

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**USO Y SELECCIÓN DE COAGULANTES Y FLOCULANTES
ORGÁNICOS EN LA INDUSTRIA MINERO METALÚRGICA**

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:
MIGUEL ANGEL QUISPE ORDOÑEZ

LIMA – PERU

2011

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado de manera muy especial a mis padres Miguel y Adriana por su fé, confianza y apoyo durante el tiempo que estudié en la universidad. Del mismo modo a mi esposa Erika y mi hijo Jesús Miguel que son mi motor de vida.

RESUMEN

Este trabajo es una recopilación de datos obtenidos de la evaluación a nivel laboratorio e industrial en diferentes minas del Perú utilizando coagulantes y floculantes de diferentes densidad de carga y peso molecular. Las evaluaciones se realizaron considerando los parámetros de operación ya que siempre se buscó poder mejorar la separación sólido líquido tomando como referencia la turbiedad de la solución tratada, porcentaje de sólidos y/o contenido de iones metálicos como criterios para señalar la mejor alternativa en cada caso, dependiendo de lo que se quiera priorizar como resultado. Con el ordenamiento adecuado de estos datos logramos comprender un poco más el comportamiento de los coagulantes y floculantes en función de parámetros como pH, porcentaje de sólidos y tipo de partícula y a su vez como varía la eficiencia de estos al cambiar cada parámetro. Los resultados de esta investigación nos demostró que no siempre un floculante y/o coagulante que es bueno en una mina necesariamente es el adecuado en otra mina por lo que siempre se requerirá de realizar pruebas con los diferentes polímeros que tenemos presentes en el mercado hasta encontrar uno adecuado para el proceso considerando para esta elección las características químicas de estos polímeros y su performance en los diferentes medios acuosos.

INDICE

INDICE	pag.
Introducción	5
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	
1.1 Objetivo general.	6
1.2 Objetivos específicos	6
1.3 Justificación	6
CAPITULO II: PARTÍCULAS COLOIDALES	
2.1 Definición.	7
2.2 Características de las partículas coloidales.	7
2.3 Suspensiones coloidales.	9
2.4 Propiedades de los coloides	10
CAPITULO III: COAGULACIÓN	
3.1 Definición.	13
3.2 Mecanismos de coagulación.	14
3.3 Estabilidad e inestabilidad de los coloides.	14
3.4 La doble capa eléctrica.	16
3.5 Coagulación usando polímeros	19
CAPITULO IV: FLOCULACIÓN	
4.1 Floculantes	21
4.2 Floculación	24
4.3 Floculación usando polímeros	28
4.4 Mecanismos de floculación	29

4.5 Factores que afectan en la floculación.	30
4.6 Floculación-Coagulación en varias industrias.	31
4.7 Moléculas orgánicas usadas para separación sólido-líquido	35

CAPITULO V: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.1 Influencia del % sólido en la velocidad de sedimentación	38
5.2 Efecto del tipo de floculante en los TSS	39
5.3 Efecto del coagulante en los TSS	39
5.4 CASO 1	41
5.5 CASO 2	47
5.6 CASO 3	52
5.7 CASO 4	56
5.8 CASO 5	61

CONCLUSIONES	69
--------------	----

BIBLIOGRAFIA	70
--------------	----

ANEXOS	69
--------	----

INTRODUCCIÓN

Hace poco más de 20 años la palabra floculante significaba muy poco para el procesador de minerales. Probablemente se refería más a una sal inorgánica que realmente era un coagulante o por otro lado, a una sustancia polímera que ocurre naturalmente tal como el almidón o goma de guara. En ambos casos la sustancia se usaba como ayuda para el asentamiento. Probablemente hoy en día el término floculante se usaba más para describir los polímeros de alto peso molecular solubles en agua del tipo genéricamente conocido como poliacrilamidas (*B.A. Wills et al.*).

En el mundo el uso de los floculantes y coagulantes se ha ido incrementando conforme aumenta la necesidad de contar con agua recuperada por tratamientos de separación sólido-líquido. Con esto el avance de los diferentes floculantes con diferentes características de carga iónica y peso molecular así como los coagulantes con distinta carga iónica se han visto muy desarrolladas en estos últimos años dándonos así una gama de alternativas para poder diseñar una combinación adecuada de estos productos para obtener una buena performance al momento de la separación del contaminante sólido del líquido.

En este trabajo se trata de ofrecer diferentes alternativas de uso de estos productos a distintas aplicaciones en la industria minera, sin embargo existen muchas más. En algunos casos como en el tratamiento de aguas ácidas lo que hacemos es precipitar los iones metálicos como hidróxidos para poder realizar la separación sólido líquido. Este trabajo también nos muestra el comportamiento y variación de eficiencia de los floculantes de acuerdo a parámetros como pH y concentración y que para cada caso por lo general un coagulante y un floculante será el adecuado si sus características fisicoquímicas son compatibles con las características fisicoquímicas de superficie de las partículas que queremos separar de la solución problema.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo general

Optimizar la separación sólido líquido en diferentes tipos de soluciones, pulpas y drenajes presentes en las diferentes operaciones mineras.

1.2 Objetivos específicos

Conocer el comportamiento de coagulación y floculación de las partículas sólidas, modificando alguna variable que influya en el proceso de coagulación y/o floculación.

Realizar comparación de los diversos floculantes y coagulantes del mercado.

1.3 Justificación

En este tiempo donde la necesidad de reducir el impacto ambiental cobra mayor importancia, es fundamental tener los conocimientos de tratamiento de agua y en el caso de minería tomar conocimiento del comportamiento de los reactivos usados en el tratamiento de nuestros drenajes de mina y plantas metalúrgicas. También cobra mucha importancia este trabajo al aportar una herramienta de juicio para mejorar la performance de la remoción de contaminantes de las soluciones tratadas, consiguiendo de este modo una solución que podría ser descargado al medio ambiente teniendo en cuenta el cumplimiento de las últimas normas que está dando el gobierno peruano como el cumplimiento de los ECAs.

CAPITULO II

PARTÍCULAS COLOIDALES

2.1 Definición:

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 milimicrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad.

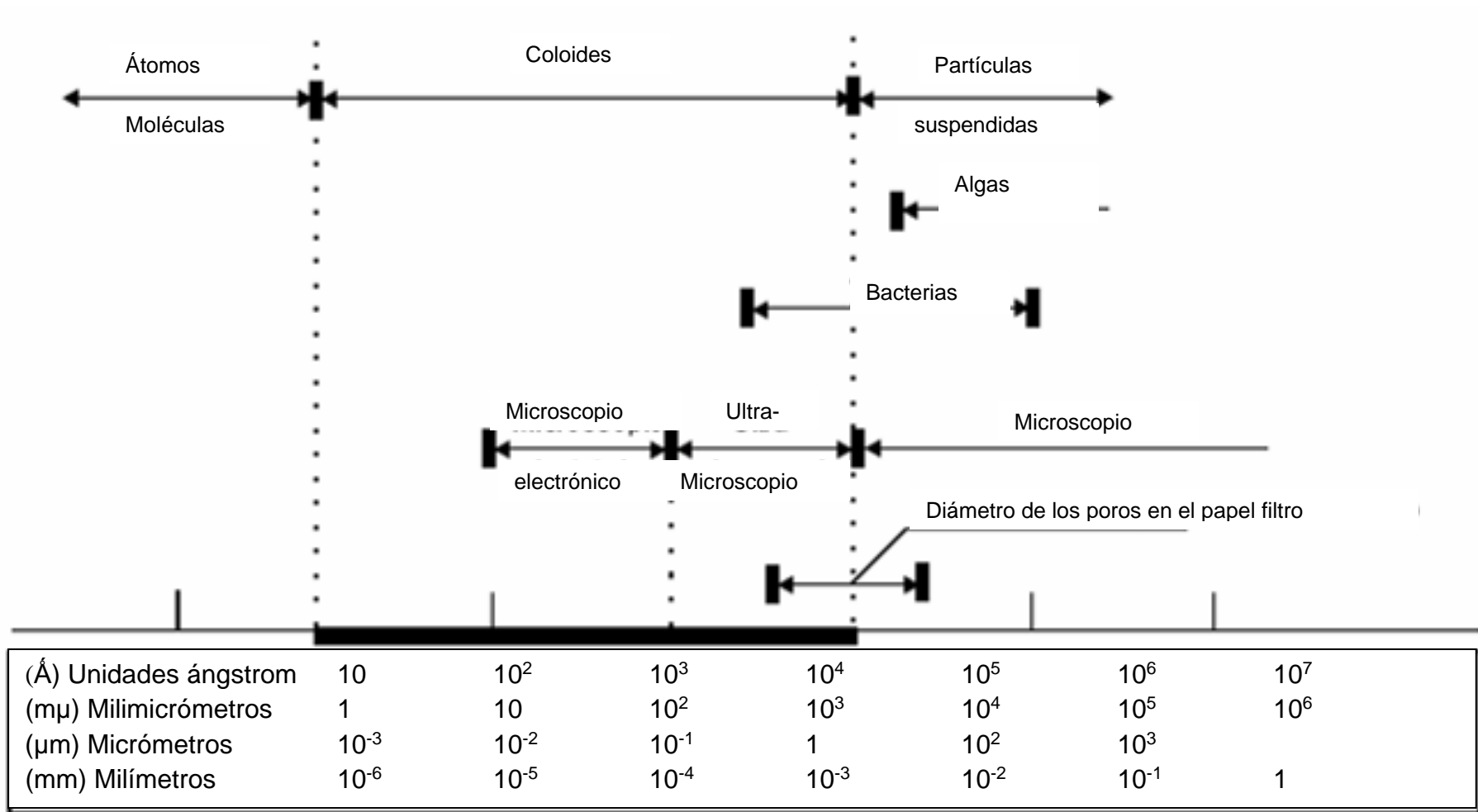
En términos generales, los denominados coloides presentan un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión.

La figura siguiente (*Esquema 1*) ilustra sobre el tamaño aproximado de las partículas y su distribución. Es necesario hacer notar, sin embargo, que en el caso de los coloides, sus dimensiones las define la naturaleza de los mismos.

2.2 Características de las partículas coloidales:

Desde el punto de vista energético, algunas partículas coloidales son termodinámicamente estables y se denominan coloides reversibles, incluidas las moléculas de detergente o jabón, proteínas, aminos y algunos polímeros de cadena larga. Otros coloides termodinámicamente inestables se denominan irreversibles, como las arcillas, los óxidos metálicos, los microorganismos, etcétera, que están sujetos a coagulación. Algunos coloides coagulan rápidamente, mientras que otros lo hacen lentamente. Los términos termoestables e inestables muchas veces se aplican a los coloides irreversibles. Con ello se hace referencia, por ende, a cinética de coagulación y no a las características termodinámicas y energéticas. Un sistema coloidal cinéticamente inestable es un sistema coloidal irreversible, en el cual la coagulación es significativa.

Esquema 1: Clasificación partículas por tamaños (diámetro)



2.3 Suspensiones coloidales

La sedimentación se usa para remover partículas suspendidas hasta de 50 μ m, lo que depende de su densidad, pero con partículas más pequeñas, que tienen velocidades de sedimentación muy bajas, no es factible utilizar la sedimentación para removerlas. La tabla 2.1 da velocidades calculadas para partículas con P.E. 2.65 en agua a 10°C.

Tabla N°2.1: Velocidades de sedimentación para partículas de PE. 2.65 en agua a 10°C

Tamaño de la partícula en μ m	Velocidad de sedimentación en m/h
1000	6×10^2
100	2×10^1
10	3×10^{-1}
1	3×10^{-3}
0.1	1×10^{-5}
0.01	2×10^{-7}

Se puede ver que para las partículas más pequeñas las velocidades de sedimentación son virtualmente inexistentes. Si se logra aglomerar las partículas coloidales, finalmente aumentan de tamaño hasta un punto tal que hace posible su remoción por sedimentación. En un líquido en reposo, hay colisiones entre las partículas finas debido al movimiento browniano y también cuando los sólidos que se sedimentan más rápido rebasan a partículas cuya sedimentación es más lenta. El resultado es que se producen partículas más grandes, menores en número; sin embargo, el crecimiento por estos medios es lento. Se puede mejorar la colisión entre partículas por medio de un agitado suave, el proceso de floculación, que puede ser suficiente para producir sólidos sedimentables, a partir de una alta concentración de partículas coloidales. Con bajas concentraciones de coloides se agrega un coagulante para producir partículas de flóculo abultadas que se entretrejan con los sólidos coloidales (*T.H.Y. Tebutt*).

2.4 Propiedades de los coloides

Las principales propiedades que definen el comportamiento de los coloides en el agua son las cinéticas, ópticas, de superficie y electrocinéticas.

2.4.1 Propiedades cinéticas

Las cinéticas son las propiedades que definen el comportamiento de las partículas coloidales referidas a su movimiento en el agua.

2.4.1.1 Movimiento browniano

Las partículas coloidales, dentro de la fase líquida, presentan un movimiento constante e irregular, que se ha denominado movimiento browniano. Su nombre proviene de su descubridor, el botánico escocés Robert Brown (1773-1858), quien observó por primera vez bajo el microscopio este movimiento constante en las partículas provenientes del polen.

La teoría cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo desigual y casual de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido. Al elevarse la temperatura del líquido, las moléculas adquieren mayor energía cinética y aumenta el movimiento browniano.

El promedio de velocidad de las partículas puede expresarse con la fórmula siguiente:

$$\bar{v} = \frac{RT}{Nm}$$

R = constante molar de los gases = PV / T

N = número de Avogadro (6,02 x 10²³)

T = temperatura absoluta (°K)

m = masa de la partícula

El valor R/N = K es comúnmente llamado constante de Boltzman.

Es importante recordar que el movimiento browniano solo puede explicar la estabilidad de las dispersiones coloidales más pequeñas. Para tamaños de partículas mayores, los factores más importantes son las corrientes de convección termal y las velocidades bajas de sedimentación.

2.4.1.2 Difusión

Debido al movimiento browniano —es decir, al movimiento constante de las moléculas o partículas en el agua—, las partículas coloidales tienden a dispersarse por todas partes en el sistema hídrico. A este fenómeno se le llama difusión.

Como es de esperarse, la velocidad de difusión es menor que la velocidad media de las partículas en el movimiento browniano.

2.4.1.3 Propiedad óptica: Efecto Tyndall-Faraday

El efecto Tyndall-Faraday es un fenómeno por el cual las partículas coloidales provocan la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de una suspensión coloidal. Esta dispersión es directamente proporcional al tamaño de las partículas.

La determinación nefelométrica de la turbiedad utiliza el efecto de Tyndall-Faraday para su medición. Por otro lado, la turbiedad no se relaciona con el número de partículas que la provocan, ni siquiera con la masa total.

2.4.1.4 Propiedad de superficie: adsorción

Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa. Nótese el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido.

La gran superficie específica da a los coloides una gran capacidad de adsorción y, por tanto, no resulta práctico sedimentar las partículas coloidales sin tratamiento químico previo.

2.4.1.5 Propiedad electrocinética: electroforesis

La electroforesis es un fenómeno que permite demostrar que las partículas coloidales tienen carga eléctrica. Consiste en hacer pasar una corriente directa a través de una solución coloidal, experimento que permite observar que las partículas son atraídas por el electrodo positivo o por el negativo, lo que demuestra que poseen carga eléctrica. Este fenómeno es muy importante porque permite comprender la estabilidad de las dispersiones coloidales. Por lo general, los coloides presentan carga negativa; es decir, en la electroforesis son atraídos por el electrodo positivo.

Una celda de electroforesis permite calcular el potencial zeta de un sistema coloidal, que es una función de la densidad de las cargas absorbidas, y se mide en milivoltios. Frecuentemente, el potencial zeta se encuentra entre 30 y 40 milivoltios, cuando un coloide es estable. Cuando cae a menos de 15 ó 20 milivoltios, es posible la coagulación y el coloide tiende a sedimentar.

