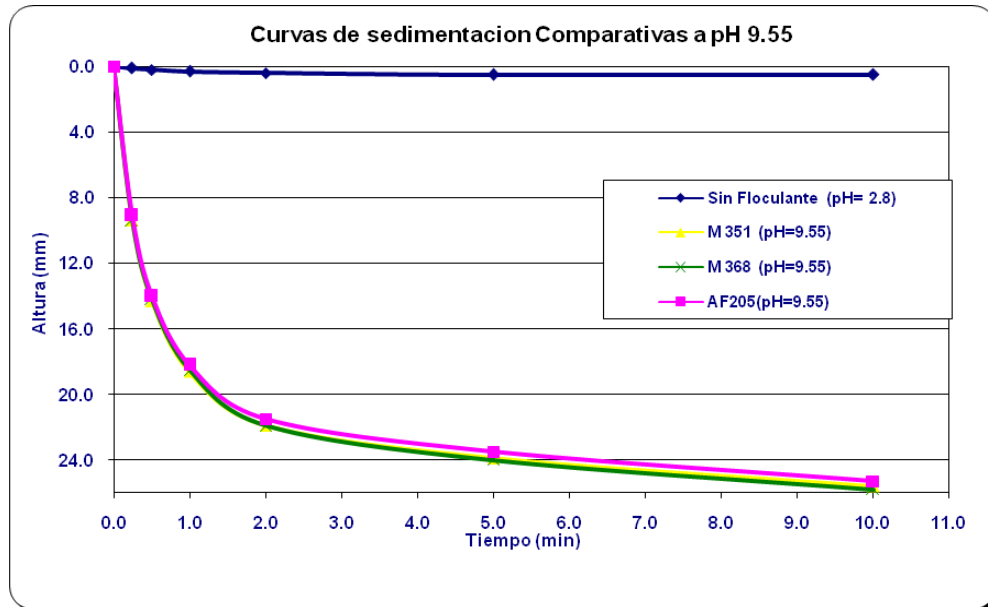


Gráfico 3.8; Curvas de sedimentación a pH: 9.55

Se obtuvieron mayores velocidades de sedimentación a un pH de 7.37 es decir que a pHs neutros se logra una mayor velocidad y altura de sedimentación; en todos los caso se empleó 2 ppm de dosificación, de los diversos floculantes, Magnafloc 351 y el Sedipur AF 205 los cuales se están comparando con el Orifloc 2051 (de uso actual); de los cuales eligió nuevamente la dosis de 2 ppm de Magnafloc 351; por mostrar mejores resultados finales.

A.- Floculación con Magnafloc 351 variando el pH.

- En la siguiente gráfica (**Ver gráfico 3.9**) se muestran las curvas de sedimentación a diferentes pH (neutralización con lechada de cal) y utilizando el floculante al Magnafloc 351 con 2ppm de concentración.

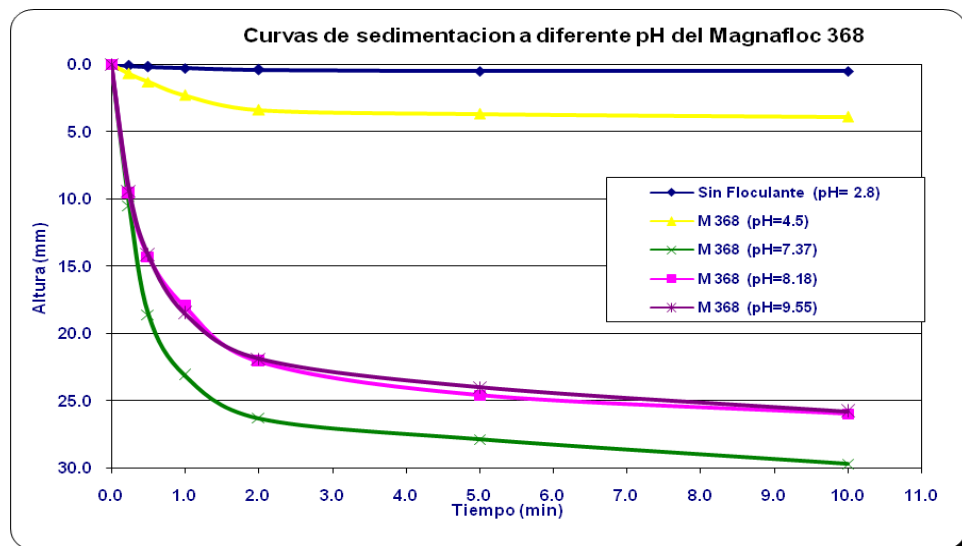


Gráfico 3.9: Prueba de sedimentación a diferente pH con Magnafloc 351

- Como se observa en la Tabla 7, a pH 7.37 y con 2ppm de Magnafloc 351 obtenemos una velocidad de sedimentación de 9.0 cm/min. De igual manera la sedimentación se lleva a cabo en un tiempo mínimo de 1min.

- A continuación (Tabla 3.9) presentamos el reporte de metales disueltos contenidos para el agua tratada a diferentes pH y acondicionado con 2ppm de Magnafloc 351.

Tabla 3.9: Metales disueltos en agua tratada

Elemento (mg/L)	Sin Floculante (pH= 2.8)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)				LMP Clase III	R.M. N°011-96- EM/VMM
		M 351 (pH:4.5)	M 351 (pH:7.37)	M 351 (pH:8.18)	M 351 (pH:9.55)		
Cu	4.679	0.645	0.122	0.079	0.086	0.5	1.0
Zn	4.850	2.454	0.084	0.005	0.009	25.0	3.0
Pb	0.133	0.124	0.086	0.098	0.100	0.1	0.4
Fe	263.730	24.300	0.009	0.009	0.046	1.0	2.0
TSS	65.5	54.0	12.5	7.0	50.5		50.0

- A continuación mostramos las fig. 3.8, 3.9, y 3.10 de las pruebas iniciales realizadas en un vaso para una mejor percepción.(laboratorio CEDIMIN).



Fig. 3.8: Agua ácida de mina (pH = 2.8)



Fig. 3.9: Agua neutralizada con cal (pH = 7.37)



**Fig. 3.10: Agua neutralizada con cal (pH = 7.37) y
Floculante Magnafloc 351 = 1ppm**

B.- Neutralización a pH 7 variando la concentración del Magnafloc 351

- Al neutralizar la muestra de agua a pH 7.37, con 1ppm de Magnafloc 351 se obtuvo una alta velocidad de sedimentación y bajos contenidos de metales disueltos, por eso se decide variar la concentración del Magnafloc 351 para ver el efecto en la sedimentación y el contenido de metales disueltos en el agua.
- En la siguiente **Tabla 3.10** y **Gráfico 3.10** se muestran los datos y un resumen de las curvas de sedimentación a diferentes concentraciones de Magnafloc 351; las aguas previamente fueron neutralizadas con lechada de cal y el pH fue de 7.37

Tabla 4.10: Datos de las curvas de Sedimentación del Magnafloc 351 a diferente concentración

Tiempo (min)	Altura agua clara (mm)				
	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)			
		M 351 (1.0 ppm)	M 351 (2.0 ppm)	M 351 (3.0 ppm)	M 351 (4.0 ppm)
0.00	0	0	0	0	0
0.24	1.0	10.0	10.5	10.7	10.5
0.50	2.0	18.0	18.6	18.8	18.6
1.00	2.6	22.2	23.1	23.4	23.2
2.00	3.0	25.4	26.3	26.5	26.4
5.00	3.6	27.4	27.9	28.2	27.5
10.00	4.0	28.3	29.7	30.0	29.0
Velocidad cm/min	3.85	30.77	31.15	31.15	31.19

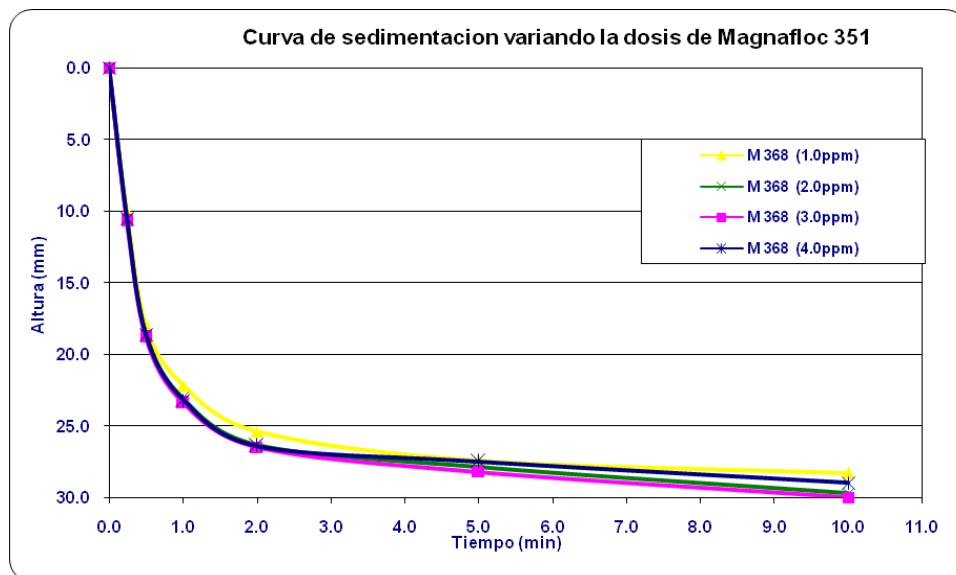


Gráfico 3.10: Prueba de sedimentación – Efluente Nivel 4980

- Como se observa en la Tabla 4.10; una vez neutralizada la muestra observamos y con 2ppm de Magnafloc 351 se obtiene una velocidad de sedimentación 31.15 cm/min, del mismo modo con 3ppm de Magnafloc se obtuvo una velocidad de sedimentación de 31.15 cm/min y finalmente al incrementar el Magnafloc a 4ppm la velocidad de sedimentación se incrementó a 31.19 cm/min.
- De los resultados de la evaluación se recomienda neutralizar el efluente del Nivel 4980 a PH 7.5 y flocular con 2ppm de Magnafloc 351 para obtener un agua de calidad y con niveles de metales disueltos por debajo de los Límites máximos permisibles. En la Tabla 3.11 presentamos el reporte de metales disueltos contenidos para el agua tratada.