CAPITULO III COAGULACIÓN

3.1 Definición

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

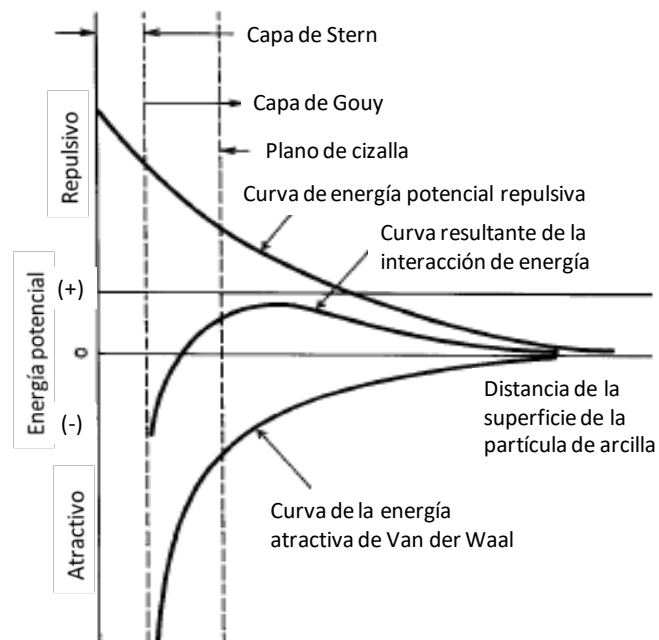


Figura N°3.1: Fuerzas de atracción y repulsión entre partículas

3.2 Mecanismo de coagulación

Aunque la coagulación química es un proceso muy difundido, todavía no se entienden sus mecanismos a pesar de que se ha hecho un gran esfuerzo en la investigación. Se han aplicado las consideraciones básicas de estabilidad de los coloides en la coagulación como un intento de explicar los resultados observados. La estabilidad de las suspensiones coloidales hidrofóbicas se explica por la forma en que actúan las diferentes fuerzas sobre las partículas, como se mostró en la figura 3.1. Se genera una repulsión mutua de las cargas electrostáticas de la superficie, pero se puede lograr la desestabilización con la adición de iones de carga opuesta para reducir las fuerzas repelentes y permitir que las fuerzas de atracción molecular se hagan dominantes. En este contexto es de importancia el valor del potencial zeta, que es el potencial eléctrico en el borde del aglomerado de partículas. En teoría, un potencial zeta de cero debería ofrecer las mejores condiciones para la coagulación. Sin embargo, cuando se trata con las suspensiones heterogéneas que se encuentran en el agua, parece que hay muchos factores que superan y las mediciones de este potencial no siempre tienen mucho valor en circunstancias operacionales.

En el caso de concentraciones relativamente bajas de sólidos suspendidos, la coagulación ocurre cuando se entrelazan para formar productos de hidrólisis insolubles que son el resultado de una reacción entre el coagulante y el agua. En esta “coagulación de garrido”, la naturaleza de la materia suspendida original es de poca importancia y son las propiedades del producto de hidrólisis las que controlan la reacción. Desafortunadamente, el comportamiento de los coagulantes cuando se agregan al agua, puede ser muy complejo. El caso del sulfato de aluminio las reacciones simplificadas se apartan mucho de la situación real. Los productos de hidrólisis del aluminio son muy complejos

3.3 Estabilidad e inestabilidad de los coloides

Entre las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

- La carga de las partículas, debido a la presencia de fuerzas electrostáticas que evitan que dos partículas se unan.

- La hidratación, que generalmente es importante para los coloides hidrofílicos, aunque tienen menor importancia en este caso.

Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:

- La gravedad. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales y, por lo tanto, no se tratará con mayor detalle.
- El movimiento browniano. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.
- La fuerza de Van der Waals. Una fuerza débil de origen eléctrico, postulada por primera vez por el químico holandés Johannes Diderick Van Der Waals. Es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre atractivas, que decrecen rápidamente con la distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

3.3.1 Carga eléctrica de los coloides - Fuerza de estabilización

En el agua, la mayor parte de las partículas y moléculas de sustancias húmicas poseen superficie cargada eléctricamente, usualmente negativa y dependiente de tres procesos:

- Grupos presentes en la superficie sólida pueden recibir o donar protones al reaccionar con el agua.
- Sustancias orgánicas con grupos carboxílicos y aminas, la carga superficial de la partícula sólida depende de la concentración de protones (H^+) y, por tanto, del pH del agua. Con el aumento del pH disminuye la concentración de protones, el equilibrio de las reacciones se desplaza hacia la derecha y la superficie sólida se torna más negativa.

Para valores de pH superiores a 2, la sílice se torna negativa en el agua, mientras que los grupos carboxílico y amina generalmente se presentan negativos para valores de pH mayores que 4.

- Grupos superficiales pueden reaccionar en el agua con otros solutos además de protones.
- Por otro lado, las cargas pueden ser el resultado de imperfecciones de la estructura molecular, como en el caso de las arcillas que se encuentran en suspensión en aguas turbias. Como ejemplo de este tipo de imperfecciones se puede mencionar la estructura reticular en tetraedro del SiO_4 . El átomo de Si^{+4} puede ser reemplazado por uno de Al^{+3} y la estructura reticular resultará con carga negativa.

De forma semejante, un catión bivalente, como Mg^{2+} o Fe^{2+} puede sustituir a un átomo de aluminio de la estructura octaédrica, de lo cual resulta carga superficial negativa. El signo de las cargas producidas por tales sustituciones isomórficas es independiente de las características de la fase acuosa, después de la formación cristalina.

Las partículas coloidales también pueden ser cargadas como resultado de la adsorción de iones de la solución. Por ejemplo, las partículas coloidales de yoduro de plata (AgI) pueden cargarse positiva o negativamente, dependiendo del exceso de iones de plata (Ag^+) o de iones de yoduro (I^-).

En la práctica, no es muy importante conocer por qué el coloide tiene carga, pero sí lo es saber que posee carga y que esta contribuye a la estabilización de la suspensión coloidal.

3.4 La doble capa eléctrica

El sistema coloidal no presenta carga eléctrica “líquida” debido a que la carga de superficie negativa es balanceada con los iones de carga contraria presentes en el agua. La figura N°3.2 muestra una representación esquemática de una partícula coloidal negativa con una nube de iones alrededor de la misma.

Como la superficie de la partícula es negativa, hay un cúmulo de iones positivos en la región de interfaz (sólido-líquido) que forman, junto con la carga negativa de la partícula, la doble capa eléctrica, también denominada capa compacta. Los iones negativos se aproximan a la capa compacta y atraen iones positivos; así se forma la capa difusa, que engloba a la primera.

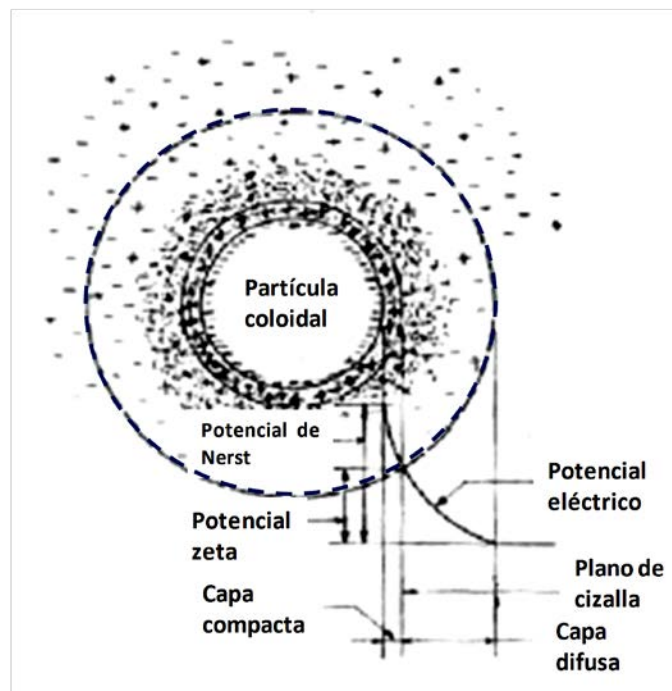


Figura N°3.2: Doble capa eléctrica

En realidad, la capa difusa resulta de la atracción de iones positivos, de la repulsión electrostática de iones negativos (con la misma carga de la partícula) y la difusión térmica.

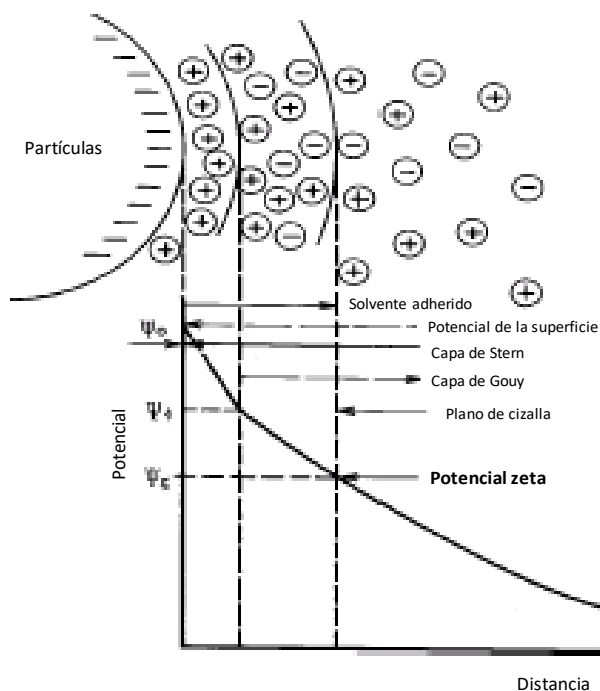


Figura N° 3.3: Potencial zeta

Se tiene, por tanto, una concentración elevada de iones positivos próximos a la superficie del coloide, también denominada capa de Stern, a partir de la cual se forma la capa difusa, en la cual la concentración de iones es menor.

Se han propuesto varios modelos para explicar la doble capa eléctrica. Quizás el modelo que explica mejor este fenómeno es el de doble capa difusa de Stern-Gouy.

En este modelo hay tres potenciales de interés:

- El potencial Zeta en la superficie coloidal. Es un potencial eléctrico creado por la presencia del coloide en el agua, que disminuye con la distancia, a partir de la superficie del mismo, donde es máximo. Se le denomina potencial de Nernst.
- El potencial (Φ), en el interior de la superficie de la doble capa, donde comienza la capa difusa.
- El potencial (Zeta) en el plano de cizalla.

Según *Stern*, existe una distancia mínima entre la superficie del coloide y los iones de carga contraria (positivos), en la cual el potencial eléctrico decrece linealmente; en seguida la disminución resulta exponencial y pasa por la frontera entre la capa compacta y la difusa, lugar en que el potencial eléctrico, según *Lykema*, es designado potencial zeta. El concepto de ese potencial está asociado a la aplicación de la diferencia de potencial en una muestra de agua que contiene coloides negativos, de tal forma que una cierta porción del medio, en torno de la partícula, camine junto con esta al electrodo positivo, lo que caracteriza al plano de la cizalla.

De estos potenciales, el único que puede ser calculado por medio de electroforesis es el potencial zeta. El valor experimental de la velocidad de migración de las partículas coloidales en un campo eléctrico puede ser convertido a potencial zeta con las ecuaciones de *Helmholtz-Smoluchowski*, *Henry* o *Debye-Huckel*, de acuerdo con el tamaño de la partícula y la concentración de electrolitos.

Debido a la incertidumbre sobre los valores asignados a las constantes en las ecuaciones, el cálculo del potencial zeta puede diferir del valor real. Por esta razón, algunos prefieren referirse a movilidades electroforéticas en lugar de potencial zeta. La movilidad electroforética es directamente proporcional al potencial zeta, y se expresa en unidades experimentales (micrómetros/segundo)/(voltio/cm).

3.5 Coagulación usando polímeros

Al igual que con los coagulantes inorgánicos, una concentración elevada de polímeros de carga positiva próximos a la superficie del coloide, producen la neutralización de la carga superficial.

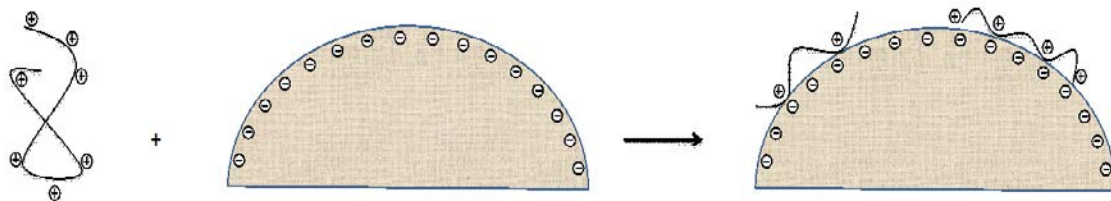


Figura N° 3.4: Neutralización de superficie utilizando polímeros

En este caso los polímeros usados son de una alta densidad de carga (2-14meq/g) y el peso molecular 400 000g/mol aprox.

Cuando el polímero posee la misma carga de la partícula nos encontramos ante un polímero de carácter dispersante. En algunas ocasiones se utilizan los dispersantes para poder separar partículas limosas en pulpas con alto porcentaje de sólidos de modo que al adicionar un floculante con carga opuesta pueda difundirse en toda la pulpa y finalmente se logre agrupar los grumos que finalmente repelen al agua.

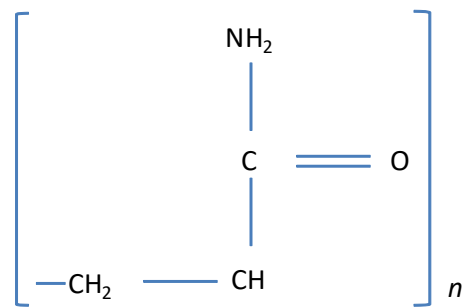
CAPITULO IV FLOCULACIÓN

4.1 Floculantes

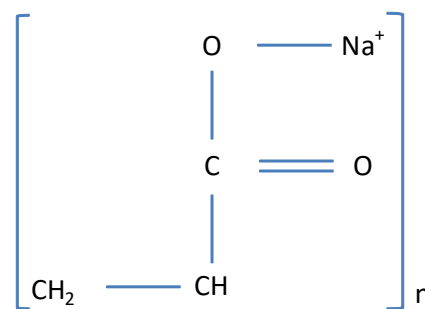
Son polímeros de cadena larga con el que se realiza una separación sólido – líquido por adsorción del polímero sobre la superficie de las partículas y/o coágulos para formar los flóculos de gran tamaño y con el peso suficiente para sedimentar en una solución.

Estos floculantes pueden ser naturales los cuales están representados por el grupo los polisacáridos (almidón y sus derivados) y por las gomas vegetales. También pueden ser sintéticos, poliacrilamidas, polivinilaminas, etc; de alto peso molecular y densidad de carga variable, pueden ser de carácter iónico (aniónico o catiónico) o no iónico, en el caso de algunas poliacrilamidas catiónicas pueden presentar un carácter anfótero.

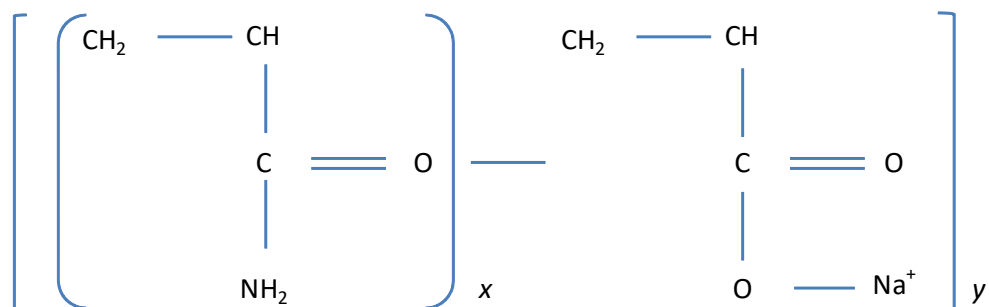
Las poliacrilamidas, que varían ampliamente en el peso molecular y densidad de carga, se utilizan mucho como floculantes. La densidad de carga se refiere al porcentaje de los segmentos de monómeros acrílicos que llevan una carga. Por ejemplo, si el polímero está descargado, éste comprende n segmentos similares del monómero acrílico. Así es un homopolímero-poliacrilamida



Si el monómero acrílico está completamente hidrolizado con NaOH, el producto comprende n segmentos de acrilato de sodio: un polielectrolito aniónico, que tiene una densidad de carga de 100%



La densidad de carga se puede controlar durante su fabricación entre los límites 0-100%, para producir una poliacrilamida de carácter aniónico débil o fuerte, dependiendo del grado de la hidrólisis:



Es posible producir los polímeros de carácter catiónico mediante reacciones químicas similares. Como la mayoría de las superficies que se encuentran en la industria de los minerales contienen partículas cargadas negativamente, se puede esperar que los polielectrolitos catiónicos, en los que el catión adsorbe a las partículas, tengan partículas más apropiadas. Aunque esto es cierto para propósitos de neutralización de la carga y la atracción del polímero hacia la superficie de la partícula, no sucede lo mismo cuando sirve para el “puenteo” de floculante. Para el puenteo, el polímero debe ser fuertemente adsorbido y esto se facilita por los grupos químicos que tienen buenas características de adsorción, tales como los grupos de amidas. La mayoría de los polielectrolitos disponibles comercialmente son aniónicos, ya que por lo general tienen un peso molecular más alto que los catiónicos y son menos costosos.