Tabla 3.11: Metales disueltos en agua tratada

Elemento (mg/L)	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)				LMP Clase III	R.M. N°011-96 EM/VMM
		M 351 (1.0 ppm)	M 351 (2.0 ppm)	M 351 (3.0 ppm)	M 351 (4.0 ppm)		
Cu	4.679	0.122	0.062	0.109	0.096	0.5	1.0
Zn	4.850	1.484	0.005	0.198	0.053	25.0	3.0
Pb	0.133	0.086	0.066	0.068	0.110	0.1	0.4
Fe	263.730	0.009	0.005	0.023	0.275	1.0	2.0
TSS	65.5	29.5	12.5	16.0	12.0		50.0

3.2.3.- Relave de Flotación (Relavera # 04)

- El requerimiento es reducir los TSS de 7ppm (actualmente) a 10-20ppm. En cuanto a los metales disueltos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) por lo que solo nos centraremos en los sólidos en suspensión. Ver **fig.3.11** de la Relavera.
- A continuación mostramos el esquema actual utilizado para el tratamiento del drenaje de la relavera # 04 donde se depositan los relaves de flotación de planta SHILA. (**Ver Fig. 3.12**)

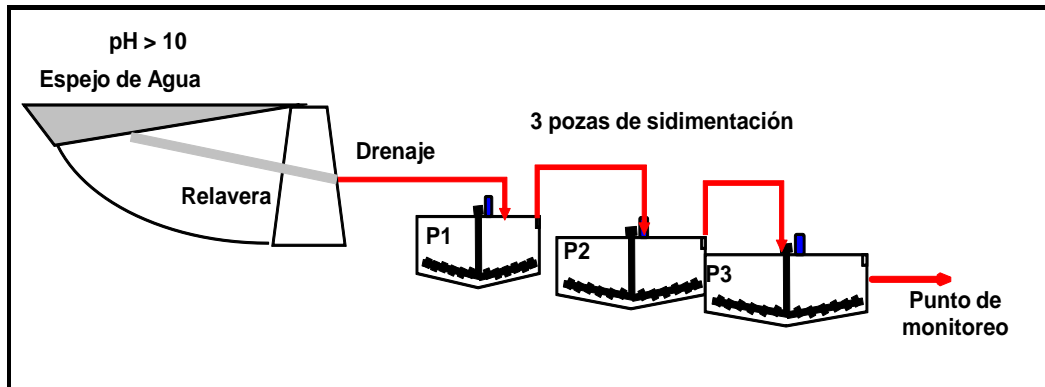


Fig. 3.11; Esquema de la Relavera y tratamiento planteado



Fig. 3.12: Punto de muestreo de la pulpa de relave. (over flow del hidrociclón)

3.2.3.1.- Pruebas de Sedimentación en la Relavera de Flotación

(Relavera # 04)

- La muestra fue tomada en interior mina en la mezcla de las 2 aguas y antes de tratamiento del efluente y se efectuaron las pruebas de sedimentación bajo las siguientes condiciones:

Condiciones de sedimentacion (aguas)

pH inicial:	10.5
Cantidad:	20 litros
Concentración Floculantes:	0.1 %
Tiempo Sedimentación:	15 minutos
Turbidez Inicial:	685 NTU
Velocidad Sedimentación:	2 minutos

Dimensiones de probeta de 1lt

Altura	358 mm
Diametro	61 mm

Notas:

- .- Las pruebas de sedimentacion se realizaron en probeta de 1lt, tomando como cero su punto máximo, para luego marcar a los tiempos indicados abajo el descenso de la pulpa.
- .- La turbidez final se midio despues de terminado cada floculacion en 15 minutos.

- Se realizaron curvas de sedimentación variando la dosis del floculante Magnafloc 351 desde 1.0 a 3.0 ppm; de igual manera se evaluó el Sedipur AF 205 a 1.5 ppm (ver Tabla 4.12 y gráfico 4.11).
- También presentamos las curvas de sedimentación donde se evalúan a nuestro floculante Magnafloc 351 y el floculante Sedipur AF 205 a las mismas concentraciones y se compara con otra curva a 15 ppm de Magnafloc. 351. (ver **Tabla 3.13 y gráfico 3.12**). De esta manera

incrementaremos la dosificación de floculante a fin de mejorar la floculación e incrementar de manera importante la velocidad de sedimentación.

Tabla 3.12: Datos de las curvas de Sedimentación del Magnafloc 351 a diferente concentración

Tiempo (min)	Altura agua clara (mm)					
	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)				BASF (Sedipur)
		M 351 (1.0ppm)	M 351 (1.5ppm)	M 351 (2.0ppm)	M 351 (3.0ppm)	AF 205 (1.5ppm)
0.00	0	0	0	0	0	0
2.00	0.8	1.5	1.8	2.1	2.2	1.9
5.00	1.1	3.2	3.8	4.0	3.9	3.7
10.00	1.3	5.5	6.0	6.1	6.3	6.0
20.00	1.5	8.6	9.0	9.3	9.6	8.9
40.00	1.6	10.7	11.0	11.5	11.9	10.8
100.00	1.6	12.7	13.0	13.5	14.0	12.7
200.00	1.7	13.5	14.3	15.0	15.4	13.8
Velocidad cm/min	0.02	0.31	0.30	0.32	0.33	0.29

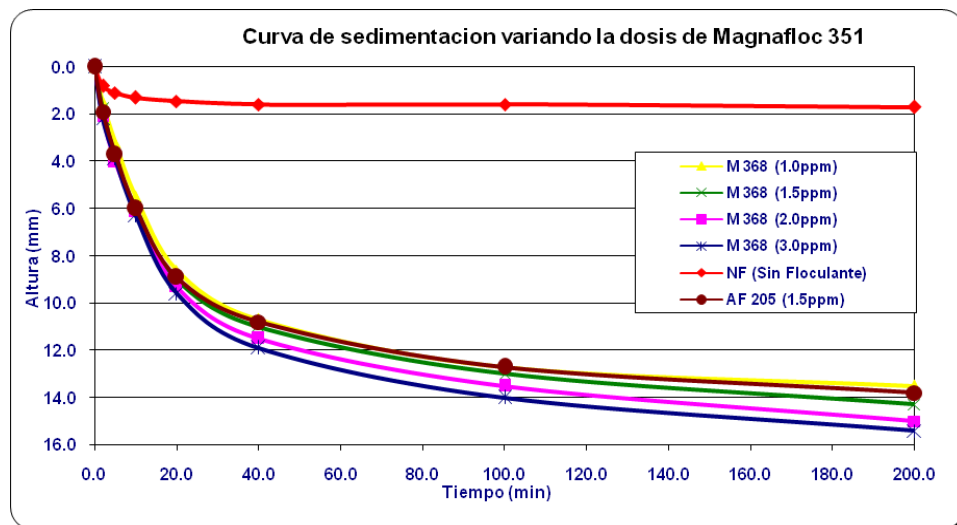


Gráfico 3.11: Prueba de sedimentación con Relave de Flotación.

Tabla 3.13: Datos de las curvas de Sedimentación del Magnafloc 351 y Sedipur AF 205.

Tiempo (min)	Altura agua clara (mm)				
	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)			BASF (Sedipur)
		M 351 (10 ppm)	M 351 (15 ppm)	M 351 (20 ppm)	AF 205 (20 ppm)
0.00	0	0	0	0	0
0.50	0.8	4.0	4.3	4.5	4.3
1.00	1.1	7.2	7.6	8.0	7.6
2.00	1.3	11.6	12.6	13.5	12.5
4.00	1.5	13.7	14.8	16.8	14.7
8.00	1.6	15.5	16.6	18.2	16.3
15.00	1.7	15.8	17.0	18.4	16.8
Velocidad cm/min	0.60	6.40	6.60	7.00	6.60

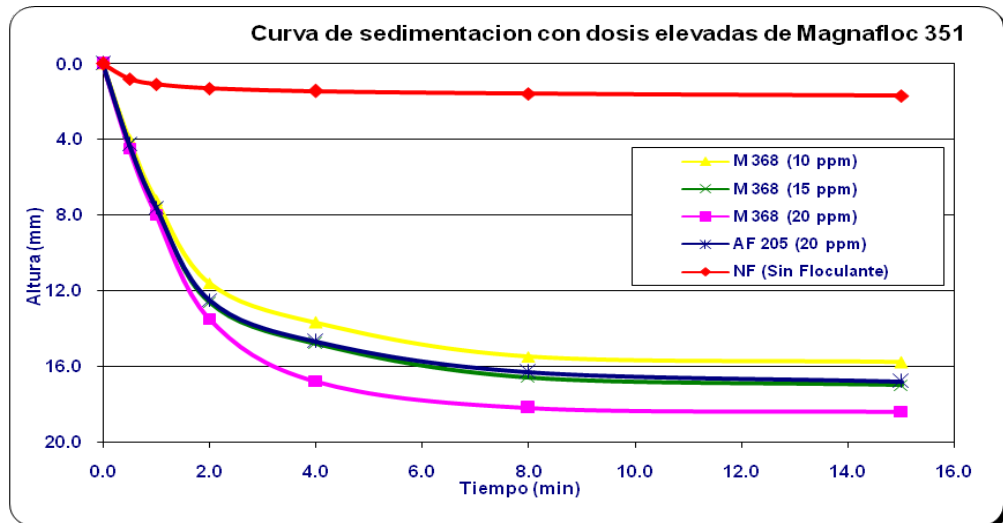


Gráfico 3.12: Prueba de sedimentación con Relave de Flotación

- De la Tabla 3.12 observamos que con 1.5ppm de Sedipur AF205 alcanzamos una velocidad de 0.29cm/min, mientras que con 1.5ppm de Magnafloc 351 se alcanza una mayor velocidad de sedimentación de 0.30cm/min.
- Como observamos en la Tabla 3.13 usando 20 ppm Magnafloc 351 alcanzamos una velocidad de 7.0 cm/min, mientras que con 20ppm de Sedipur AF205 se alcanza una velocidad de 6.6 cm/min.
- Por otro lado, al reducir la concentración del Magnafloc 351 a fin de obtener un resultado equivalente al Sedipur AF 205 tenemos que con 15 ppm de Magnafloc 351 obtenemos una velocidad de sedimentación de 6.6 cm/min. Es decir que ahorrando 5ppm de floculante en comparación al Sedipur AF 205 (20ppm), obtenemos un mejor resultado con el Magnafloc 351 en cuanto a velocidad de sedimentación.

(Ver grafico 3.13).