El modo de acción de la poliacrilamida aniónica depende de un segmento muy grande de la molécula que es adsorbido sobre la superficie de una partícula, dejando una gran proporción de la molécula libre para ser adsorbida sobre otra partícula, formando así un enlace molecular real o puente, entre las partículas (*ver* Figura 4.1).

Mientras que en la figura 4.1 solamente se muestra un enlace, en la práctica, muchos de tales puentes se forman entre las partículas cuando enlazan varias. Los factores que influyen sobre el grado de floculación son la eficiencia o resistencia de adsorción del polímero sobre la superficie, en grado de agitación durante la floculación y la agitación subsecuente, la cual puede ocasionar la descomposición de los grumos (*B.A. Wills*).

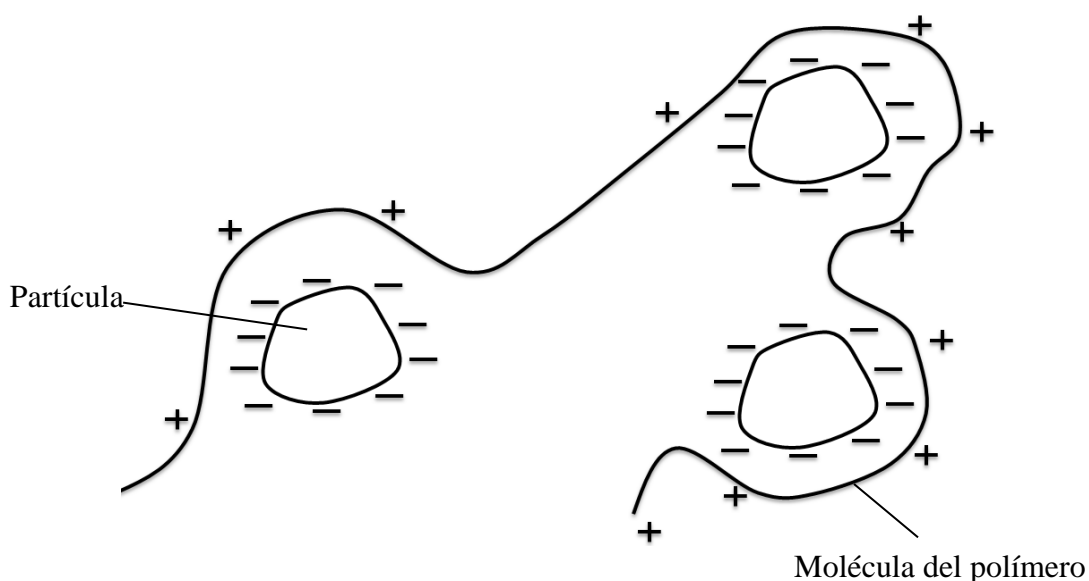
El efecto máximo de un floculante se alcanza a una velocidad óptima de dosificación, el exceso de polímero causa la dispersión de las partículas por la descomposición del grumo. Debido a la naturaleza frágil de los grumos, los agentes de floculación no son eficientes en los hidrociclones, mientras que con las centrífugas solo se alcanzan buenos resultados con técnicas especiales para una escala limitada de aplicaciones. Aún el bombeo de lodo floculado puede destruir los grumos debido a la ruptura de las moléculas de cadena larga.

Los polielectrolitos normalmente se hacen para surtir soluciones de 0.5-1.0% las cuales se diluyen hasta casi 0.01% antes de agregarlas a la pulpa.

De la bibliografía técnica de BASF Corporation hemos podido encontrar los siguientes valores de densidad de carga y peso molecular para las poliacrilamidas:

Densidad de Carga 100% = 10meq/g

Peso molecular de 100% = 20 millones g/mol



FiguraN°4.1: Acción de un polielectrolito

4.2 Floculación

La floculación o aglomeración de las partículas en un líquido depende de las colisiones que haya entre ellas. Las colisiones resultan del movimiento relativo entre las partículas producido por agitación externa, del movimiento debido a una fuerza externa tal como gravedad o del movimiento browniano.

La rapidez de floculación (o aglomeración) depende de la frecuencia de la colisión entre las partículas, la cual depende por supuesto del grado de agitación. La floculación de las partículas ocurre por dos mecanismos: la *floculación pericinética* debida al movimiento browniano y la *floculación ortocinética* debida a la agitación más vigorosa. (Errol G. Kelly)

4.2.1 Floculación pericinética

Cuando no hay repulsión alguna de la superficie entre las partículas, la siguiente ecuación para la rapidez de floculación puede derivarse para la floculación pericinética:

$$\frac{dC_{NP}}{dt} = -4\pi D d_v C_{NP}^2$$

Donde:

C_{NP} = Número de partículas por unidad de volumen;

D = Coeficiente de difusión;

d_v = tamaño de partícula.

Si se usa la ecuación de Stokes-Einstein, el coeficiente de difusión en la ecuación anterior puede sustituirse para dar

$$\frac{dC_{NP}}{dt} = -\frac{4K_{B_0} T C_{NP}}{3\mu}$$

Donde:

K_{B_0} = Constante de Boltzman;

T = Temperatura absoluta

μ = Viscosidad

La ecuación anterior muestra que en la floculación pericinética, la rapidez es independiente del tamaño de partícula.

4.2.2 Floculación ortocinética

Nuevamente, cuando no hay repulsión de superficie entre las partículas, la rapidez de floculación para la floculación ortocinética es:

$$\frac{dC_{NP}}{dt} = -\frac{2}{3} \left(\frac{dv}{dz} \right) d_v^3 \sum_{i=1}^N (C_{NP,i}^2 \cdot i)$$

Donde:

$C_{NP,i}$ = número de agregados del tipo i (un agregado del tipo i tiene el diámetro $d_{v,i}$ dado por $i \times (\pi/6) d_{v,i}^3$;

dv/dz = Gradiente de velocidad;

N = Tamaño máximo estable de agregado.

Como sucede con la floculación pericinética, la rapidez es de segundo orden respecto a la concentración de partículas. Sin embargo, la rapidez ortocinética es dependiente en extremo del tamaño inicial de la partícula. Depende también del gradiente de velocidad, lo cual explica por qué la agitación suave, como se ha observado, promueve la floculación.

El agitado del agua por mezclado hidráulico o mecánico causa gradientes de velocidad cuya intensidad controla el grado de floculación producida. El número de colisiones entre partículas está relacionado directamente con el gradiente de velocidad y es posible determinar la potencia que se requiere para dar un grado particular de floculación como se especifica por el gradiente de velocidad.

Considérese un elemento de fluido que experimenta la floculación (Figura N°4.2). El elemento estará sujeto a un esfuerzo cortante y así:

$$\text{Potencia recibida} = \tau \Delta x \Delta y \Delta z \frac{dv}{dy}$$

Donde τ = esfuerzo cortante.

$$\text{Potencia por unidad de volumen} = P = \tau \frac{\Delta x \Delta y \Delta z}{\Delta x \Delta y \Delta z} \frac{dv}{dy}$$

$$\text{Pero por definición } \tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

Donde μ = viscosidad absoluta.

$$\text{Así } P = \mu \frac{dv}{dy} \frac{dv}{dy} = \mu \left(\frac{dv}{dy} \right)^2$$

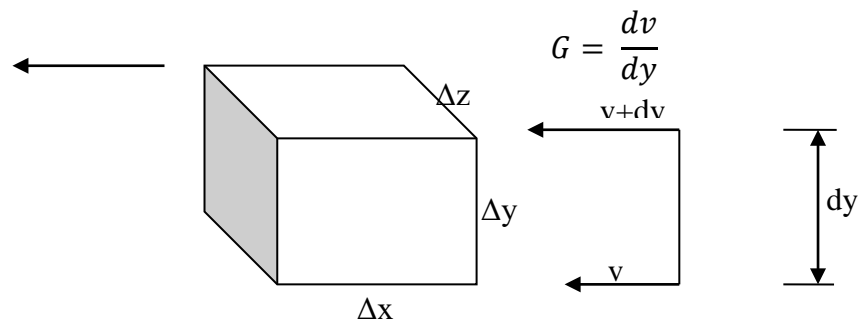


Figura N°4.2: Partícula de fluido que experimenta floculación.

Si se pone

$$G = \frac{dv}{dy}$$

$$P = \mu G^2$$

En el caso de un tanque agitado mecánicamente

$$P = \frac{Dv}{V}$$

Donde D = fuerza de arrastre en las paletas,

v = velocidad de las paletas relativa al fluido (normalmente cerca de tres cuartos de la velocidad de la paleta),

V = volumen del tanque.

Sabemos que: $D = C_D A \rho \frac{v^2}{2}$

Así $P = \frac{C_D A \rho v^3}{2V}$

Si se sustituye para P de

$$G^2 = \frac{C_D A \rho v^3}{2V\mu}$$

$$G = \sqrt{\frac{C_D A \rho v^3}{2V\mu}}$$

Para una buena floculación, G deberá estar entre los valores de 20 a 70 m/s. Con valores más bajos la floculación es inadecuada y con valores más altos las partículas de flóculo tienden a fragmentarse. El tiempo de retención normal en los tanques de floculación es de 30 a 45 min. Para la floculación mecánica la profundidad del tanque es equivalente a 1 ½ ó 2 diámetros de paleta y el área de las paletas es de 10 al 25 % del área transversal del tanque (*T.H.Y. Tebbutt*).

Los floculadores mecánicos permiten tener más control sobre el proceso que los floculadores hidráulicos pero requieren más mantenimiento.

La floculación y la sedimentación se pueden combinar en una sola unidad y el tanque de tipo de manto de lodos es muy popular para propósitos de tratamientos de agua.

4.3 FLOCULACIÓN USANDO POLÍMEROS

Cuando se emplean polímeros como agentes floculantes, puede considerarse que existe la heterofloculación. En este caso, la rapidez de adsorción del polímero, suponiendo que cada colisión entre polímero y partícula conduce a adherencia, se obtiene mediante la ecuación

$$\frac{dC_{Nf}}{dt} = -kC_{Np}C_{Nf}$$

Donde:

C_{Nf} = Número de moléculas del polímero por unidad de volumen

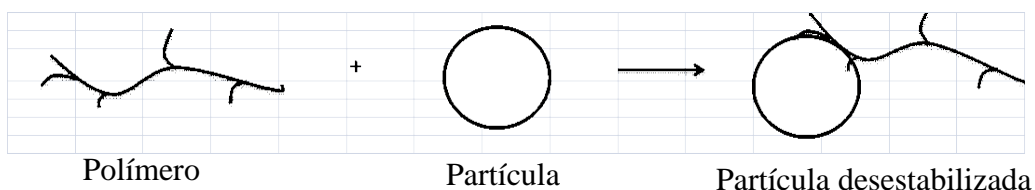
k = constante de rapidez para las colisiones entre moléculas de polímero y partículas.

En la floculación con polímeros, el flóculo que se forma inicialmente es suelto y voluminoso. Al aplicar las fuerzas fluctuantes locales y desiguales sobre la superficie del flóculo, ocurre una densificación del medio de dispersión. Este mecanismo adicional de la floculación recibe el nombre de sinéresis mecánica.

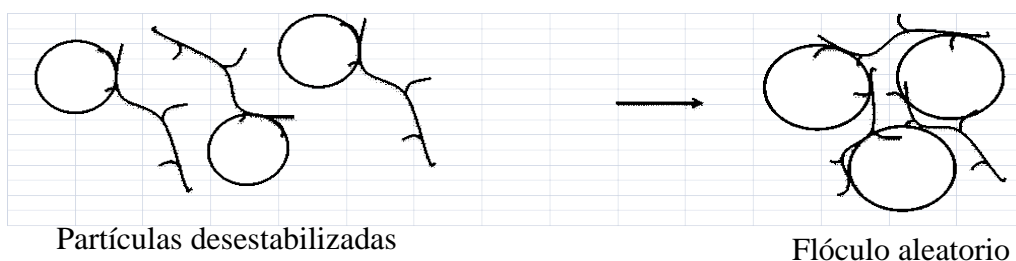
4.4 MECANISMOS DE FLOCULACIÓN

Se ha usado un modelo cualitativo para describir las reacciones que ocurren en la floculación con polímeros. Esta “teoría del punteo” comprende 7 reacciones separadas como se indican en los siguientes ítems tomados del trabajo realizado por *Errol G. Kelly*:

- a) Adsorción inicial del polímero (a dosificación óptima)



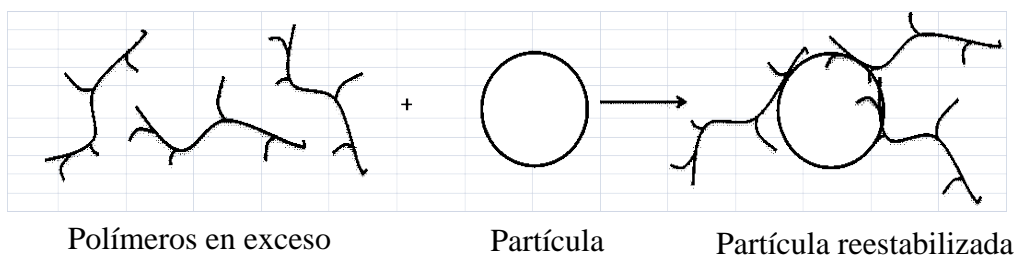
- b) Floculación pericinética y ortocinética.



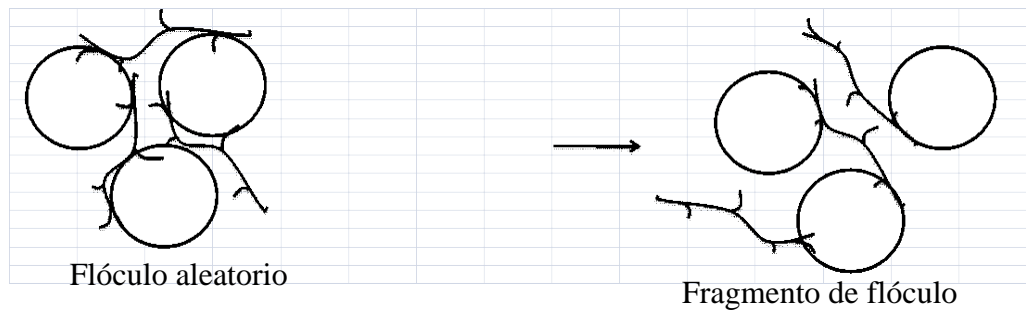
- c) Adsorción secundaria del polímero (ningún contacto con los sitios disponibles en otra partícula).



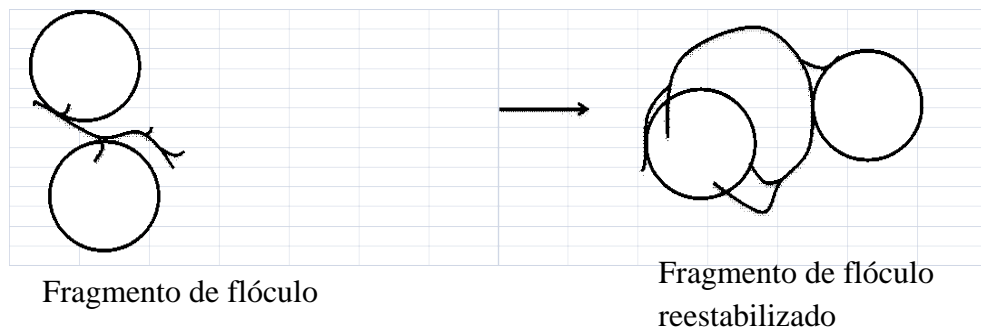
- d) Adsorción inicial del polímero e exceso (> dosificación óptima).