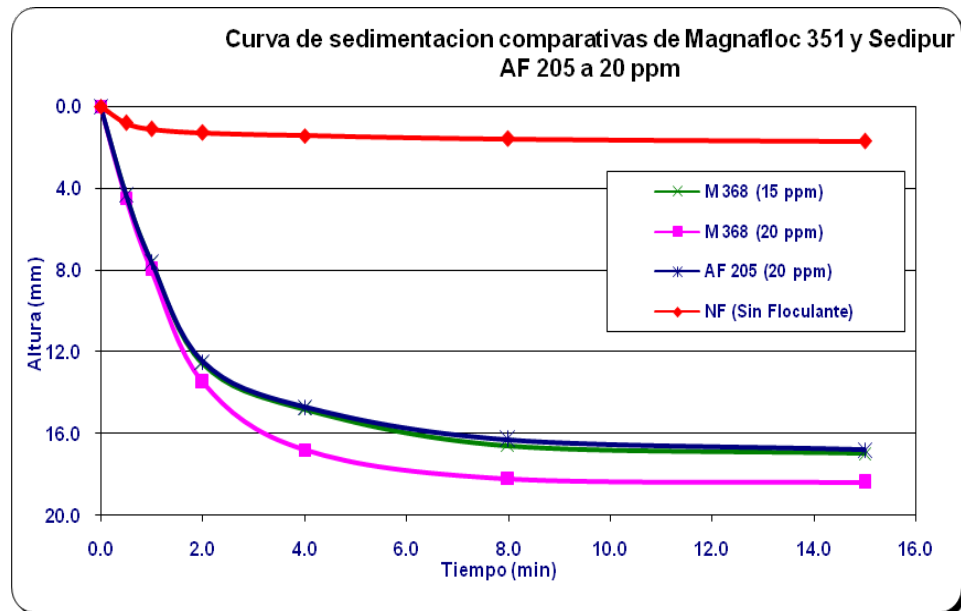


Gráfico 3.13: Prueba de sedimentación con Relave de Flotación

- Finalmente, en base a los resultados obtenidos en esta evaluación recomendamos el uso industrial del Magnafloc 351 y reemplazar de esta manera a nuestro floculante Orifloc 2051 por su mejor performance en floculación.

CAPITULO IV

EVALUACIÓN ECONOMICA.

4.1.- Análisis Costo-Beneficio

Los beneficios del proyecto se dan en los siguientes rubros:

- Mejorar la calidad de las aguas tratadas que se vierten a los cuerpos receptores con una disminución considerable de los metales contaminantes y de los TSS; eliminando los impactos referidos a la preservación de la flora y fauna silvestre.
- Se eliminaría el impacto social directo con la comunidad y posibles conflictos futuros, llegando a establecer un clima de armonía y excelentes relaciones empresa – comunidad.
- Generación de servicios, que representa los beneficios indirectos de oportunidad comercial y laboral en distintos radios de influencia del proyecto.

Los costos se dan en los siguientes rubros:

- Sanciones Económicas de varias UIT hasta el cierre definitivo de la Unidad Minera.
- Impactos en los recursos naturales (suelo y agua).

Estos costos se convierten en factores externos negativos que son considerados en los balances económicos, de la empresa, mas no del Estado. Desde inicios de la última década, se ha empezado a considerar el tema ambiental en la normatividad sectorial, lo que se ha traducido en que las empresas han asumido parte de los costos ambientales generados.

De alguna manera esto permite asignar un valor económico al rubro de “Costo Ambiental”. Dado que efectivamente la empresa asumiría el costo ambiental de no afectar la calidad del agua y del suelo, que pudieran ser sus impactos principales, pero que con las medidas de mitigación no lo hace.

Este proyecto tiene un costo relativamente bajo, de los cuales un fuerte componente se encuentra en el diseño preventivo de la contaminación, lo que convierte en gran medida al costo constructivo en un costo de prevenir factores externos ambientales. Es lo que la empresa está gastando para evitarle a la sociedad una serie de impactos ambientales que harían poco tolerable al proyecto y definitivamente inviable. Si analizamos el costo en forma cualitativa, estaremos viendo que en gran medida es preventivo y no de remediación, lo que es más importante aún.

Podemos apreciar que el proyecto representa una serie de beneficios que sumados al costo de prevención ambiental, totalizan cifras de varios miles de dólares que la empresa está asumiendo en contrapartida de poder seguir operando en condiciones de desarrollo sostenible y de relaciones fructíferas con sus vecinos.

4.2.- Inversión, costo/ beneficio (Inversiones vs. Sanciones a enfrentar)

Empresa:	Cía de Minas Buenaventura S.A.A.	Elaborado:	Química Angloperuana S.A.(QAP)			
Unidad:	U.P. Shila - Mina Paula	Fecha:	29 al 06 de marzo del 2009			
Procedencia:	Nivel 4880 – Veta Nazareno					
Flujo total de tratamiento de aguas		14 m3/hora				
Dosis de Floculante Orifloc 2051		2 ppm				
Dosis de Floculante Magnafloc 351		2 ppm				
Dosis de Floculante Sedipur AF 205		2 ppm				
Dosis de Coagulante Catiofast VFH		10 ppm				
1ra Dosis de Coagulante Magnafloc 7991		5 ppm				
2da Dosis de Coagulante Magnafloc 7991		10 ppm				
Producto	Dosis	m3/horas	horas	días	Kg/mes	Kg/mes
Orifloc 2051	2	14	24	30	20.16	21
Magnafloc 351	2	14	24	30	20.16	21
Sedipur AF 205	2	14	24	30	20.16	21
Catiofast VFH	10	14	24	30	100.8	101
Magnafloc 7991	5	14	24	30	50.4	51
Magnafloc 7991	10	14	24	30	100.8	101
Procedencia:	Nivel 4980 – Veta Nazareno					
Flujo total de tratamiento de aguas		25 m3/hora				
Dosis de Floculante Orifloc 2051		2 ppm				
Dosis de Floculante Magnafloc 351		2 ppm				
Dosis de Floculante Sedipur AF 205		2 ppm				
Cal		110 gr/m3				
Producto	Dosis	m3/horas	horas	días	Kg/mes	Kg/mes
Orifloc 2051	2	25	24	30	36	36
Magnafloc 351	2	25	24	30	36	36
Sedipur AF 205	2	25	24	30	36	36
Cal	110	25	24	30	1980	2000
Procedencia:	Relavera # 4 - Relave Final					
Flujo total de tratamiento de aguas		130 m3/hora				
Dosis de Floculante Orifloc 2051		1.5 ppm				
Dosis 1 de Floculante Magnafloc 351		1.5 ppm				
Dosis 2 de Floculante Magnafloc 351		15 ppm				
Dosis 1 de Floculante Sedipur AF 205		1.5 ppm				
Dosis 2 de Floculante Sedipur AF 205		15 ppm				
Producto	Dosis	m3/horas	horas	días	Kg/mes	Kg/mes
Orifloc 2051	1.5	65	24	30	70.2	70.2
Magnafloc 351	1.5	65	24	30	70.2	70.2
Magnafloc 351	15	65	24	30	702	702
Sedipur AF 205	1.5	65	24	30	70.2	70.2
Sedipur AF 205	20	65	24	30	936	940

Inversión Actual (empleando Orifloc 2051):					
Punto de Aplicación	Producto	Cantidad	Precio (Dolar	Valor Total en Dolares	
		Kg/mes	/Kg)		
Nivel 4880	Orifloc 2051	21	3.20	67.2	
Nivel 4980	Orifloc 2051	36	3.20	115.2	
Relavera # 4	Orifloc 2051	70.2	3.20	224.64	
Inversión Total (\$)				407.04	
Nueva Inversión (empleando Magnafloc 351 y 5 ppm de Magnafloc 7991) *:					
Punto de Aplicación	Producto	Cantidad	Precio (Dolar	Valor Total en Dolares	
		Kg/mes	/Kg)		
Nivel 4880	Magnafloc 351	21	3.90	81.9	
	Magnafloc 7991 (5ppm)	51	3.00	153	
Nivel 4980	Magnafloc 351	36	3.90	140.4	
Relavera # 4	Magnafloc 351 (1.5ppm)	70.2	3.90	273.78	
	Magnafloc 351 (15ppm)	702	3.90	2737.8	
CASO 1 (con una dosis de 1.5 ppm de Floculante)				Inversión Total (\$)	649.08
CASO 2 (con una dosis de 15 ppm de Floculante)				Inversión Total (\$)	3113.10
Nueva Inversión (empleando Sedipur AF 205 y 10 ppm de Catiofast VFH) *:					
Punto de Aplicación	Producto	Cantidad	Precio (Dolar	Valor Total en Dolares	
		Kg/mes	/Kg)		
Nivel 4880	Sedipur AF 205	21	4.20	88.2	
	Catiofast VFH (10ppm)	101	5.00	505	
Nivel 4980	Sedipur AF 205	36	4.20	151.2	
Relavera # 4	Sedipur AF 205 (1.5ppm)	70.2	4.20	294.84	
	Sedipur AF 205 (20ppm)	940	4.20	3948	
CASO 1 (con una dosis de 1.5 ppm de Floculante)				Inversión Total (\$)	1039.24
CASO 2 (con una dosis de 20 ppm de Floculante)				Inversión Total (\$)	4692.40
NOTAS:					
* : Cantidades equivalentes con los iguales resultados.					
- Considerar también que con 15 ppm de Magnafloc 351 se obtiene el mismo resultado que utilizar 20 ppm de Sedipur AF 205.					
- No consideramos la cal como inversión por utilizarse en cantidades constantes en las tres propuestas de inversión.					

En la Evaluación Costo y/o Beneficio Final debemos comparar la Inversión mensual que se realiza con las sanciones económicas mencionadas en la legislación ambiental que van desde **10 UIT a 100 UIT** por cada vez que se detecta una infracción a las normas de los LMP de las aguas que se vierten a los cuerpos receptores, estas sanciones pueden llegar inclusive desde un cierre temporal hasta el cierre definitivo de la Unidad Minera.

Por lo tanto si efectuamos un evaluación económica de Costo y/o Beneficio; el costo es muy grande si incumplimos con las normas vigentes.

RESUMEN		
CASO 1 (con una dosis baja de Floculante para el relave)		
	En Dolares	% Variación
Inversión Actual (empleando Orifloc 2051):	407.04	
Nueva Inversión (empleando Magnafloc 351 y 5 ppm de Magnafloc 7991) *:	649.08	59.46
Nueva Inversión (empleando Sedipur AF 205 y 10 ppm de Catiofast VFH) *:	1039.24	155.32
CASO 2 (con una dosis alta de Floculante para el relave)		
	En Dolares	% Variación
Inversión Actual (empleando Orifloc 2051):	407.04	
Nueva Inversión (empleando Magnafloc 351 y 5 ppm de Magnafloc 7991) *:	3113.10	664.81
Nueva Inversión (empleando Sedipur AF 205 y 10 ppm de Catiofast VFH) *:	4692.40	1052.81
NOTAS:		
<ul style="list-style-type: none"> - Gran parte del incremento en costos esta representado por el uso de coagulantes en los efluentes. - Se recomienda reemplazar el floculante Orifloc 2051 por el Magnafloc 351 por los mayores beneficios en cuanto a calidad de aguas tratadas, a pesar del incremento en los costos por el tratamiento de los relaves. - Se recomienda emplear el coagulante Magnafloc 7991, como alternativa de mejora de la calidad de las aguas que retornan a los cuerpos receptores. 		

4.3.- Viabilidad del proyecto.

Este es un proyecto muy amigable con el medio ambiente por las siguientes razones:

- Propone la recirculación de las aguas industriales tratadas a los procesos de planta de beneficio y de mina, con lo se disminuye el consumo de agua fresca en las operaciones minero metalúrgicas.
- Preserva las fuentes naturales de agua para su utilización racional futura por parte de las comunidades del entorno, la empresa y del estado.
- Conserva la calidad natural del agua de los cuerpos receptores al disminuir los vertimientos industriales.
- Minimiza el impacto ambiental producido por el almacenamiento de los relaves en pasta ya sea en el deposito actual así como al interior de la mina.
- Evita el impacto ambiental de un nuevo depósito de relaves al incrementar la vida útil de la cancha de relaves actual.
- Previene el impacto ambiental al aire al almacenar relave en pasta con propiedades que disminuyen la formación de polvos sobre la superficie del depósito de relaves.

CAPITULO V

ASPECTOS AMBIENTALES.

Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., ha orientado su gestión ambiental, mediante el Sistema Integrado de Buenaventura (SIB), para el cumplimiento de la norma ISO 14001. En este período la empresa Germanischer Lloyd (GL) validó la vigencia de las certificaciones en las minas Julcani, Orcopampa, Uchucchacua y Antapite. **La unidad Shila – Paula, será auditada para lograr su certificación en el 1er trimestre del 2009.**

La inversión total de la Empresa en trabajos ambientales, durante el año 2008, ascendió a US\$ 7.1 millones. De este monto, US\$ 2.6 millones corresponden a la ejecución de trabajos considerados en los planes de cierre de minas, US\$ 1.1 millones a la ejecución de los planes de cierre de pasivos ambientales y **la diferencia estuvo orientada principalmente al monitoreo de calidad de agua, mejora de los sistema de tratamiento de efluentes,** construcción de depósitos de desmonte e infraestructura para el manejo del agua de escorrentía y trabajos de revegetación.

Respecto a la calidad de agua CEDIMIN S.A.C. viene implementando mejoras de los sistemas de tratamiento de efluentes en sus operaciones de la

Mina PAULA y en las escorrentías ubicadas cerca del entorno. Debido a la cercanía de estos cuerpos de agua ha sido necesario elaborar un proyecto que comprenda el tratamiento de manera conjunta de los efluentes turbios y ácidos provenientes de los niveles 4880 y 4980, incluyendo las aguas de Planta de Beneficio (Relaves), aprovechando las características de cada uno de ellos y el principio de SINERGIA y mejorar así la calidad del vertimiento industrial. El tratamiento en conjunto de las aguas residuales industriales permitirá obtener un efluente con mucha mejor calidad que los actuales y que pueda ser vertido al cuerpo receptor, con lo que se lograra la disminución de presencia de plomo, zinc, hierro y otros metales pesados en estos efluentes así como en los cuerpos receptores de aguas.

Estas mejoras en el tratamiento de Aguas Residuales Industriales comprende el uso de mejores agentes coagulantes y/o floculantes orgánicos para la eliminación de los TSS y metales contaminantes.

5.1.- Normatividad vigente del MEM.

Es importante mencionar que CEDIMIN S.A.C. respeta la normatividad vigente, para ello mencionaremos los puntos claves y las normas involucradas:

- Adecuar los vertimientos industriales a los parámetros establecidos por la Ley General de Aguas para Clases II, III, IV y VI.

- Cumplir con la Normatividad Legal Vigente; Ley General de Aguas N° 17752, DS N° 261-69-AP, Modificada por D. S. N° 007-83-SA (**Cuadros 01 - 04 del Anexo 1**)
- Adecuarse a la R.D. N° 1152/2005/DIGESA/SA, (03 de Agosto de 2005), respecto a la Clasificación de Ríos Tributarios, Cuerpos Lénticos y Zonas Protegidas.
- Cumplir con Los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos para las Actividades Minera–Metalúrgicas R.M. N° 011-96-EM/VMM del 13.Enero del 1996). (**Cuadros 05 - 06 del Anexo 1**).

5.2.- Impactos Ambientales en la etapa de Explotación y Beneficio de Minerales.

5.2.1.- En la fase de explotación o extracción. Es en esta fase cuando se extrae el mineral. Los procesos mineros incluyen trabajos de perforación, voladura, transporte interno y externo de minerales usando diversos medios que incluyen ductos. La tecnología utilizada dependerá de las características del yacimiento, de su magnitud y del capital disponible. **Ver Fig. 5.1**

IMPACTOS	AMENAZAS	RIESGOS
Labores de preparación desarrollo y explotación, con trabajos de perforación, voladura y transporte.	En minería subterránea Ruptura del equilibrio litostático, daños en el drenaje. Generación de vibración, polvo y ruido, por voladuras, transporte de productos peligrosos, contaminación de aire, suelo y fuentes de agua.	Subsidencia. Alteración de la topografía y el paisaje. Drenaje ácido de mina, vertimiento de productos peligrosos, fallas de suministro de agua a poblaciones. Conflictos sociales con las comunidades.
Acumulación de estériles y desechos líquidos.		
Remoción de la cubierta vegetal o del suelo sin vegetación, movimiento continuado de máquinas y vehículos.	En minería a cielo abierto Exposición de mineral a agentes meteóricos y erosivos, antes de ser lixiviado. Explosiones. Depósitos de material estéril. Gases de combustión y polvo de vehículos.. Transporte de materiales peligrosos.	Desertificación. Accidentes de derrame de productos peligrosos, aguas ácidas, conflictos sociales con las comunidades.

Fig. 5.1: Impactos, Amenazas y Riesgos en la etapa de Explotación Minera

CEPAL-CERIE Recursos Naturales e Infraestructura n°57 pag.29 – CEPAL publicaciones

5.2.2.- En el beneficio o procesamiento de mineral.

En esta fase se recuperan los minerales buscados, mediante procesos físico-químicos que los separan de elementos llamados estériles o sin valor económico, con los que se encuentran asociados.

El procesamiento se inicia con la trituración primaria y secundaria, conocida en muchas partes como chancado, continúa con la molienda y la extracción de líquidos. En el chancado se fragmenta la mena o roca mineralizada en trozos de menor tamaño para poder llevarlas a la molienda, en donde se separan los minerales de valor económico del material estéril, enseguida aquellos se concentran mediante métodos gravimétricos, magnéticos, flotación, o hidrometalurgia.

El concentrado es una pulpa que contiene considerables cantidades de agua, la cual se extrae depositándolo en un tanque donde el mineral se precipita al separarse del agua; otra forma de hacerlo es mediante la adición de productos químicos que capturan del agua las partículas más finas del mineral.

Luego del proceso de concentración, los residuos denominados relaves o colas

Con contenidos de metales no deseados y restos de las sustancias químicas utilizadas en el proceso, se depositan en áreas contiguas a las instalaciones de beneficio de mineral.

Esta fase finaliza con el procesamiento de los metales o metalurgia de extracción o refinamiento y se realiza en fundiciones o refinerías. Entre los métodos utilizados están la piro metalurgia, la electrometalurgia y la hidrometalurgia; ver **fig. 5.2**

IMPACTOS	AMENAZAS	RIESGOS
<p align="center">Concentración</p> <p>Uso intensivo de agua, exposición al ambiente de materiales con elementos pesados, apilamiento de relaves o colas.</p>	<p align="center">Concentración</p> <p>Producción de ruidos y vibración por la operación de la planta de beneficio, emisión de particulados al aire y de compuestos tóxicos. Deposición inadecuada de relaves.</p>	<p align="center">Concentración</p> <p>Contaminación del aire, del suelo y del agua, vulnerabilidad de relaves a la erosión.</p>
<p align="center">Fundición y refinación</p> <p>Producción desechos químicos orgánicos e inorgánicos, alto consumo de energía.</p> <p>Utilización de áreas para el depósito de escorias.</p>	<p align="center">Fundición y refinación</p> <p>Emisión de gases.</p> <p>Emisión de metales pesados en atmósfera.</p>	<p align="center">Fundición y refinación</p> <p>Contaminación del aire, del agua y del suelo; en áreas muy concentradas de actividad industrial generan lluvias ácidas transportadas a otras zonas.</p> <p>Potencial acumulación de metales pesados en suelos con vocación agropecuaria.</p>

Fig. 5.2: Impactos, Amenazas y Riesgos en la etapa de Procesamiento de minerales. SEDAPAL publicaciones pag.30

5.3.- Solución a los impactos ambientales

Se debe constituir un Grupo Coordinador que liderará y hará frente de forma eficaz a una respuesta rápida a los impactos ó emergencias ambientales; los pasos a seguir son (ver **Fig. 5.3**):

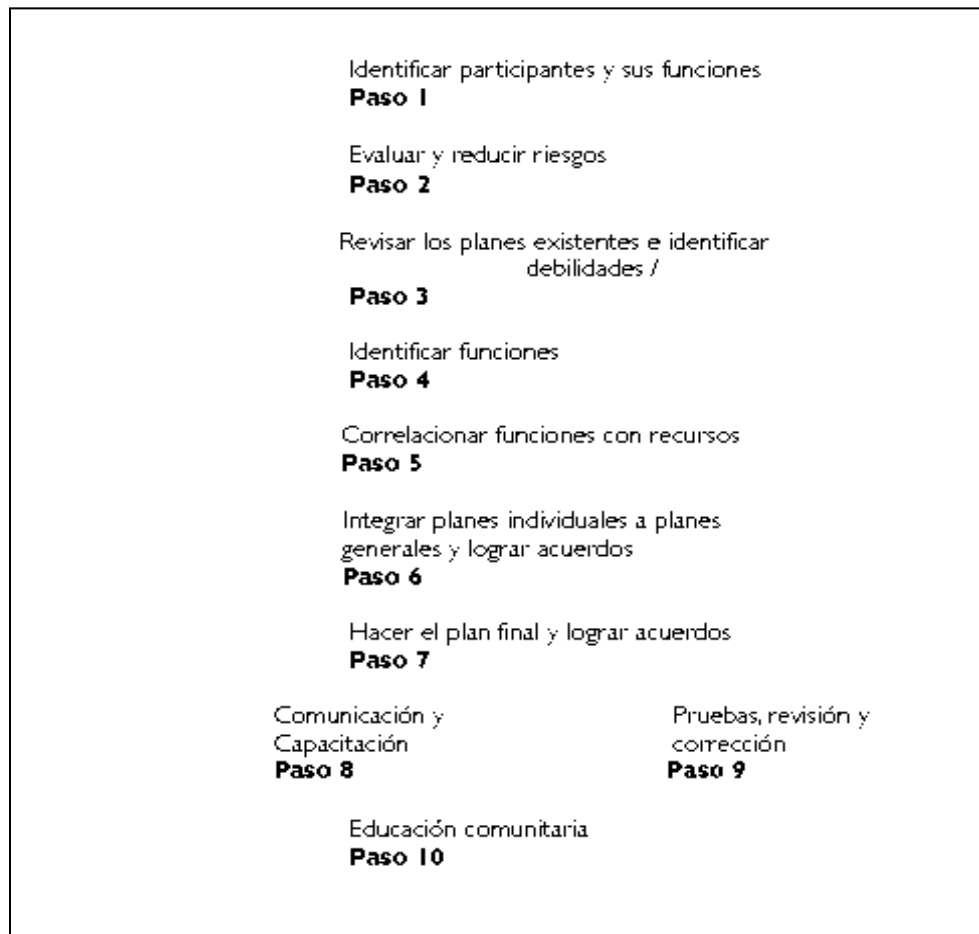


Fig. 5.3: Esquema de los pasos a seguir en un plan de respuesta a los Impactos Mineros.