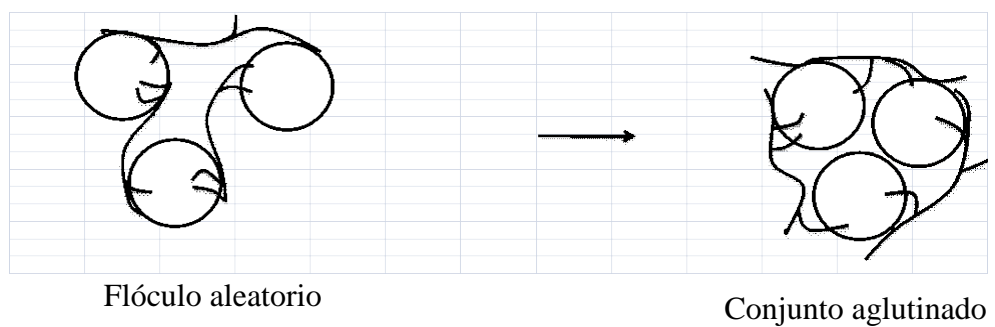
e) Ruptura del flóculo debido a agitación intensa o prolongada.



f) Adsorción secundaria del polímero.



g) Sinéresis mecánica debida a la acción de fuerzas desiguales sobre el flóculo.



4.5 FACTORES QUE AFECTAN LA FLOCULACIÓN

De la experiencia se ha podido observar que los siguientes factores afectan en los resultados al realizar una floculación en un medio acuoso.

Porcentaje de sólido en una pulpa: Conforme se incrementa el porcentaje de sólido en una pulpa, se incrementa el consumo de floculante ya que hay que mantener los gr/Tn del floculante para no afectar

Carga superficial de las partículas: Dependiendo de esta carga superficial en medio acuoso dependerá el tipo de carga del floculante (aniónico, no iónico o catiónico).

Estabilidad de los coágulos: A veces cuando los coágulos no son lo suficientemente estables, una ligera agitación ocasiona que se rompan impidiendo que el floculante pueda atraparlos.

Tamaño de partícula: Los floculantes tienen la limitación de perder eficiencia conforme se reduzca el tamaño de partícula, cuando estas partículas son menores a 1 micrón es preferible coagular y luego flocular.

pH: a pH bajo se obtendrá mejores resultados con floculantes de baja densidad de carga, a pH alto se obtendrá mejores resultados con floculantes con alta densidad de carga; esto independientemente de si son aniónicos o catiónicos.

4.6 FLOCULACIÓN – COAGULACIÓN EN VARIAS INDUSTRIAS

Sedimentación: En tratamientos de aguas ácidas y concentrados de bajo porcentaje de sólidos. Tanto para clasificadores en los tratamientos de drenaje ácido de mina así como en los espesadores ubicados en las plantas concentradoras se necesita incrementar la velocidad de sedimentación de los sólidos para la separación sólido líquido con el fin de reducir las dimensiones de los equipos y poder tener una mayor capacidad de tratamiento para flujos cada vez más grandes.

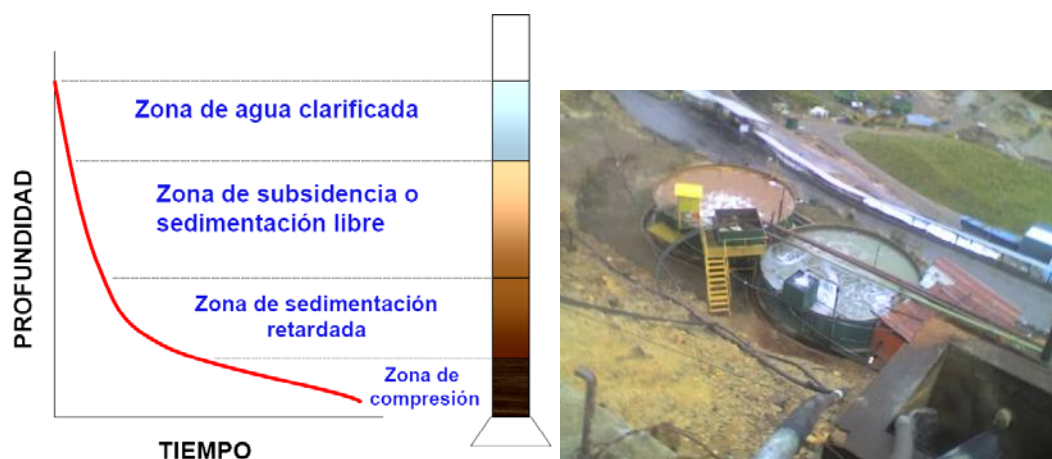


Figura N°4.3: Curva de sedimentación (*izquierda*) y planta de tratamiento de drenajes ácidos de mina (*derecha*)

Filtración: En este caso se utiliza para incrementar la velocidad de filtración cuando tratamos material ultrafino, ya que se generan sólidos de mayor tamaño y por consiguiente se incrementa la permeabilidad de hace más fácil el paso del agua a través del filtro. Por otro lado al tener neutralizadas las cargas de las partículas en suspensión se favorece en gran medida a la adsorción de dichas partículas por las fibras de los filtros.



Figura N°4.4: Filtración de concentrados con filtros cerámicos

Concentración: En lavados en contracorriente para separar la solución lixiviada del material o roca agotada (proceso CCD).



Figura N°4.5: Lavado de relaves en contracorriente utilizando floculantes para mejor separación sólido-líquido

En la industria del papel en la recuperación de la pulpa.



Figura N°4.6: Test de jarras para optimizar la recuperación de pulpa en efluentes evacuados

En el tratamiento de las aguas de fábricas químicas



Figura N°4.7: Sedimentador lamelar para separación de residuos poliméricos

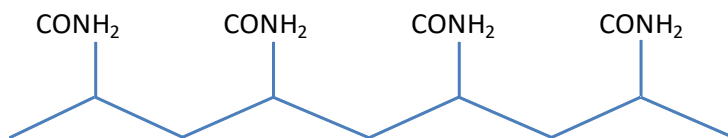
En el tratamiento de las aguas de lavado de los camiones de concentrado

En la industria de los alimentos

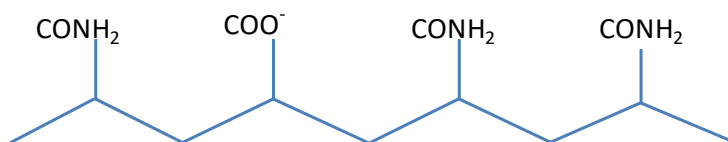
En el tratamiento de aguas servidas, etc.

4.7 Moléculas orgánicas usadas para separación sólido-líquido:

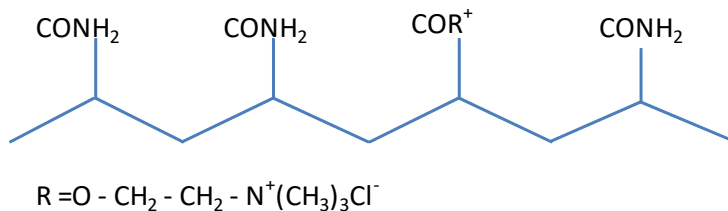
- Poliacrilamida no iónica:



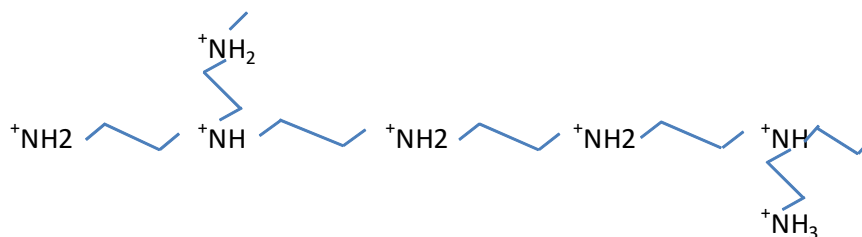
- Poliacrilamida sustituida, aniónica:



- Poliacrilamida sustituida, catiónica:



- Polietilenimina:



- Poli - DADMAC

- Polyamina

Las fichas técnicas de algunos fabricantes de polímeros dan las siguientes recomendaciones:

- Los floculantes no iónicos y aniónicos son los más efectivos para floculación de suspensiones y lodos de una naturaleza predominantemente inorgánica.
- Los floculantes aniónicos trabajan muy bien en rangos de pH ácidos y fuertemente alcalinos. Los floculantes no iónicos son recomendados para suspensiones fuertemente ácidas.
- Los floculantes aniónicos y no iónicos se recomiendan para sólidos inorgánicos.
 - o Bajo pH → Baja densidad de carga
 - o Alto pH → Alta densidad de carga

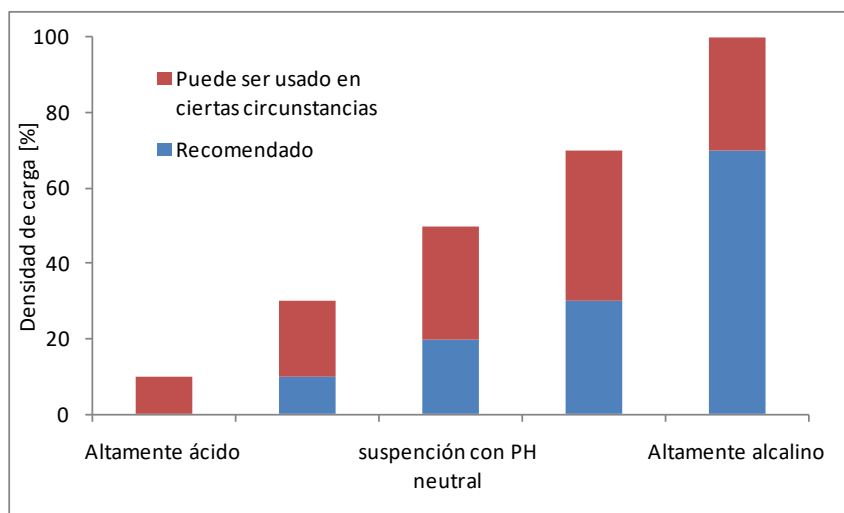


Figura N°4.8: Rangos de pH recomendados para floculantes aniónicos

- Los floculantes catiónicos son los más apropiados para tratamiento de efluentes y lodos con contenidos sólidos de una naturaleza predominantemente orgánica. Una importante área para la aplicación de estos

floculantes son las plantas de tratamiento de aguas servidas y en tratamientos de efluentes industriales.

- Baja proporción de sólidos orgánicos → Baja densidad de carga
- Alta proporción de sólidos orgánicos → Alta densidad de carga

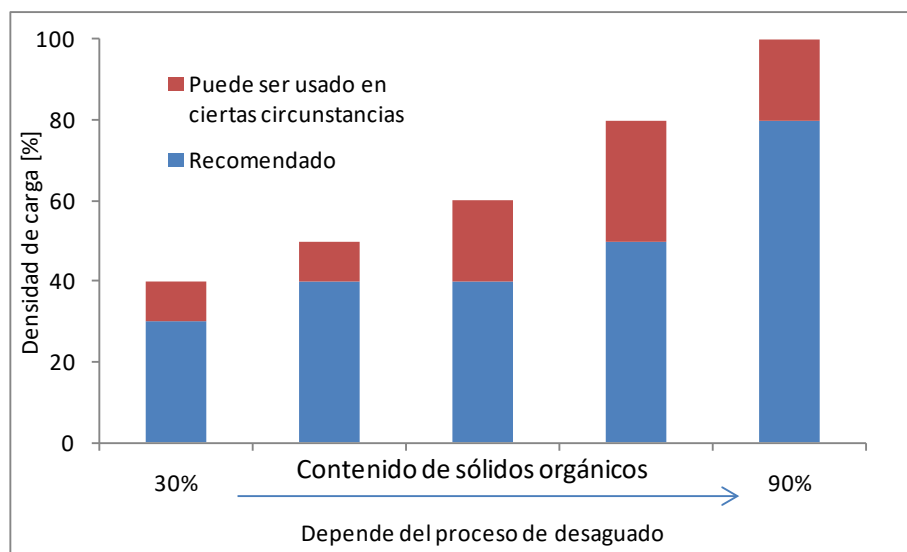


Figura N°4.9: Rangos de pH recomendados para floculantes catiónicos

- En algunos casos puede ser útil la combinación de floculantes con diferente carga iónica. Esto hace posible tener una ventaja de la interacción sinérgica entre floculantes aniónicos y catiónicos. Este método algunas veces puede ser más económico dependiendo de los resultados.

CAPITULO V

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los siguientes resultados son una recopilación de la experiencia obtenida en diferentes plantas metalúrgicas del Perú el cual se ha tratado de ordenar para una mejor percepción de dichos resultados y entendimiento del comportamiento de los reactivos utilizados en una separación sólido-líquido.

5.1 Influencia del % sólido en la velocidad de sedimentación

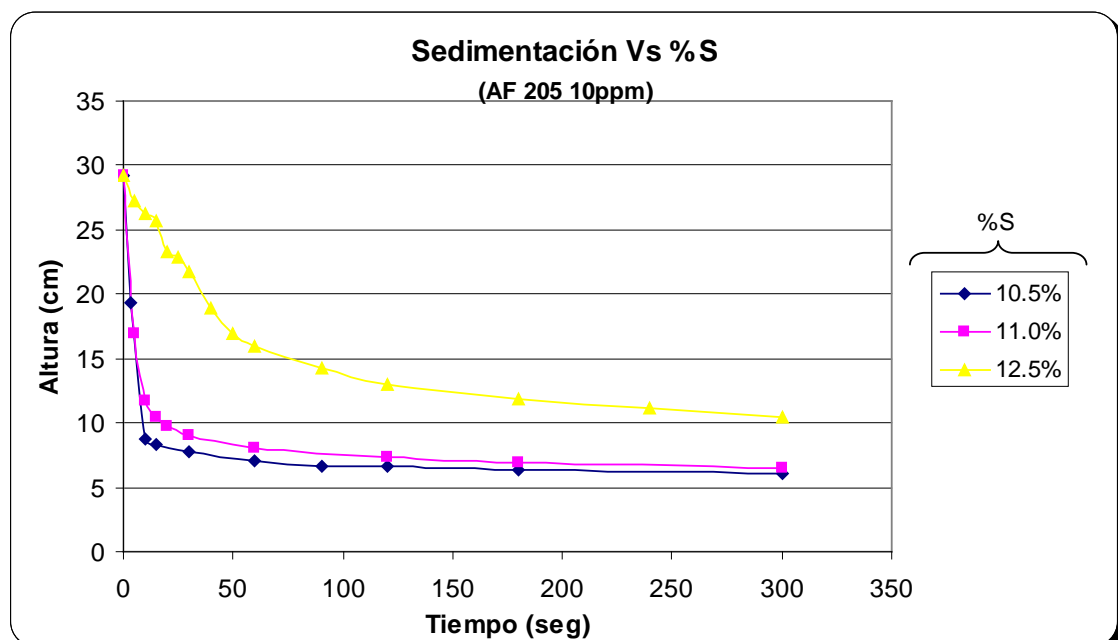
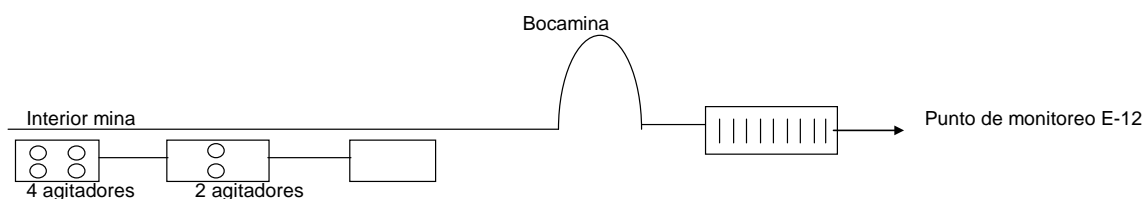


Figura N°5.1: Relave – Unidad Shila/Buenaventura (Febrero 2009)

En Shila (Veta Nazareno - Buenaventura) se tiene problemas con TSS del agua saliente de la bocamina. A continuación mostramos el esquema actual utilizado para el tratamiento del efluente en el nivel 4880.

Esquema 2



5.2 Efecto del tipo de Floculante en los TSS

A continuación mostramos una tabla (ver Tabla 5.1) con los TSS obtenidos de la muestra al acondicionarse con 2ppm de floculante (AF205 y Magnafloc 351) y luego de 15 min de reposo.

Tabla N°5.1: TSS Sedimentación – Lab CEDIMIN (Febrero 2009)

	Blanco	AF 205	Magnafloc 351
TSS	46	21	26.5

Como se observa en la tabla anterior con el AF 205 logramos reducir el contenido de sólidos de 46ppm (en el Blanco) a 21ppm.