5.3.1.- Identificar a los participantes en la respuesta de emergencia y establecer sus papeles, recursos e intereses.

- Preparar la lista de participantes potenciales del Grupo Coordinador para brindar la respuesta de emergencia. Algunos miembros pueden conocer

de grupos especializados que podrían ser llamados en situaciones específicas de emergencia.

- Obtener copias de los planes de emergencia existentes y estudiarlos para identificar otras entidades y participantes de respuesta de emergencia.
- Identificar las carencias, deficiencias de recursos o debilidades en las capacidades de la comunidad y de las autoridades locales.
- Preparar un cuadro en que se describan los recursos y responsabilidades de los participantes del Grupo Coordinador como: personal a su cargo, equipo, conocimiento especializado, instalaciones, etc. Se debe poner especial atención en identificar las limitaciones, vacíos, duplicaciones en cuanto a papeles y responsabilidades de los participantes.

5.3.2. -Evaluar los riesgos y peligros

Se deben identificar las posibilidades de accidentes, su probabilidad de ocurrencia y sus probables consecuencias. Ello permite la construcción de escenarios posibles y la prioridad de las acciones. Deben definirse y buscar

opciones para la reducción de riesgos. El Grupo Coordinador debe supervisar la preparación de la lista de riesgos y peligros potenciales, no solo los más obvios.

Para facilitar el trabajo, se debe considerar lo siguiente:

- Estudiar los accidentes mineros ocurridos o cuasi accidentes, incluyendo los incidentes en instalaciones similares
- Aprovechar la experiencia de accidentes con sustancias químicas o de transporte en otras industrias;
- Conocer los potenciales efectos de fenómenos naturales: terremotos, inundaciones, incendios forestales, congelamiento, deshielos, que pueden causar o complicar las emergencias mineras;
- Considerar la percepción de la comunidad sobre los riesgos, y su disposición a aceptar unos y rechazar otros.
- Evaluar la gravedad potencial del impacto para cada accidente posible, por ejemplo:
 - o Tamaño y naturaleza de la potencial área afectada.
 - o Cantidad de personas en riesgo.
 - o Tipo de riesgo (daño físico, tóxico, crónico).
 - o Efectos a largo plazo.
 - o Impactos sobre áreas ambientalmente sensibles.
 - o Riesgos e impactos secundarios derivados.
- Evaluar cuantitativa o cualitativamente la probabilidad de la ocurrencia., como:

- Probabilidad de eventos individuales.
 - Probabilidad de eventos simultáneos (ej. rotura de tubería por terremoto).
 - Complicaciones por condiciones ambientales peculiares: terreno accidentado, localización sobre un río importante, condiciones de congelamiento, etc.
- El Grupo Coordinador debe estar de acuerdo sobre los escenarios clave en que razonablemente pueden ocurrir los accidentes, o sobre los que la comunidad tiene especial interés. Utilizar dichos escenarios para la planificación.
 - Identificados los peligros y sus probabilidades de ocurrencia, pueden definirse algunas áreas de riesgo que se eliminarán de inmediato. Deben tomarse medidas para reducir o manejar estos riesgos, mediante cambios en las prácticas operativas, modernización de equipos, entrenamiento, cambio de sustancias químicas usadas, etc. El proceso de planificación de emergencia complementa, pero no sustituye al manejo del riesgo y la reducción del riesgo.

5.3.3.- Revisar los planes existentes e identificar debilidades

Es probable la existencia de planes de emergencia de diversos sectores de la comunidad y de la propia empresa minera y existe la posibilidad que en algunos casos no se cuente con ninguno.

El objetivo de este paso es el de revisar la adecuación de los planes tomando en cuenta los escenarios de riesgos establecidos por el Grupo Coordinador, de tal forma que contribuya a elaborar una respuesta integrada y efectiva. Las tareas son:

- Evaluar con los participantes los elementos de los planes existentes, las tareas previstas y los recursos disponibles, contrastándolos con los escenarios de riesgos previstos.
- El Grupo Coordinador revisará los resultados de las evaluaciones de cada uno de los planes existentes con el fin de determinar sus fortalezas y debilidades.

5.3.4.- Identificar las tareas de respuesta requeridas que no se incluyen en los planes existentes

De acuerdo con los resultados de los Pasos 6.2.2 y 6.2.3 se puede determinar si los planes existentes responden a los riesgos y escenarios de emergencia identificados, y de no serlo pueden definirse las tareas adicionales requeridas

El Grupo Coordinador deberá establecer:

- Los elementos o tareas que no han sido incluidos o son débiles en los planes existentes, en el contexto de una respuesta integrada y evaluar el grado de importancia que tiene para el o los grupos participantes
- Las interrelaciones, responsabilidades y planes de comunicación se deben debatir entre los participantes.

5.3.5.- Asignar tareas según los recursos disponibles de los participantes identificados

El Grupo Coordinador debe asignar las tareas que se hayan definido al participante que pueda atender mejor ese aspecto, tomando en consideración el nivel de autoridad, su jurisdicción, especialidad o su disponibilidad de recursos.

Debe a su vez:

- Evaluar por separado cada una de las tareas adicionales requeridas e identificar qué grupo está en mejores condiciones de realizarlas, según la lista de participantes.
- Evaluar la disposición del grupo participante para aceptar esta responsabilidad, así como también su disponibilidad de recursos y experiencia que garanticen el cumplimiento de las tareas.
- Evaluar si pueden surgir nuevas tareas, problemas o limitaciones luego de la realización de las tareas ya identificadas.
- Vigilar la culminación exitosa de cada tarea.

5.3.6.- Ajustar y mejorar los planes de emergencia existentes, integrarlos en un plan general de la comunidad y obtener la aprobación

Al completarse los Pasos 6.2.4 y 6.2.5 deben identificarse y resolverse los problemas relacionados con los recursos. Al integrar los planes se revelarán las posibles duplicidades en cuanto a responsabilidad y los problemas de

interrelación y coordinación entre las diversas agencias. El Grupo Coordinador debe realizar las siguientes tareas:

- Preparar el borrador de un plan integrado.
- Asegurar que el plan integrado concuerde con planes regionales de desastres, asegurar su concordancia con la legislación y regulaciones pertinentes para el planeamiento de la emergencia y la participación de la comunidad.
- Verificar la solidez del plan integrado en relación con todos los riesgos y escenarios de emergencia identificados, y respecto a las tareas, recursos, roles y responsabilidades.
- Efectuar un ejercicio de desempeño de responsabilidades para probar la eficacia del plan integrado, haciendo que los participantes clave describan cómo responderían a una variedad de escenarios de emergencia.
- Identificar cualquier debilidad en el plan y si es posible repetir los pasos previos para subsanarlas.
- Reajustar el Plan con la frecuencia que sea necesaria, hasta que se eliminen todas las deficiencias y el Grupo Coordinador estime que es el más adecuado.
- Asegurar que cualquier plan de otros agentes u organizaciones con sus respuestas particulares sea adaptado al plan integrado y evitar inconsistencias.

5.3.7.- Disponer del plan comunal integrado por escrito, obtener su aceptación y las aprobaciones pertinentes

El plan integrado aprobado por el Grupo Coordinador debe estar expresado en un documento y ser aceptado por la comunidad, el gobierno local y otras agencias relacionadas. Se trata de transferir la propiedad y aceptación del plan a las comunidades afectadas, agentes pertinentes y al interior de la empresa minera.

Con este fin, deben cumplirse las siguientes etapas:

- Redactar el plan en su forma final mediante un grupo pequeño.
- Preparar una presentación estándar para entregarla a quienes tienen una participación significativa en su aprobación o aplicación.
- Preparar material de difusión. Realizar presentaciones, reuniones y sesiones de revisión, dirigidos a obtener la aprobación de los dirigentes comunales y funcionarios pertinentes.
- Propiciar la suscripción de convenios dirigidos a apoyar la ejecución del plan, entre los participantes del proceso APELL y con empresas que proporcionen ayuda técnica de emergencia.

5.3.8.- Comunicar la versión final del plan integrado a los grupos participantes y asegurar que todos los responsables estén entrenados.

Luego de pasar las instancias de aprobación del plan integrado, se deberán entregar copias a los grupos participantes con el fin de que conozcan el formato del plan, sus responsabilidades colectivas e individuales y el entrenamiento que van a requerir, como el uso de equipo necesario y nuevos procedimientos a aplicar, según las siguientes etapas:

- Preparar lista de grupos participantes que necesiten más información sobre el plan y organizar presentaciones para ellos, explicándoles sobre sus papeles, tipo de entrenamiento, etc.
- Actualizar los manuales de procedimiento. Realizar sesiones de entrenamiento con los actores identificados, las que pueden ser hechas por la misma empresa minera si la autoridad local no está equipada para ello.
- Difundir la publicidad preparada para una adecuada información.
- Realizar ejercicios de entrenamiento práctico en vigilancia, uso de comunicaciones, control de tráfico, procedimientos de evacuación, etc.
- Organizar talleres ampliados de trabajo que incluyan escenarios de emergencia, para entrenar a los líderes en la coordinación y comunicación entre los participantes.
- Enfocar el entrenamiento en los aspectos de comunicación y medios, sobre los voceros principales de respuesta de emergencia y dentro de la empresa minera.

- El entrenamiento debe incluir asuntos tales como papeles y responsabilidades de los encargados de respuesta, cómo usar los recursos disponibles para una emergencia en la mina, interpretación de letreros y rótulos peligrosos internacionales, cómo usar las guías de respuesta, ubicación, contenido e interpretación de documentos relativos al contenido de un derrame, contactos con los medios, etc.