5.3 Efecto del coagulante VFH en los TSS.

Ahora mostramos los datos de los TSS obtenidos de la muestra al acondicionarse con 2ppm de AF205 pero adicionando diferentes concentraciones de coagulante VFH y luego de 15 min de reposo. Teniendo en cuenta que el coagulante VFH tiene las siguientes características:

- Densidad de carga: 14 meq/g
- Peso molecular: 400 000 g/mol

Tabla N°5.2: TSS Sedimentación – Lab CEDIMIN (Febrero 2009)

	Catiofast VFH				
	0ppm	5ppm	10ppm	15ppm	20ppm
TSS	21	17.5	9.5	7	2.5

Como observamos en la tabla 5.2, al acondicionar con 2ppm de AF 205, la adición de VFH (5ppm) ayuda a reducir los TSS en la solución tratada (17.5ppm)

Observaciones:

Con la aplicación del AF 205 (2ppm) se logró reducir los TSS a 21mg/L mientras que con el Magnafloc 351 (2ppm) se obtuvo 26.5mg/L en sólidos en suspensión.

Al coagular la muestra con VFH (10ppm) se logró reducir los TSS a 9.5mg/L.

El consumo estimado de AF 205 sería de 21Kg/mes.

El consumo de VFH en caso de requerirse sería entre 50 y 100Kg, dependiendo de las concentraciones que ustedes decidan aplicar (entre 5 y 10ppm).

5.4 CASO 1: EVALUACIÓN DE REACTIVOS COAGULANTES Y FLOCULANTES EN LOS CLARIFICADORES DE Cu y Zn UBICADOS EN EL AREA DE OPERACIONES DE ANTAMINA – HUARMEY (PPL)

Determinación del floculante:

Para la determinación del floculante más adecuado para el proceso se ha tenido en cuenta realizar pruebas de sedimentación para las pulpas de ingreso a los clarificadores de Cu y Zn.

En la figura N°5.2 se muestra la turbidez obtenida con el Floculante E10 así como con AF 205 y AF 404 PWG.

Donde:

AF 205: Densidad de Carga 20% y peso molecular de 80%

AF 404: Densidad de Carga 40% y peso molecular de 80%

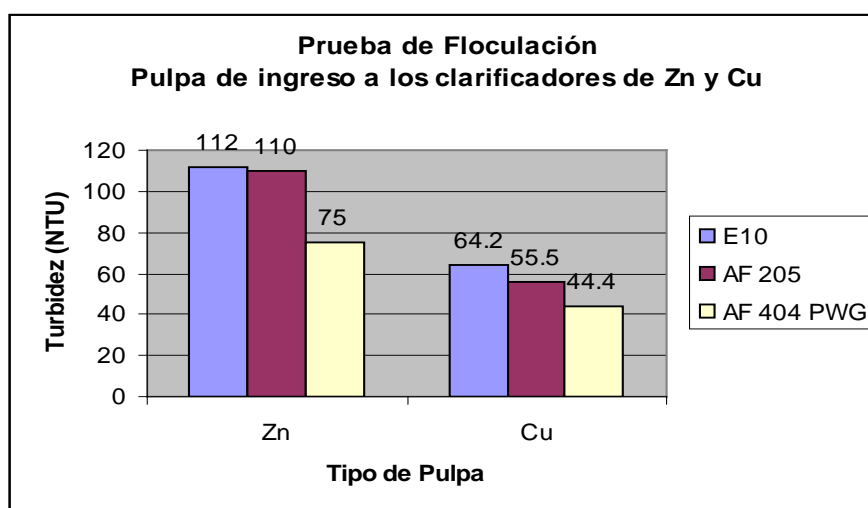


Figura N°5.2: Turbidez vs. Tipo de Pulpa – Planta de efluentes/Antamina PPL (22-marzo-2007)

En la figura anterior (Figura N°5.2) se observa que nuestro floculante aniónico, AF 404 PWG presentó la más baja turbidez (75NTU para la pulpa de Zn y 44.4 NTU para la pulpa de Cu).

En el caso de nuestro floculante aniónico AF 205 se observa una mejora poco significativa en la turbidez, es por ello que se descarta para las siguientes pruebas.

Evaluación con pulpa de ingreso a los Clarificadores de Zn: En la figura N°5.3 se observa la turbidez obtenida por la aplicación de floculantes aniónicos para 2 BATCH diferentes.

Las muestras 1 y 2 se trabajaron en probeta de 1 lt. La muestra 3 corresponde a la misma muestra 2 pero trabajado en un Test de Jarra.

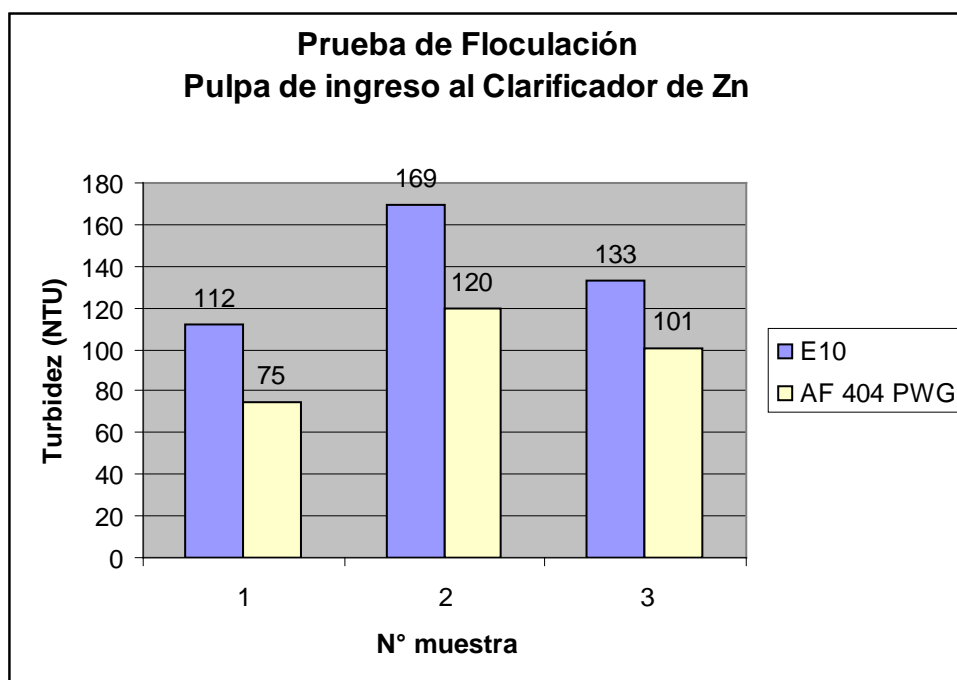


Figura N°5.3: Turbidez vs. Tipo de Pulpa – Planta de efluentes/Antamina PPL (28-marzo-2007)

En la figura anterior (Figura N°5.3) se observa que nuestro floculante aniónico, AF 404 PWG presentó la más baja turbidez. La muestra 1 y la muestra 2 corresponden a 2 BATCHs diferentes.

La muestra 3 corresponde a una prueba realizada en el Test de Jarras para el cual se realizó el acondicionamiento con 280 RPM y posteriormente se dejó por 2 minutos a 30 RPM antes de leer la turbidez.

Tabla N°5.3: Datos de Turbidez y contenido de sólidos

Floculante	g/Tn	NTU	O/f (ppm)	Kg/h
E10	10	133	300	90
AF 404PWG	10	101	280	84

En la tabla N°5.3 observamos que con la aplicación de nuestro floculante aniónico AF 404 PWG mejoramos la turbidez del licor claro así como reducimos la pérdida de sólidos en los reboces (280g/m^3). Es decir, al mes se pierde unas 27 Tn/mes de mineral en el reboce de los clarificadores. Con el uso del floculante AF404 PWG la pérdida de concentrado en los reboces se reducen a 25 Tn/mes.

Evaluación con pulpa de ingreso a los clarificadores de Cu: En la figura N°5.4 se observa la turbidez obtenida por la aplicación de floculantes aniónicos para 2 BATCHs diferentes.

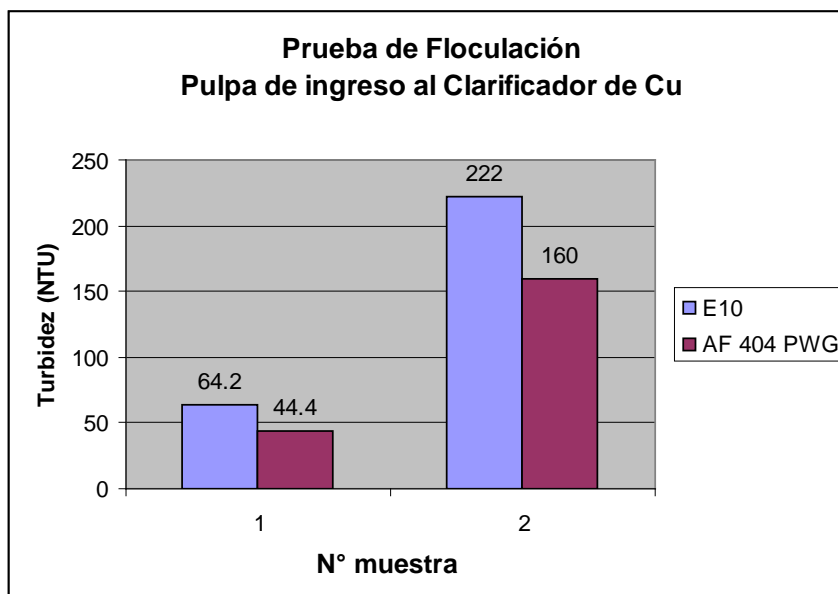


Figura N°5.4: Turbidez vs. N° muestra – Planta de efluentes/Antamina PPL (28-marzo-2007)

En la figura anterior (figura N°5.4) se observa que nuestro floculante aniónico, AF 404 PWG reportó una turbidez más baja tanto en la muestra 1 como en la muestra 2; es decir, mejoramos la turbidez obtenida con el E10 usado actualmente en planta. La muestra 1 y la muestra 2 corresponden a 2 BATCHs diferentes.

Determinación de la Velocidad de Sedimentación

Para el concentrado de Zn, que es el de mayor problema en cuanto a los sólidos en suspensión, se realizó pruebas de sedimentación en probetas de 1lt. En dichas pruebas se ha determinado la velocidad de sedimentación considerando igual dosis (1.6ppm que equivale a 10g/Tn) para el E10 y AF404 PWG. Luego se continúa con las pruebas pero variando la concentración del AF 404 PWG (1.6, 1.4 y 1.2ppm).

A continuación se presenta las curvas de sedimentación (*ver* Figura N°5.5)

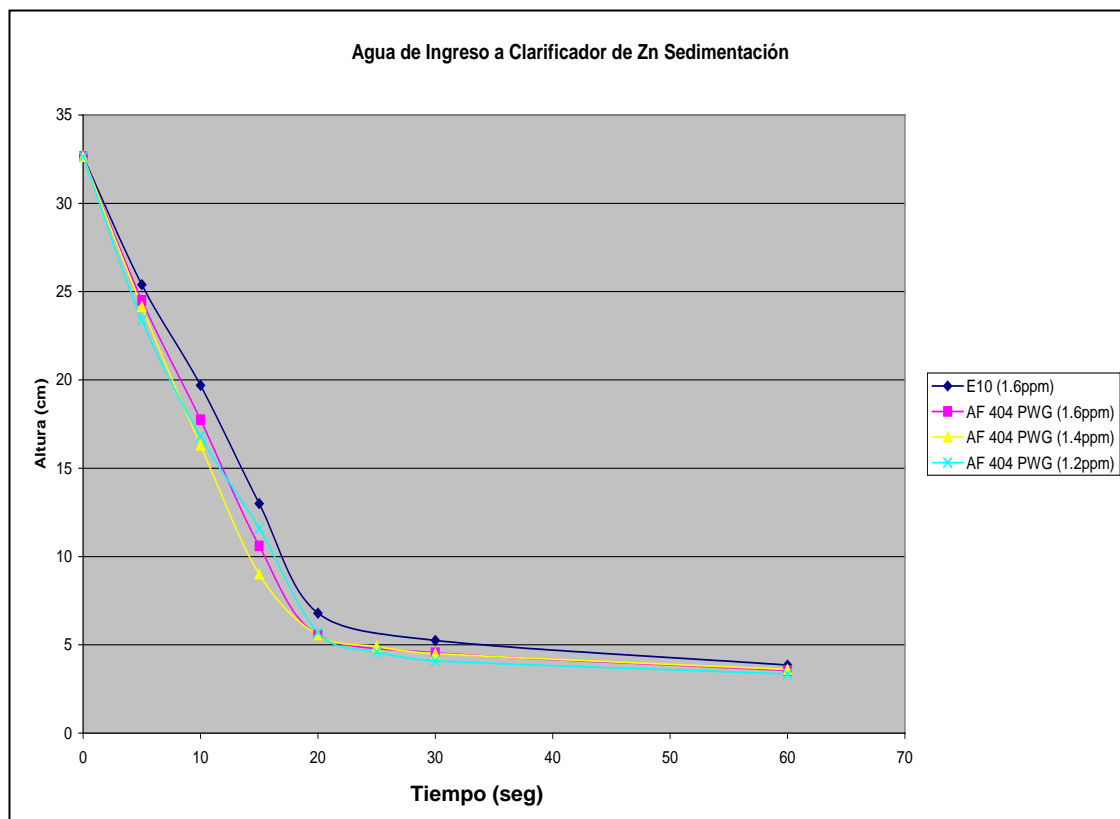


Figura N°5.5: Altura vs. Tiempo – Planta de efluentes/Antamina PPL (28-marzo-2007)

E10 (1.6 ppm) : $t_{\text{reposito}} = 2\text{min} \implies T = 169 \text{ NTU}$
 $V_{\text{sed.}} = 1.28 \text{ cm/seg}$

AF 404 PWG (1.6ppm): $t_{\text{reposito}} = 2\text{min} \implies T = 120 \text{ NTU}$
 $V_{\text{sed.}} = 1.41 \text{ cm/seg}$

AF 404 PWG (1.4ppm): $t_{\text{reposito}} = 2\text{min} \implies T = 140 \text{ NTU}$
 $V_{\text{sed.}} = 1.57 \text{ cm/seg}$

AF 404 PWG (1.2ppm): $t_{\text{reposito}} = 2\text{min} \implies T = 181 \text{ NTU}$
 $V_{\text{sed.}} = 1.57 \text{ cm/seg}$

Como vemos, las velocidades de sedimentación son similares por lo que no es tan relevante para efectos comparativos. Es por esto que se considera a la turbidez como principal parámetro de comparación. A pesar de eso con el floculante AF 404 PWG obtenemos la mejor velocidad (1.5 cm/seg) de sedimentación y la más baja turbidez (169NTU)

OBSERVACIONES DEL CASO 1

Con la aplicación de nuestro floculante AF 404 PWG (10g/Tn), la velocidad de sedimentación de la pulpa en el concentrado de Zn fue de 1.57 cm/seg, mientras que con el floculante E10 se obtuvo una velocidad de sedimentación de 1.28 cm/seg lo cual ya es una diferencia.

Con el floculante AF 404 PWG logramos obtener una turbidez de 75NTU en la pulpa de Zn mientras que con el E10 se obtiene 112NTU.

Con el floculante AF 404 PWG logramos obtener una turbidez de 44.44NTU en la pulpa de Cu mientras que con el E10 se obtuvo 64.2NTU

La compresión de la pulpa de Zinc se inició a los 20 seg. de sedimentarse

Recomendamos que los sólidos sedimentados en los clarificadores (Cu) sean enviados al tanque de almacenamiento y no al tanque de alimentación. Esto se debe a que la pulpa sedimentada con alto contenido de floculante puede beneficiar la aglomeración de los finos en el tanque de almacenamiento. Por el contrario, al enviar la pulpa directamente al tanque de alimentación podemos provocar que se engome las telas de los filtros ocasionando problemas en la filtración.

A mayor empleo del Floculante AF 404 PWG se logra una tendencia a obtener una mayor claridad en el licor claro.

5.5 CASO 2: EVALUACIÓN DE NUESTROS REACTIVOS COAGULANTES Y FLOCULANTES EN LAS AGUAS PROVENIENTES DE QUEBRADA ANTAMINA – YANACANCHA

Determinación del floculante:

Para la determinación del floculante más adecuado para el proceso, se ha tenido en cuenta realizar pruebas de sedimentación para las aguas de quebrada Antamina neutralizadas con NaOH hasta pH 9.

En la figura N°5.6 se muestra la turbidez obtenida con diferentes floculantes BASF comparados con el Magnafloc E34, a las mismas condiciones de dosificación que actualmente se viene aplicando.

Debemos tener en cuenta que en esta prueba comparativa la turbidez se tomó a los 2 minutos de reposo por lo que los resultados son solo para hacer un barrido y encontrar las mejores alternativas.

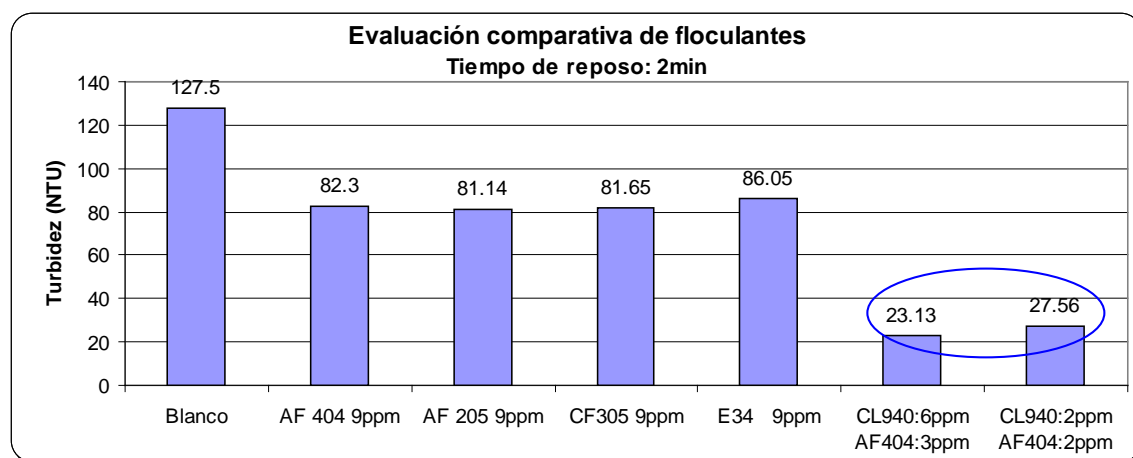


Figura N°5.6: Turbidez vs. Floculante – Planta de Aguas y relaves /Antamina(18-junio-2009)

En la figura anterior (figura N°5.6) se observa que al aplicar dos floculantes de distinto carácter iónico (CL940: 6ppm + AF 404: 3ppm) obtenemos un mejor resultado (23.13 NTU) superando al obtenido por el floculante E34 (86.05 NTU).

En las siguientes fotos mostraremos visualmente las diferencias en la floculación del floculante actualmente en uso respecto a los floculantes propuestos.

La solución es una muestra neutralizada con NaOH hasta pH 9 de acuerdo a la condición de operación.



Figura N°5.6: Solución proveniente de quebrada, antes de ser tratada

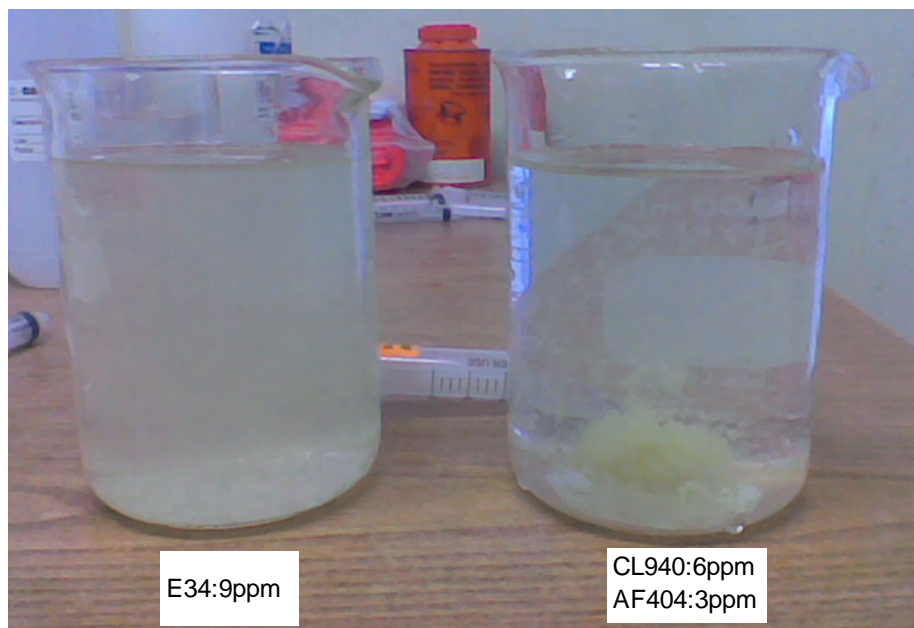


Figura N°5.7: Solución después de realizada la floculación

Como se observó en las 2 fotografías anteriores (Figuras N°5.6 y 5.7), es evidente que con el uso del CL 940 y el AF 404 se obtiene mejores resultados, del mismo modo obtenemos flóculos más consistentes y resistentes.

Nota importante: Debemos tener en cuenta que primero se debe adicionar el CL 940 y luego el AF 404 en ese estricto orden.

Optimización del consumo de floculante:

En el siguiente cuadro mostramos los datos de una matriz de pruebas realizadas para observar la variación de la turbidez en función al tiempo.

Tabla N°5.4: Turbidez de la solución tratada– Planta de Aguas y relaves (19-6-2009)

tiempo min	NTU					
	Blanco	E34 9ppm	CL940:6ppm AF404:3ppm	CL940:2ppm AF404:2ppm	CL940:2ppm AF404:1ppm	CL940:1ppm AF404:2ppm
0	127.50	127.50	127.50	127.50	127.50	127.50
1	110.10	109.20	29.62	44.26	90.91	78.89
2	100.20	53.24	28.25	27.56	56.56	46.67
3	97.58	43.03	11.18	19.77	36.02	39.68
4	95.74	41.61	10.61	16.20	30.81	33.07
5	94.30	38.07	10.00	12.95	29.46	28.35

Ahora graficaremos los datos mostrados en la tabla anterior para una mejor percepción de los resultados.

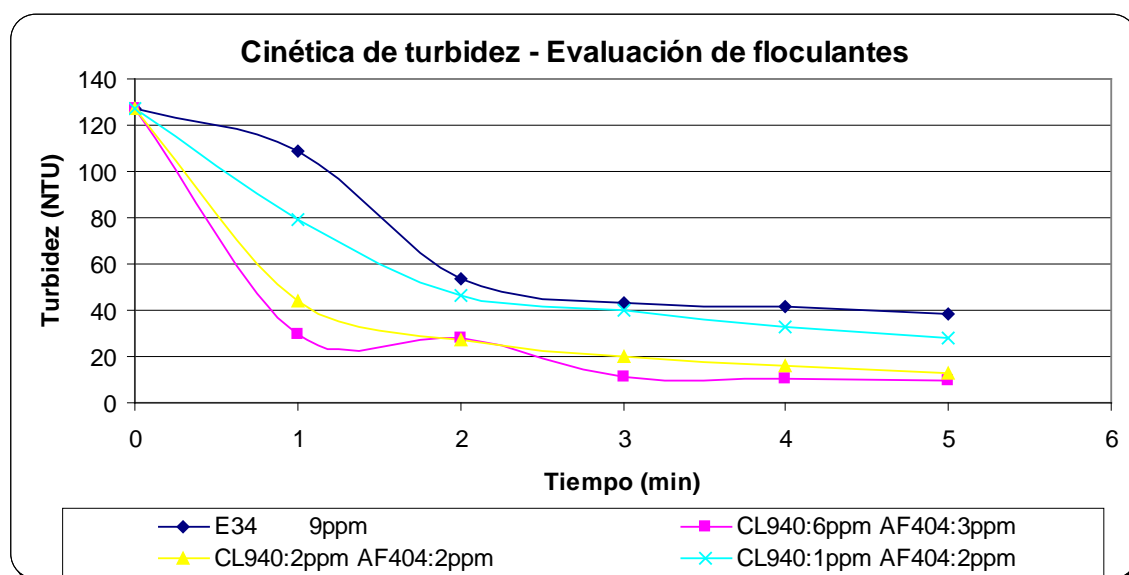


Figura N°5.8: Turbidez vs. Tiempo – Planta de Aguas y relaves /Antamina(19-junio-2009)

De la figura anterior (Figura N°5.8) podemos decir que con 2ppm de CL 940 y 2ppm de AF 404 se obtiene una buena performance en cuanto a turbidez. Al adicionar una mayor dosis de estos reactivos lo que se logra es obtener flóculos más fuertes, de más rápida formación y de mayor tamaño

Posteriormente realizamos una comparación reduciendo la dosificación del E34 para compararlo con los resultados obtenidos con los floculantes CL 940 y el AF 404

Tabla N°5.5: Turbidez de la solución tratada de los mejores resultados

tiempo min	NTU		
	E34 3ppm	CL940:2ppm AF404:1ppm	CL940:1ppm AF404:2ppm
0	127.5	127.5	127.5
1	109.7	90.91	78.89
2	73.87	56.56	46.67
3	52.37	36.02	39.68
4	40.69	30.81	33.07
5	35.74	29.46	28.35

Finalmente podemos concluir que con la adición del CL 940 (Floculante catiónico) y posteriormente adición de AF 404 (Floculante aniónico) se alcanzan los mejores resultados. El incremento de la dosis de estos reactivos promoverán la formación de flóculos más fuertes y de forma rápida. En el caso del E34 un incremento de la dosis no influye mucho en la reducción de la turbidez.

OBSERVACIONES DEL CASO 2

Las pruebas fueron realizadas bajo las condiciones de pH actualmente manejadas en la operación (pH 9).

Con la aplicación de nuestros floculantes CL940 (6ppm) y AF 404 (3ppm), a los 5 minutos de reposo se obtuvo 10NTU de turbidez, mientras que con el floculante E34 (9ppm) se obtuvo una turbidez de 38.07 NTU, lo cual ya es una diferencia.

Al reducir las dosificaciones del CL940 (2ppm) y el AF 404 (2ppm) se logró una turbidez de 12.95 NTU, un resultado muy bueno teniendo en cuenta que el consumo total de floculantes se ha reducido en un 55% menos respecto al floculante actualmente en uso.

A diferencia del floculante actualmente en uso, al incrementar la dosificación del CL 940 y el AF 404 se logra mejorar la formación de flóculos y reducir la turbidez final en forma muy eficiente al reducir la turbidez de 12.9 a 10 NTU (a este nivel de dosificación el E34: 9ppm, se alcanza solo 38.07NTU).

Con la adición del CL 940 (Floculante catiónico) y posteriormente adición de AF 404 (Floculante aniónico) se alcanzan los mejores resultados. El incremento de la dosis de estos reactivos formarán flóculos más fuertes y de forma rápida. En el caso del E34 un incremento de la dosis no influye mucho en la reducción de la turbidez.

Se recomienda la aplicación industrial del CL 940 con una dosificación de 2 g/m³ y posteriormente la adición del AF 404 con una dosificación de 2g/m³. El incremento de las dosificaciones de estos reactivos dependerá del tamaño de flóculo que desee alcanzar el operador.

5.6 CASO 3: PRUEBAS DE SEDIMENTACION REALIZADAS CON MUESTRAS DE RELAVES DE MINA DE LA UNIDAD MINERA PAULA

SHILA, CIA. DE MINAS BUENAVENTURA – CEDIMIN

(Febrero 2009)

RELAVERA 04 – RELAVE DE FLOTACIÓN

Se requirió reducir los TSS de 70ppm (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.

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.

Esquema 3

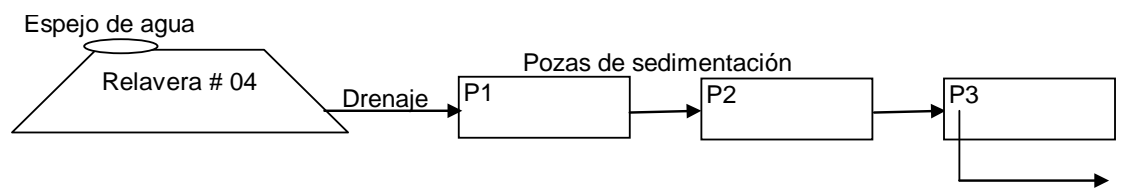


Figura N°5.9: Punto de muestreo de la pulpa de relave. (Over Flow del Hidrociclón)

Actualmente se está tratando el relave con 1.5ppm de Magnafloc 351. A continuación presentamos un gráfico (Figura N°5.10) donde se evalúan el AF 205 con el Magnafloc 351 a las mismas condiciones.

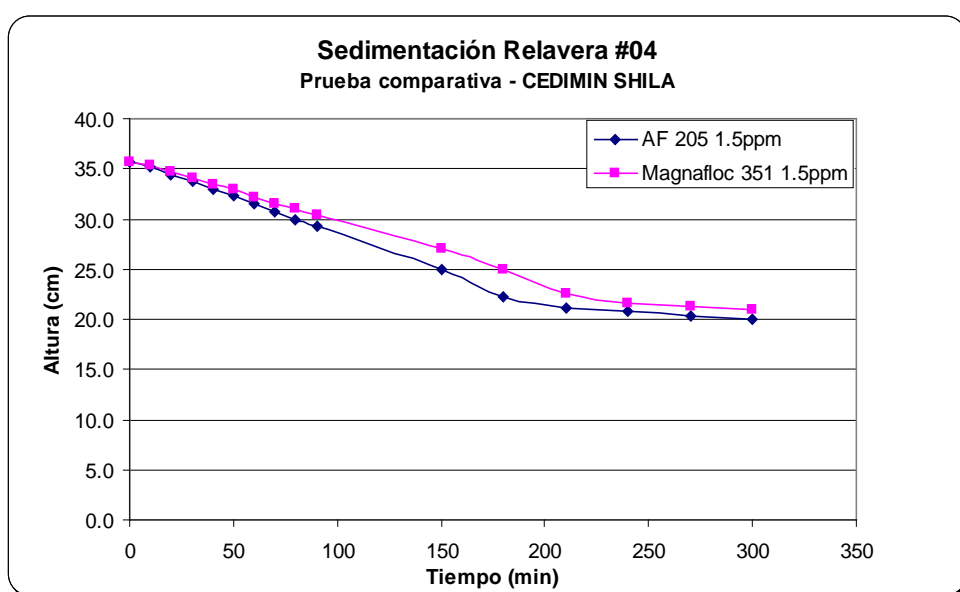


Figura N°5.10: Prueba de sedimentación – Relavera de Planta Shila (Febrero 2009)

En la figura anterior (Figura N°5.10) observamos que con 1.5ppm Magnafloc 351 alcanzamos una velocidad de 0.06cm/min, mientras que con 1.5ppm de AF205 se alcanza una mayor velocidad de sedimentación 0.08cm/min.

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

En la siguiente figura (Figura N°5.11) se presenta las curvas comparativas de sedimentación en el cual se evalúa el Magnafloc 351 con el floculante AF 205.

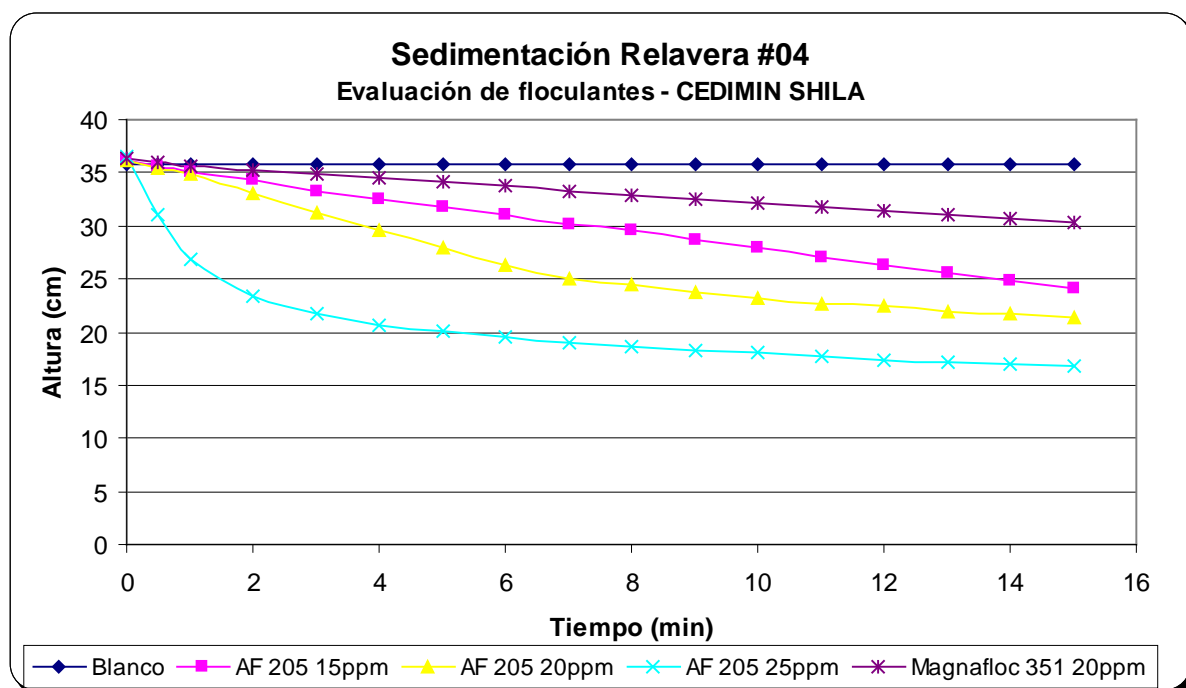


Figura N°5.11: Prueba de sedimentación – Relavera de Planta Shila (Febrero 2009)

Como observamos en la figura anterior (Figura N°5.11) vemos que con 20ppm Magnafloc 351 alcanzamos una velocidad de 0.5cm/min, mientras que con 20ppm de AF205 se alcanza una velocidad de 1.55cm/min.