5.3.9.-Establecer procedimientos para la prueba, revisión y actualizaciones periódicas del plan integrado

- Se podrá realizar un ejercicio general preparando un escenario de emergencia con el objetivo de probar los elementos del plan, sin incluir miembros del grupo de respuesta de emergencia y dando aviso previo a la comunidad.
- Se deberán corregir las deficiencias y hacer los ajustes en el plan integrado.
- El Grupo Coordinador evaluará los resultados luego del ejercicio, según las pautas y procedimientos establecidos previamente. En esta evaluación es importante examinar la coordinación entre entidades.
- Se deben establecer pautas para asegurar que el plan sea revisado y actualizado con regularidad para mantenerlo vigente.

Deben tomarse en cuenta asuntos tales como escenarios múltiples, para probar diferentes tipos de emergencias mineras, las posibles variaciones

climáticas, los tiempos de vigencia variable de las operaciones, cambios en plana mayor, modificaciones en la empresa como ampliaciones, incorporación de nuevas áreas, instalación de otras industrias en la vecindad o nuevas urbanizaciones o carreteras.

5.3.10.- Divulgación del plan a toda la comunidad

En una situación de emergencia, se espera y requiere la participación de los ciudadanos y de todos los actores comprometidos. Debe asegurarse que cada miembro de la comunidad sepa cuáles serán las advertencias y qué hacer durante una emergencia, cómo obtener información adicional y cómo evacuar la zona afectada si fuera necesario. Debe desarrollarse una estrategia que incluya acciones y herramientas de apoyo para lograr el objetivo de comunicar el plan.

Entre otras, se consideran las siguientes acciones:

- Preparar un folleto modelo de respuesta de emergencia para distribuirlo a todos los residentes de las áreas que puedan ser afectadas. El folleto debe tomar en consideración las características educacionales y culturales de la comunidad afectada para lograr una adecuada comunicación (según el nivel de alfabetización, el uso de símbolos y figuras puede simplificar las acciones de respuesta, aunque pueda necesitarse un programa de educación de la comunidad frente a frente para respaldar su comprensión; puede publicarse en dos o más idiomas).

- Se debe preparar una carpeta de información y de contactos en situación de emergencia, dirigida a los medios de comunicación, empresa y entidades públicas.
- Realizar sesiones de información a los medios y solicitar su ayuda durante una emergencia, establecer otros medios de concientización pública como organizar grupos de voceros para dirigirse, escuelas, talleres de trabajo sobre sustancias químicas específicas, para educar al público sobre sus beneficios y riesgos, etc.

5.4.- Contenidos finales promedio y la remediación final de las aguas vertidas al los cuerpos receptores.

5.4.1.- Aguas del Nivel 4880 – Veta Nazareno

5.4.1.1.- Contenidos Metálicos y de TSS en las muestras de agua tratada luego de utilizar los floculantes, Orifloc 2051 Magnafloc 351y Sedipur AF-205.

- En la
- obtenidos; antes y después de los ensayos de sedimentación con 2ppm de los floculantes Sedipur AF-205, Orifloc 2051 y Magnafloc 351; después de 15 min. de reposo.

Tabla 5.1 con los TSS y metales

Elemento (mg/L)	Sin Floculante NF (pH= 2.8)	Floculante			LMP Clase III	R.M. N°011-96-EM/VMM
		Orifloc 351	Magnafloc 351	Sedipur AF 205		
Cu	2.790	0.078	0.065	0.081	0.5	1.0
Zn	2.450	0.007	0.004	0.006	25.0	3.0
Pb	0.113	0.075	0.045	0.098	0.1	0.4
Fe	133.370	0.010	0.008	0.011	1.0	2.0
TSS (mg/L)	46.0	26.5	19.5	21.0		50.0

- A partir de esta data elaboramos las gráficas comparativas del nivel de metales finales; en todos los casos se observa una baja considerable de estos elementos al utilizar el floculante Magnafloc 351. (ver gráficas: 5.1, 5.2, 5.3, y 5.4)
- Respecto a los TSS se observa en la tabla anterior una reducción en el contenido de 46ppm (en el Blanco) a 19.5 ppm con el Magnafloc 351.

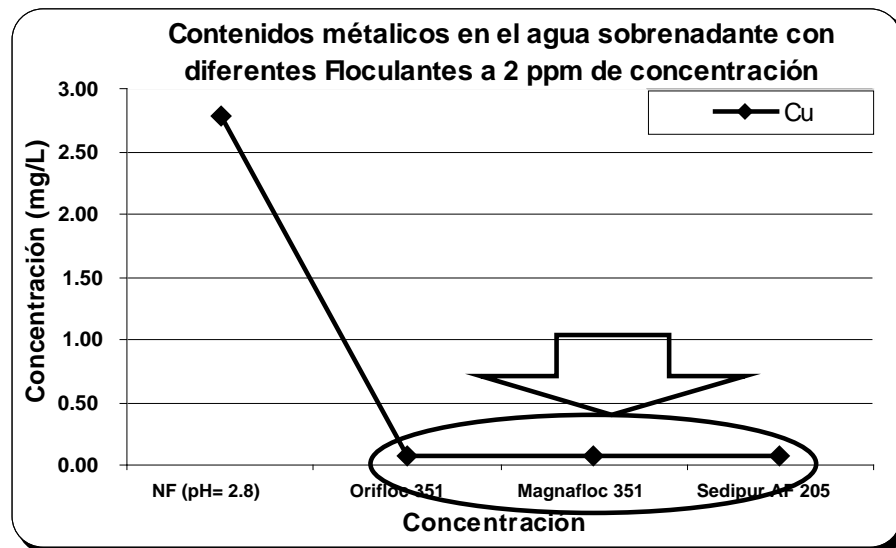


Gráfico 5.1: Contenidos de Cobre luego de utilizar 2 ppm de los diversos floculantes

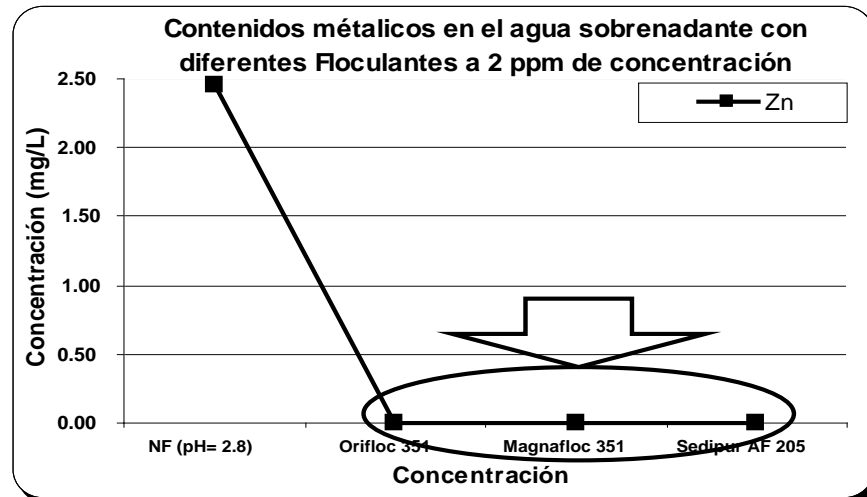


Gráfico 5.2: Contenidos de Zinc luego de utilizar 2 ppm de los diversos floculantes

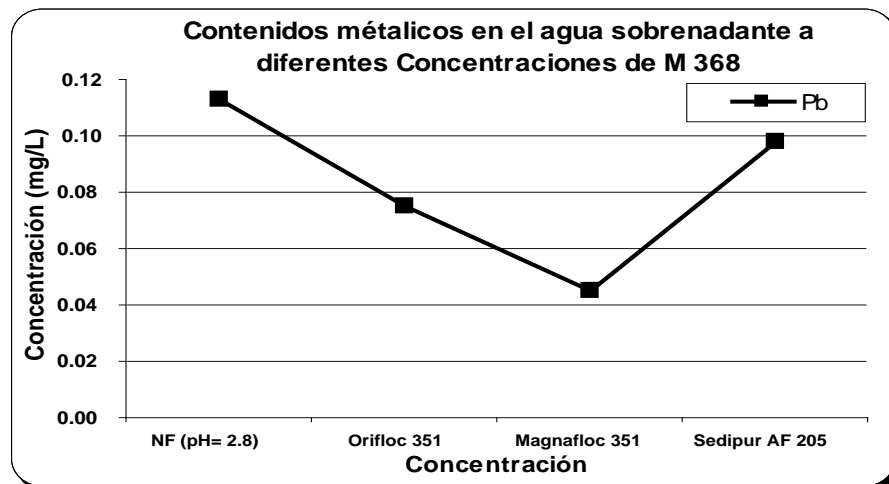


Gráfico 5.3: Contenidos de Plomo luego de utilizar 2 ppm de los diversos floculantes

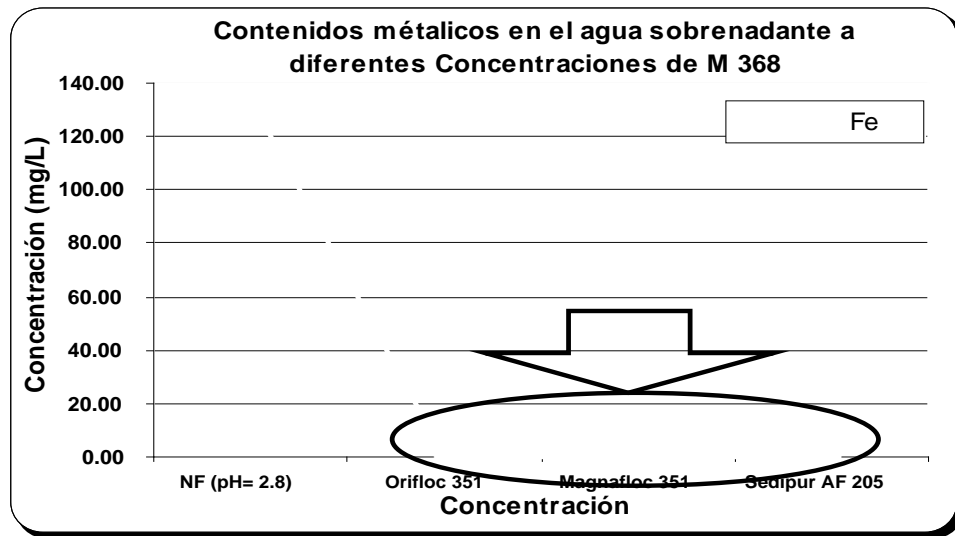


Gráfico 5.4: Contenidos de Fierro luego de utilizar 2 ppm de los diversos floculantes

5.4.1.2.- Efecto de los agentes coagulantes en los TSS.

- Para interpretar el efecto de los coagulantes en la calidad del agua tratada mostraremos nuevamente la Tabla 5.2

Tabla 5.2

Elemento (mg/L)	Coagulante QAP (Magnafloc 7991)				
	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
TSS (mg/L)	21.0	16.0	8.5	6.0	2.0

Elemento (mg/L)	Coagulante BASF (Catiofast VFH)				
	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
TSS (mg/L)	21.0	17.5	9.5	7.0	2.5

- Con el coagulante Magnafloc 7991 (5ppm) a las dosis mostradas y luego de adicionar 2ppm de Magnafloc 351, se logra reducir los TSS en las aguas tratadas de 21 ppm hasta en 2.0ppm.
- Comparando el efecto entre los coagulantes Magnafloc 7991 y Catiofast VFH el de mejor resultados es el primero de los mencionados en todas las concentraciones.

5.4.2.- Aguas del Nivel 4980 – Veta Nazareno

5.4.2.1.- Resultados obtenidos en TSS y contenido de metales de las muestras de agua luego de utilizar el floculante Magnafloc 368 a diferentes pH

En la Tabla 6.3 con los TSS con los metales obtenidos antes y después de los ensayos de sedimentación con 2ppm de floculante Magnafloc 351) a diferentes pHs y luego de dejar 15 min. de reposo.

Tabla 5.3

Elemento (mg/L)	Sin Floculante (pH= 2.8)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)				LMP Clase III	R.M. N°011-96- EM/VMM
		M 351 (pH:4.5)	M 351 (pH:7.37)	M 351 (pH:8.18)	M 351 (pH:9.55)		
Cu	4.679	0.645	0.122	0.079	0.086	0.5	1.0
Zn	4.850	2.454	0.084	0.005	0.009	25.0	3.0
Pb	0.133	0.124	0.086	0.098	0.100	0.1	0.4
Fe	263.730	24.300	0.009	0.009	0.046	1.0	2.0
TSS	65.5	54.0	12.5	7.0	50.5		50.0

- A partir de esta data elaboramos las gráficas comparativas del nivel de metales finales; en todos los casos se observa una baja considerable de estos elementos a un pH de 7.37 con 2ppm de Magnafloc 351. (ver gráficas 5.5, 5.6, y 5.7).
- Respecto a los TSS se observa en la tabla anterior una reducción en el contenido de 65 ppm (en el Blanco) a 12.5 ppm con el Magnafloc 351.

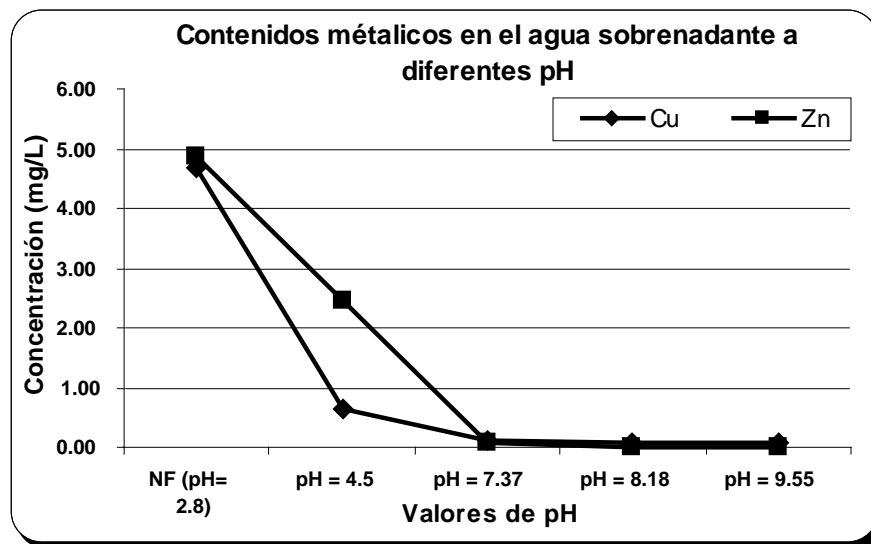


Gráfico 5.5: Contenidos de Zinc y Cobre a diferentes pH utilizando 2 ppm de Magnafloc 351.

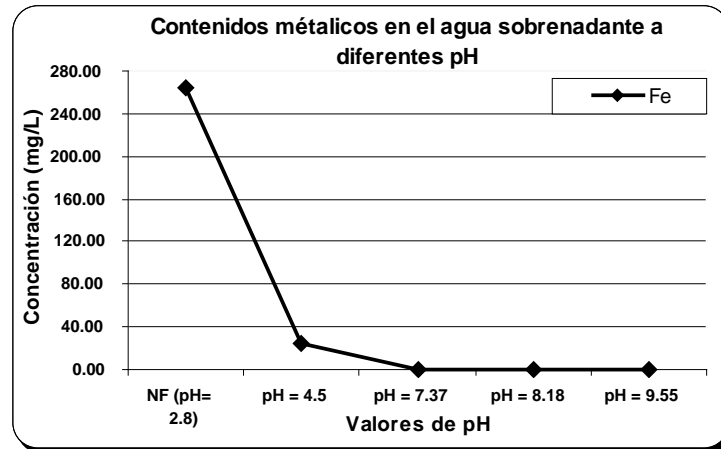


Gráfico 5.6: Contenidos de Plomo a diferentes pHs utilizando 2 ppm de Magnafloc 351.

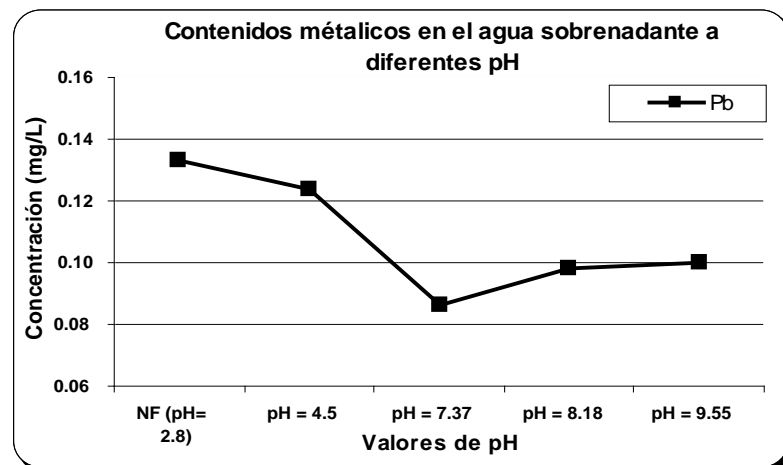


Gráfico 5.7: Contenidos de Hierro a diferentes pHs utilizando 2 ppm de Magnafloc 351.

5.4.2.2.- Resultados obtenidos en TSS y contenido de metales de las muestras de agua luego de utilizar Magnafloc 351 a diferentes concentraciones.

- Nuevamente mostramos la Tabla 6.4 con los TSS y metales obtenidos al antes y después de los ensayos de sedimentación con diversas dosis de Magnafloc 351) a un pH de 7.5 y luego de 15 min. de reposo.

Tabla 5.4

Elemento (mg/L)	NF (Sin Floculante)	Reactivo QAP (Magnafloc 351)				LMP Clase III	R.M. N°011-96 EM/VMM
		M 351 (1.0 ppm)	M 351 (2.0 ppm)	M 351 (3.0 ppm)	M 351 (4.0 ppm)		
Cu	4.679	0.122	0.062	0.109	0.096	0.5	1.0
Zn	4.850	1.484	0.005	0.198	0.053	25.0	3.0
Pb	0.133	0.086	0.066	0.068	0.110	0.1	0.4
Fe	263.730	0.009	0.005	0.023	0.275	1.0	2.0
TSS	65.5	29.5	12.5	16.0	12.0		50.0

- En la tabla anterior se muestra que los TSS para 2 ppm de Magnafloc 351 son lo mas bajos comparados con el resto de concentraciones.
- Respecto al contenido de metales con dicha concentración de 2 pm se logra una reducción considerable de los mismos cumpliendo con los LMP.

- A partir de esta data elaboramos las gráficas comparativas del nivel de contenidos de metales finales; utilizando diversas dosis de Magnafloc 351. (ver gráficas 6.8, 6.9 y 6.10)

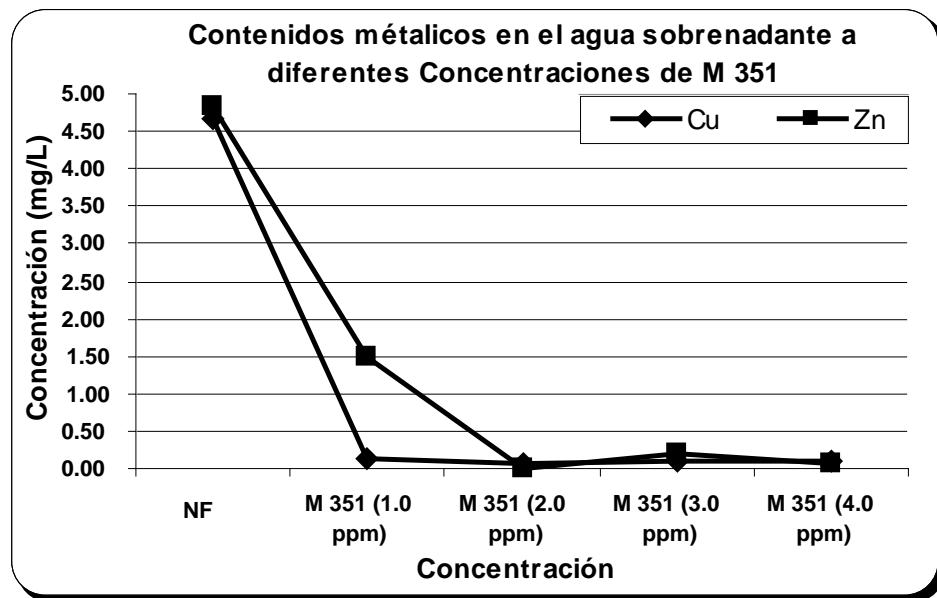


Gráfico 5.8: Contenidos de Cobre y Zinc a diferentes Concentraciones de Magnafloc 351.