Por otro lado, al reducir la concentración del AF 205 a fin de obtener un resultado equivalente al Magnafloc 351 tenemos que con 15 ppm de AF 205 obtenemos una velocidad de sedimentación de 0.89cm/min. Es decir que a pesar de ahorrar 5ppm de

floculante en comparación al Magnafloc 351 (20ppm), obtenemos un mejor resultado con el AF 205 en cuanto a velocidad de sedimentación.

Ahora si incrementamos la concentración del AF 205 a 25ppm obtenemos una velocidad de sedimentación muchísimo más alta de 6.45cm/min.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en esta evaluación recomendamos el uso industrial del Sedipur AF 205 por su mejor performance en floculación.

OBSERVACIONES DEL CASO 3

Al emplear Magnafloc 351 (1.5ppm) se alcanzó una velocidad de 0.06cm/min, mientras que con AF205 (1.5ppm) se logró una mayor velocidad de sedimentación 0.08cm/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 0.5cm/min, mientras que con 20ppm de AF 205 se alcanzó una velocidad de 1.55cm/min.

5.7 CASO 4: EVALUACIÓN DE FLOCULANTES BASF A NIVEL LABORATORIO CON AGUAS DEL RÍO CHILI – ESTACIÓN DE BOMBAS SMCV

(USO DE POLIACRILAMIDA ANIÓNICA Y UNA POLIVINILAMINA)

5.7.1 Desarrollo de las pruebas – Jar test

Las muestras de aguas empleadas en la evaluación, procedieron del Río Chili, y fueron tomadas por personal de SMCV.

De una matriz de pruebas se determinó que los mejores resultados se obtienen empleando 2 productos con diferente carácter iónico: uno líquido con carga catiónica y otro sólido con carga aniónica.

A continuación presentamos las pruebas exploratorias con test de jarras y posteriormente el resultado de una de las pruebas comparativas, empleando los reactivos en uso actual versus los reactivos que proponemos para mejorar el proceso.

5.7.2 Determinación de la concentración óptima del CL 940

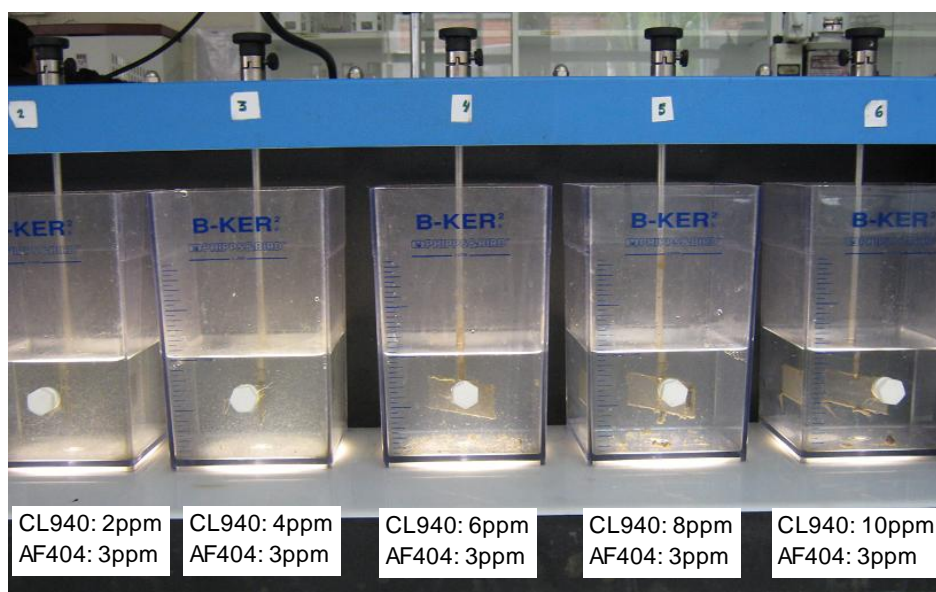


Figura N°5.12: Test de jarras – 3ppm de AF 404

En esta foto observamos que la concentración adecuada de CL 940 es de 7ppm. Esta concentración se considerará para determinar la concentración óptima del AF 404.

5.7.3 Determinación de la concentración óptima del AF 404

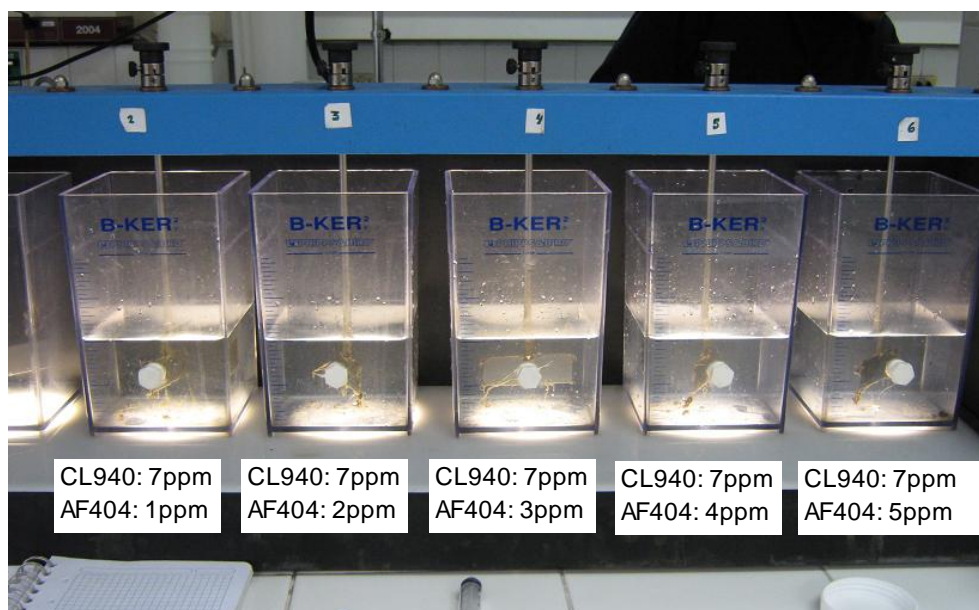


Figura N°5.13: Test de jarras – 7ppm de CL 940

En esta foto observamos que para una concentración de CL 940 de 7ppm, la mejor concentración de AF 404 es 3ppm.

De la evaluación, se considera importante señalar, que el empleo de una dosis menor de 3 ppm del AF 404 tendrá efectos negativos sobre la formación y sedimentación del floculo.

5.7.4 Comparación de los mejores resultados

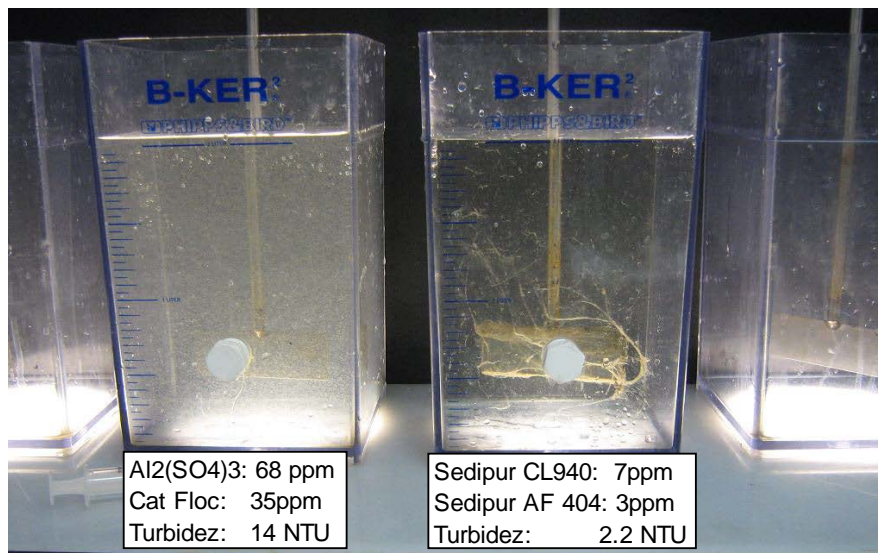


Figura N°5.14: Resultados con parámetros actuales de planta (*izquierda*) y con uso de reactivos orgánicos (*derecha*)

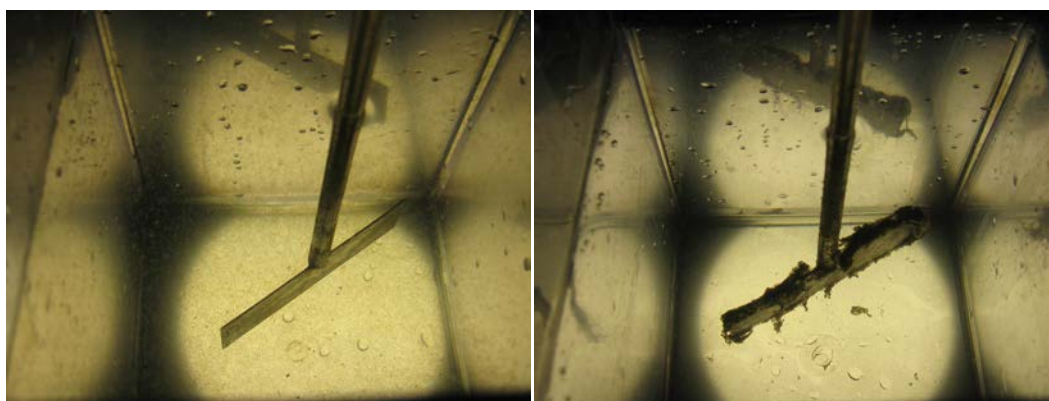


Figura 5.15: Resultados con parámetros actuales de planta (*izquierda*) y con uso de reactivos orgánicos (*derecha*)

En las fotos anteriores, el recipiente de la izquierda se trabajó con los reactivos y niveles de dosificación en uso actual (Sulfato de Aluminio 68ppm y CATFLOC 34ppm) y el recipiente de la derecha con nuestra propuesta (CL 940 7ppm y AF 404 2ppm).

Tal como se puede ver en las fotos, con los reactivos tipo AF y CL (imágenes derecha) se observan flóculos bien definidos y consistentes, esto permite una sedimentación inmediata. A diferencia de los reactivos actualmente en uso el cual genera flóculos inestables y de lenta sedimentación.

5.7.5 Simulación de costos por alternativa:

Plantas de tratamiento de aguas:

(Caudal total)

	Total
Norte	} 87.02 m ³ /h
Mix box	
Agua clara	
Sur	

Simulación de costos:

Tabla N°5.6: Costo por metro cúbico de solución tratada (por concepto de reactivo)

	Al2(SO4)3	CAT FLOC	CL940	AF404	CL940	AF205
ml/min	670	1080				
ppm	68.93	34.27	8	3	8	5
gr/min	99.97	49.70	11.60	4.35	11.60	7.25
Kg/mes	4318.65	2147.18	501.22	187.96	501.22	313.26
NTU	14.4		2.2		4.3	
Costo unitario(US\$/Kg)	0.20	1.80	4.70	5.20	4.70	5.30
Costo(US\$/m3)	0.0755		0.0532		0.0641	
Costo mensual (US\$)		4728.7		3333.1		4016.1
Ahorro mensual (US\$)		0.0%		29.5%		15.1%

Nota: En la evaluación, nivel laboratorio, se consideró también nuestro floculante AF 205, pero por cuestión de costos no se incluye en la propuesta, pero si en la simulación.

Como vemos en el cuadro de simulación de costos, podemos decir que por los resultados y el ahorro que podría significar (por costos, logística, etc.), el sistema que le proponemos (CL 940 + AF 404) es una buena alternativa para mejorar los resultados obtenidos con los productos en uso actual. En base a todo lo anterior, sugerimos llevar a cabo una evaluación a nivel industrial.

OBSERVACIONES DEL CASO 4

Los reactivos y dosis que proponemos para el tratamiento son:

Tabla N°5.7: Dosis recomendada para el tratamiento del efluente problema

Producto	Aspecto Físico	Dosis (ppm)	Turbidez (NTU)
CL 940	Líquido	7	
AF 404	Polvo	3	2.2

De la prueba comparativa, con el uso de CL 940 (7ppm) y el AF 404 (3ppm) se obtuvo una turbidez de 2.2 NTU mientras que con el $Al_2(SO_4)_3$ (68.93ppm) y el CATFLOC (34.27ppm) se obtuvo una turbidez de 14.4 NTU.

Cómo ejercicio y herramienta de análisis, le presentamos el siguiente cuadro, en donde considerando niveles de consumo y costos aproximados, simulamos el beneficio de emplear el sistema propuesto.

Tabla N°5.7: Costo comparativo (mejor resultado)

	Al₂(SO₄)₃	CAT FLOC	CL940	AF404
ml/min	670	1080		
ppm	68.93	34.27	8	3
gr/min	99.97	49.70	11.60	4.35
Kg/mes	4318.65	2147.18	501.22	187.96
NTU	14.4		2.2	
Costo unitario(US\$/Kg)	0.20	1.80	4.70	5.20
Costo(US\$/m³)	0.0755		0.0532	
Costo mensual (US\$)		4728.7		3333.1
Ahorro mensual (US\$)		0.0%		29.5%

Nota: En esta evaluación no estamos considerando beneficios, tales como, Reducción de costos en: Transporte, almacenamiento, etc.

Del cuadro anterior, considerando los resultados a obtener, tanto en calidad de agua como en costos (aprox. 29%) sugerimos la aplicación y/o evaluación del CL 940 y el AF 404 a escala industrial.

5.8 CASO 5: PRUEBAS DE SEDIMENTACION REALIZADAS CON MUESTRAS DE AGUA Y RELAVES DE MINA DE LA UNIDAD MINERA PAULA

SHILA, CIA. DE MINAS BUENAVENTURA – CEDIMIN

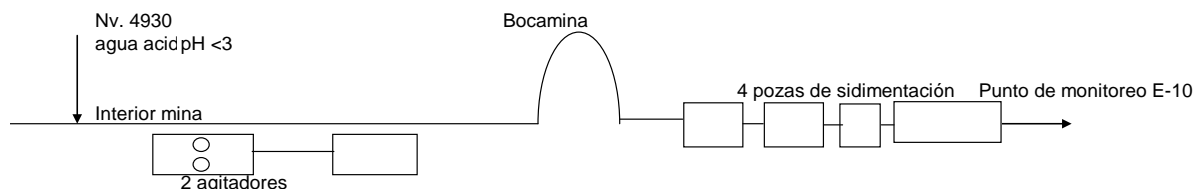
Febrero 2009

5.8.1 Variación del pH y adición de agentes químicos

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 actual utilizado para el tratamiento del efluente en el nivel 4980.

Esquema 4



La muestra proviene de la mezcla de 2 aguas, una del Nivel 4930 que es la de pH<3 y el agua del Nivel 4980 (pH6.5). La muestra fue tomada en interior mina en la mezcla de las 2 aguas y antes de tratamiento del efluente.

5.8.2 Neutralización y sedimentación usando AF 205

El agua que sale de la bocamina se encontró a pH 2.8 con un caudal de 8 L/seg.

Floculación con AF 205 variando el pH

En la siguiente figura (Figura N°5.16) se muestra las curvas de sedimentación a diferentes pH (neutralización con lechada de cal) y utilizando como floculante al Sedipur AF 205 con 1ppm de concentración.