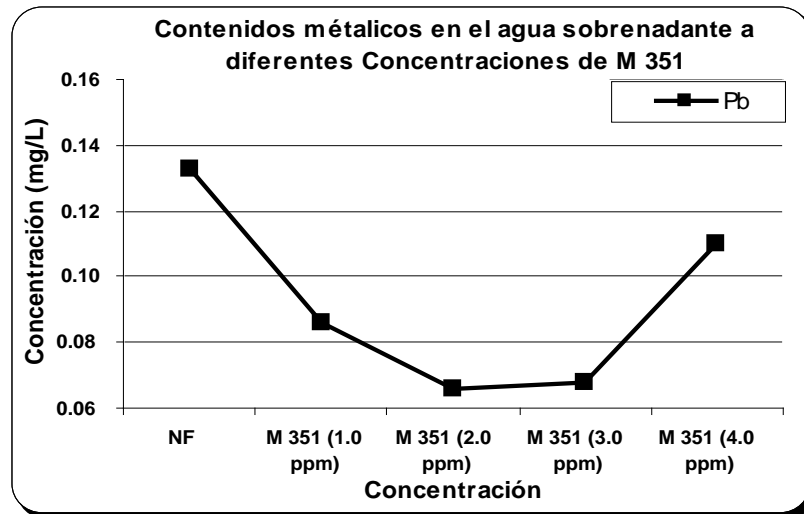


Gráfico 5.9: Contenidos de Plomo a diferentes Concentraciones de Magnafloc 351.

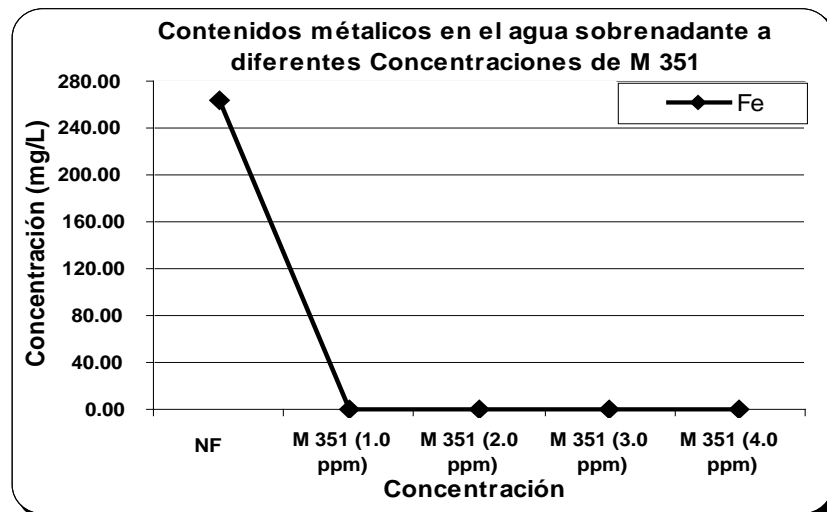


Gráfico 5.10: Contenidos de Fierro a diferentes Concentraciones de Magnafloc 351.

CONCLUSIONES

1- Aguas del Nivel 4880 – Veta Nazareno

- Con la aplicación del Magnafloc 351 (2ppm) se logró reducir los sólidos totales en suspensión (TSS) a 18.5mg/L; mientras que con el Orifloc 2051 (2ppm) se obtuvo 26.5mg/L, finalmente con la adición Sedipur AF 205 (2ppm) se obtuvo 21 mg/L. en TSS.
- Al coagular la muestra con 10 ppm de Magnafloc 7991 se obtuvo mejores resultados respecto al Catiofast VFH en la misma dosis, logrando reducir los TSS a 8.5mg/L y 9.5mg/L respectivamente.
- Teniendo en cuenta que en conversaciones con personal de medio ambiente, ellos mencionaron que estarían dispuestos a invertir en un coagulante a fin de reducir el contenido de iones metálicos, se recomienda el uso del Magnafloc 7991 de Química Anglo peruana S.A. utilizando concentraciones entre 5 a 10 ppm.
- El consumo estimado de Magnafloc 351 sería de 21Kg/mes.
- El consumo de Magnafloc 7991 en caso de requerirse sería entre 51 y 101Kg, dependiendo de las concentraciones que se decidan aplicar (entre 5 y 10ppm).

2.- Aguas del Nivel 4980 – Veta Nazareno

- Con el uso de 2 ppm de Magnafloc 351 se obtuvo los más bajos niveles de metales disueltos (menor a 0.1ppm) y con TSS =12.5ppm. Del mismo modo utilizando 2 ppm de Magnafloc 351 se obtiene una buena velocidad de sedimentación: 31.15cm/min.
- El consumo de cal requerido para la neutralización (a pH 7.4) y considerando un caudal de 420L/min. es de 2000 Kg. de cal por mes aprox.
- Se recomienda la neutralización y aplicación del Magnafloc 351 para obtener un agua de calidad y que cumpla con los LMP exigidas por el MEM.
- El consumo de Magnafloc 351 recomendado sería de 36.0 Kg/mes.

3.- Relave de Flotación (Relavera # 04)

- Al emplear Magnafloc 351 (1.5ppm) se alcanzó una velocidad de 0.30 cm/min, mientras que con Sedipur AF205 (1.5ppm) se logró una mayor velocidad de sedimentación 0.29 cm/min.
- En caso requerir una mayor velocidad de sedimentación se recomienda incrementar la dosificación del floculante ya que en las pruebas realizadas con el Magnafloc 351 se alcanzó una velocidad de 7.0cm/min, mientras que con 20ppm de Sedipur AF205 se alcanzó una velocidad de 6.6cm/min.

- A nivel industrial se recomienda el uso del Magnafloc 351 en reemplazo del Orifloc 2051 por la excelente performance obtenida en los ensayos.

4.- Conclusión Final.

- Utilizando estos métodos de tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos se logra mejorar la calidad del agua tratada hacia los cuerpos receptores, de esta manera se elimina el impacto que puede ocasionar la presencia de sólidos y metales disueltos.
- El uso de la Floculación en el tratamiento del relave de flotación nos permite recuperar agua para ser utilizada a nivel industrial, De esta manera se logra minimizar el uso de agua fresca o de reposición proveniente de las lagunas del entorno al implementar la recirculación del agua tratada en los procesos de beneficio de minerales así como en las operaciones de minado.
- Finalmente el éxito de todos estos tratamientos de efluentes permitirá mejorar la percepción pública de la Gestión Ambiental de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.: “Memoria Anual 2004”.
- Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.: “Memoria Anual 2008”.
- Nalco: “Manual del Agua”- Tomo 1 - Año 1979.
- Sedapal : “Tratamiento del agua” - Coagulación y Floculación - Año 2000.
- Química AngloPeruana S.A. : “Informe Técnico de Ensayos de Sedimentación en la Unidad Minera Shila- Paula (Cedimin SAC - Cía de Minas Buenaventura SAA)” – Año 2009.
- CEPAL / UNCTAD: Guía para la Gestión de las Autoridades Locales de Pueblos y Distritos Mineros de América Latina y el Caribe – Año 2003.
- <http://cabierta.uchile.cl/revista/15/articulos/pdf/edu4.pdf> CoaguFlocu0
- http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf CoaguFlocu1
- <http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/cuatro.pdf> CoaguFlocu2
- <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-14.pdf> CoaguFlocu3
- http://digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1233/1/15372239_2009.pdf CoaguFlocu4
- <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/0/13040/P13040.xml&xsl=/drni/tpl/p9f.xsl&base=/tpl/top-bottom.xslt> Series Cepal Guia Nº 57

ANEXOS:

A.- Anexo N° 01.- Cuadros referidos a la Normatividad vigente del MEM.

I.	Aguas de Abastecimiento doméstico con simple desinfección.
II.	Aguas de abastecimientos domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
III.	Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
IV.	Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
V.	Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
VI.	Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

Cuadro N° 01: Referentes a los tipos de uso del agua.

I.- LIMITES BACTERIOLOGICOS * (VALORES EN N. M. P./100 MIL)							
USOS		I	II	III	IV	V	VI
Coliformes Totales.	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000	
Coliformes Fecales.		0	4,000	1,000	1,000	200	4,000

(*) Entendidos como valor máximo en 80% de 5 ó más muestras mensuales.

Cuadro N° 02: Limites Bacteriológicos.

II. LIMITES DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) 5 DIAS, 20 C Y DE OXIGENO DISUELTO (O.D.) VALORES EN MG/1						
USOS						
	I	II	III	IV	V	VI
D.B.O.5	5	15	10	10	10	
OD.	3	3	3	3	5	4

Cuadro N° 03: Límites de demanda Bioquímica de oxígeno (DBO 5) y Oxígeno Disuelto

III. LIMITES DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE PELIGROSAS VALORES EN MG/M3					
USOS (2)					
PARAMETRO	I	II	III	V	VI
Selenio	10	10	50	5	10
Mercurio	2	2	10	0.1	0.2
PCB	1	1	1+	2	2
Esteres					
Estalatos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cadmio	10	10	50	0.2	4
Cromo	50	50	1,000	50	50
Níquel	2	2	1+	2	**
Cobre	1,000	1,000	500	10	*
Plomo	50	50	100	10	30
Zinc	5,000	5,000	25,000	20	**
Cianuros (CN)	200	200	1+	5	5
Fenoles	0.5	1	1+	1	100
Sulfuros	1	2	1+	2	2
Arsénico	100	100	200	10	50
Nitratos (N)	10	10	100	N.A.	N.A.

NOTAS:

* .- Pruebas de 96 horas LC50 multiplicadas por 0.1

** .- Pruebas de 96 horas multiplicadas por 0.02

LC50 .- Dosis letal para provocar 50% de muertes o inmovilización de la especie del BIO ENSAYO.

1+ .- Valores a ser determinados. En caso de sospechar su presencia se aplicará los valores de la columna V provisionalmente.

(2) .- Para el uso de aguas IV no es aplicable.

N.A .- Valor no aplicable.

Cuadro N° 04: Límites de Sustancias Potencialmente Peligrosas.

**NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION PARA
LAS UNIDADES MINERO-METALURGICAS**

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 6 y Menor que 9	Mayor que 6 y Menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1.0	0.3
Zinc (mg/l)	3.0	1.0
Fierro (mg/l)	2.0	1.0
Arsénico (mg/l)	1.0	0.5
Cianuro total (mg/l) *	1.0	1.0

* CIANURO TOTAL, equivalente a 0.1 mg/l de Cianuro Libre y 0.2 mg/l de Cianuro fácilmente disociable en ácido.

Cuadro N° 05: Límites Máximos Permisibles en Unidades Nuevas.

**VALORES MAXIMOS DE EMISION PARA LAS
UNIDADES MINERAS EN OPERACION O QUE
REINICIAN OPERACIONES**

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	100	50
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1
Zinc (mg/l)	6	3
Fierro (mg/l)	5	2
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro total (mg/l)	2	1

**Cuadro N° 06: Límites Máximos Permisibles en Unidades en Operación ó
que reinician operaciones.**