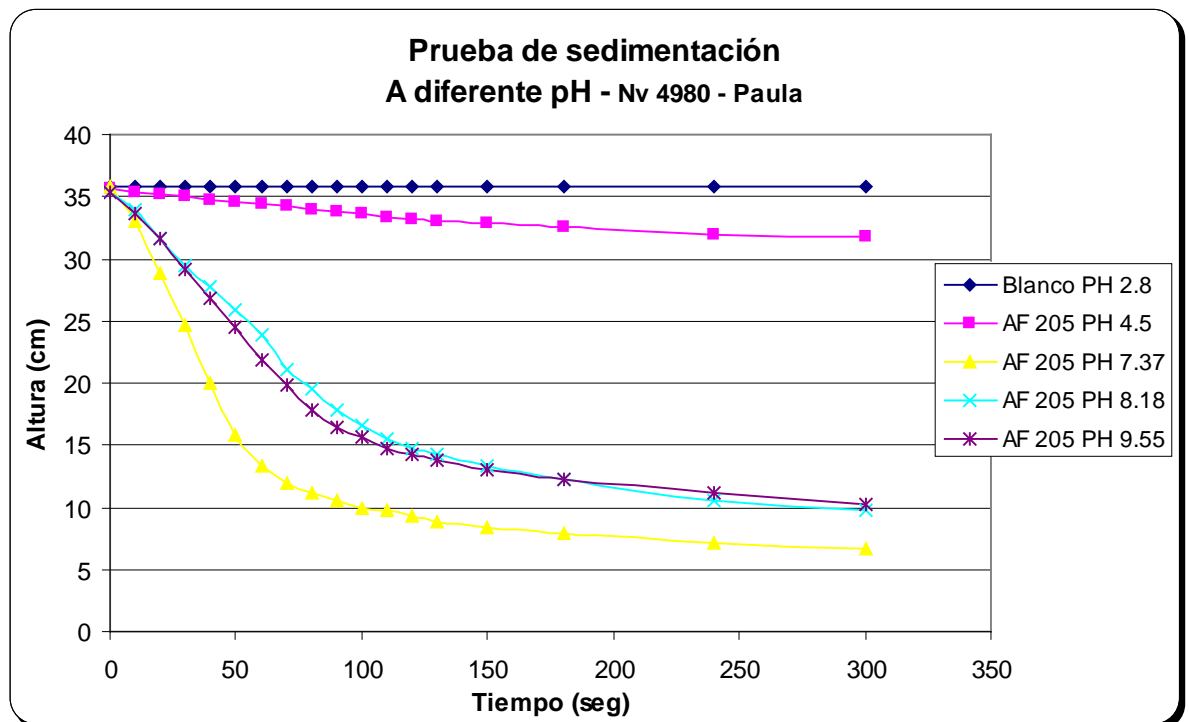


Figura N°5.16: Prueba de sedimentación – Efluente Nv 4980 - Paula (Febrero 2009)

Como se observa en la figura anterior (Figura N°5.16), a pH 7.37 y con 1ppm de AF 205 obtenemos una velocidad de sedimentación de 24.5cm/min. Se recomienda utilizar pozas de sedimentación con un tiempo de residencia mínimo de 1min.

A continuación (Tabla N°5.8) presentamos el reporte de metales disueltos contenidos para el agua tratada a diferentes pH y acondicionado con 1ppm de AF 205.

Tabla N°5.8: Metales disueltos en agua tratada – Lab. CEDIMIN (Febrero 2009)

	Blanco PH 2.8	AF 205 PH 7.37	AF 205 PH 8.18	AF 205 PH 9.55	LMP Clase III
Cu (ppm)	4.679	0.122	0.079	0.050	0.500
Zn (ppm)	4.850	1.484	0.005	0.001	25.000
Pb (ppm)	0.133	0.086	0.120	0.121	0.100
Fe (ppm)	263.730	0.009	0.009	0.046	1.000
TSS (ppm)	65.5	12.5	7.0	50.5	

En el siguiente gráfico (Figura N°5.17) se muestra los metales disueltos cuyos valores están mostrados en la Tabla N°5.8.

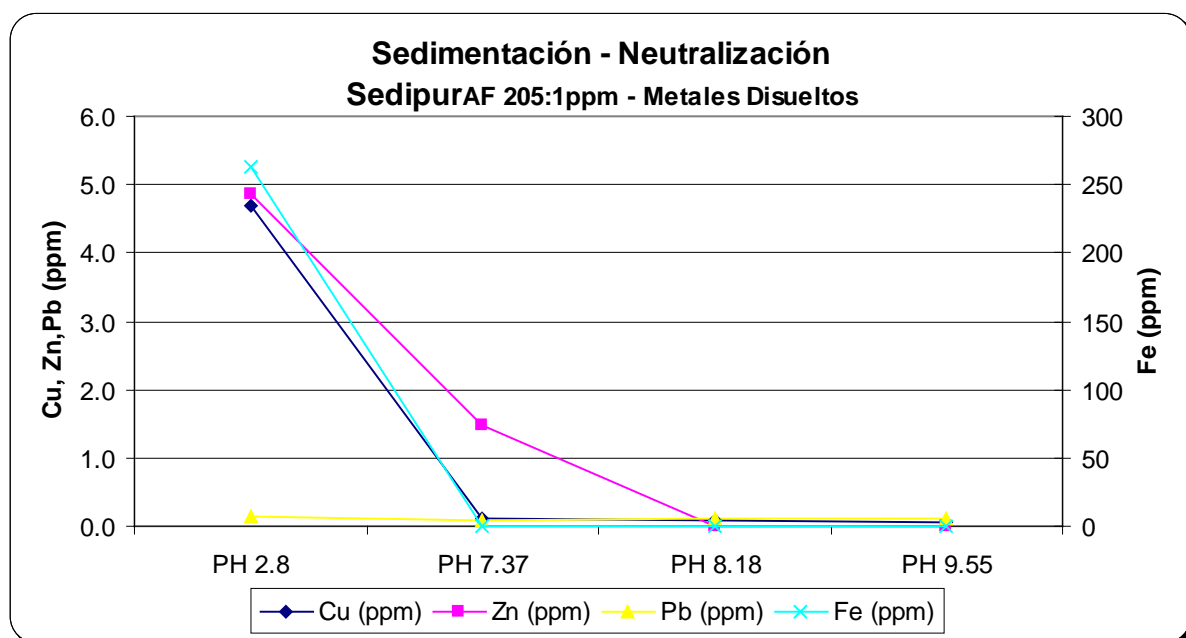


Figura N°5.171: Curva de Metales disueltos – Efluente Nv 4980 - Paula (Febrero 2009)

Como se observa en la figura anterior (Figura N°5.17), en un rango de pH de 7 a 8 logramos reducir el contenido de metales disueltos por debajo de 1ppm. En cuanto al Zn a pH = 8.2 se observó un efecto claro de la reducción de este metal, debido principalmente a la acción de la cal.

A continuación mostramos las fotos de las pruebas realizadas (se repitió en un vaso solo para mejor percepción) en laboratorio CEDIMIN para tratar esta agua.



Figura N°5.18 Agua ácida de mina, pH = 2.8

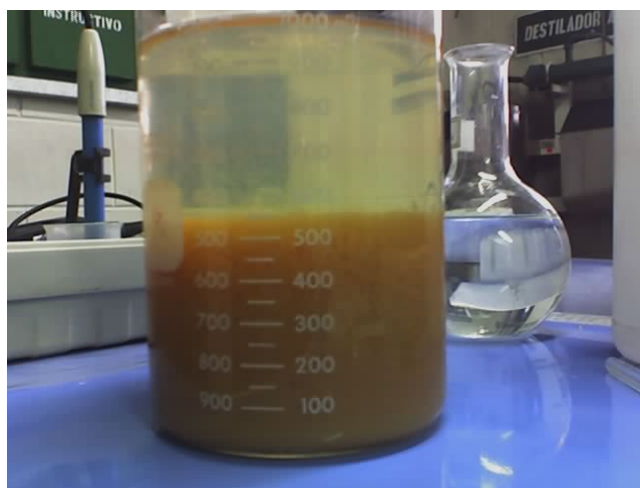


Figura N°5.19: Agua neutralizada con cal, pH = 7.37



Figura N°5.20: Agua neutralizada con cal, pH = 7.37 y AF 205 = 1ppm

OBSERVACIONES DEL CASO 5

Nivel 4980 – Veta Nazareno

Con el uso de 3 ppm de AF205 se obtuvo los más bajos niveles de metales disueltos (menor a 0.2ppm) y con TSS =16ppm. Del mismo modo utilizando 3ppm de AF 205 se obtiene una buena velocidad de sedimentación: 45cm/min.

El consumo de cal requerido para la neutralización (a pH 7.5) y considerando un caudal de 7Lt/seg es de 2Tn de cal por mes aprox.

El consumo de AF 205 sería de 54.0 Kg/mes

5.8.3 Neutralización a pH 7 variando la concentración del AF205

Como al neutralizar la muestra de agua a pH 7.37 y con 1ppm de AF205 se obtuvo la más alta velocidad de sedimentación y contenido de metales disueltos bajos, es que se consideró variar la concentración del AF205 y se buscó mejoras en la sedimentación así como en el contenido de metales disueltos en el licor claro.

A continuación se muestra a curvas de sedimentación a diferentes concentraciones de AF 205 con solución neutralizada a un pH de 7 aprox.

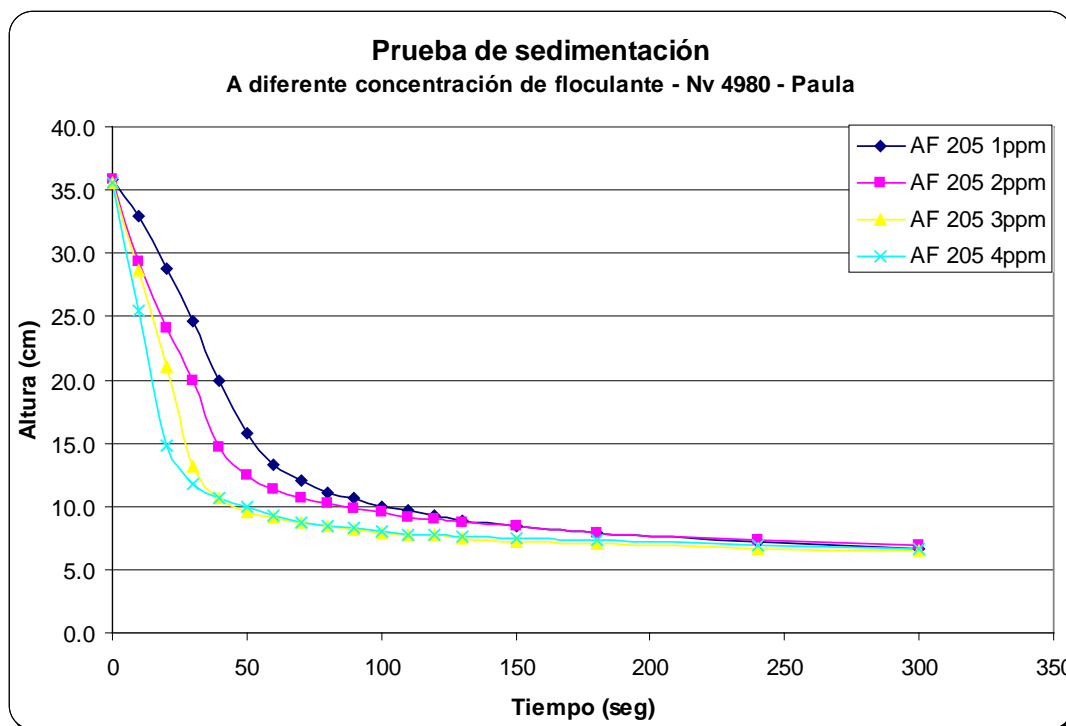


Figura N°5.21: Prueba de sedimentación – Efluente Nv 4980 - Paula (Febrero 2009)

Como se observa en la figura anterior (Figura N°5.21), a una vez neutralizada la muestra observamos que la con 1ppm de AF205 logramos conseguir una velocidad de sedimentación 22.68cm/min, del mismo modo con 3ppm de AF 205 se obtuvo una velocidad de sedimentación de 45cm/min y finalmente al incrementar el AF205 a 4ppm la velocidad de sedimentación se incrementó a 49.24cm/min.

A continuación (Ver Tabla N°5.9) presentamos los metales disueltos contenidos en el agua neutralizada luego de 15 min de reposo.

Tabla N°5.9: Datos de Metales disueltos en agua tratada – Lab. CEDIMIN (Febrero 2009)

	AF 205 1ppm	AF 205 2ppm	AF 205 3ppm	AF 205 4ppm	LMP Clase III
Cu (ppm)	0.122	0.062	0.109	0.096	0.500
Zn (ppm)	1.484	0.005	0.198	0.053	25.000
Pb (ppm)	0.086	0.096	0.068	0.110	0.100
Fe (ppm)	0.009	0.005	0.023	0.275	1.000
TSS (ppm)	12.500	29.500	16.000	12.000	

En la tabla anterior se muestra que los TSS para 2 y 3 ppm de AF 205 no guardan relación respecto a los obtenidos con 1 y 4 ppm. Esto se debe a que al momento de tomar la muestra, algunos flóculos que estaban pegados a la pared contaminaron la muestra y al filtrarlo se tomó en cuenta elevando los TSS en el cálculo final.

En el siguiente gráfico (Figura N°5.22) se muestra los metales disueltos cuyos valores están mostrados en la Tabla N°5.9.

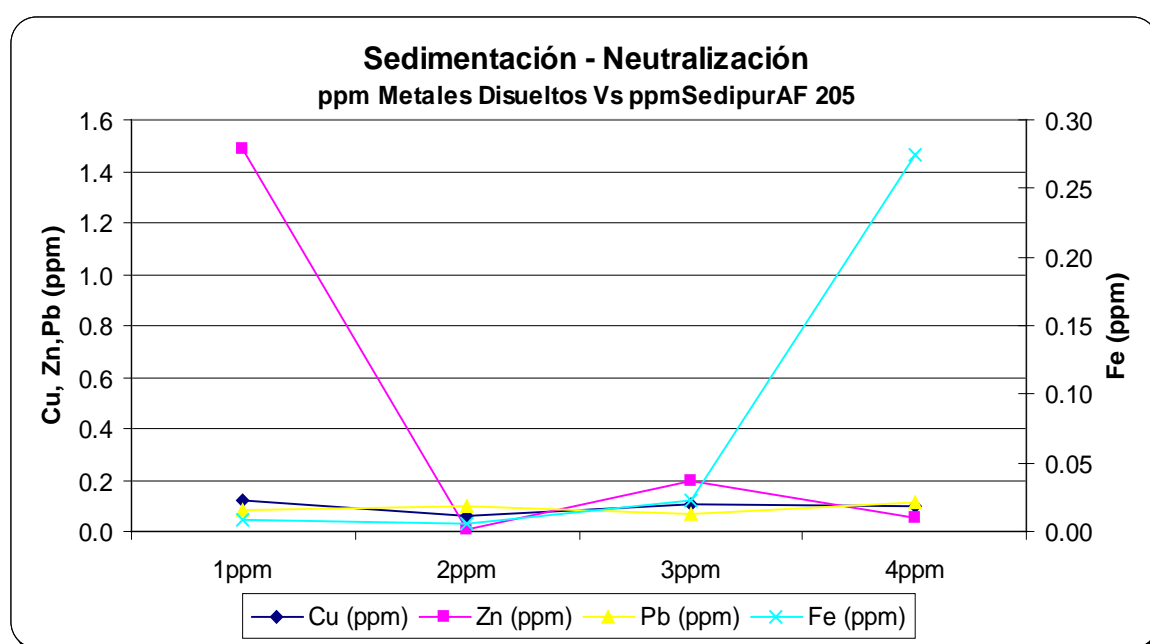


Figura N°5.22: Metales Disueltos – Lab. CEDIMIN (Febrero 2009)

Como vemos en la figura anterior (Figura N°5.22) al utilizar de 2 y 3 ppm de AF205 se obtuvo los más bajos niveles de metales disueltos (menor a 0.2 ppm) y con TSS = 16 ppm. Del mismo modo podemos, utilizando 3 ppm de AF 205, se obtiene una buena velocidad de sedimentación: 45 cm/min (Ver Figura N°5.21).

De los resultados de la evaluación se recomienda neutralizar el efluente del Nivel 4980 a pH 7.5 y flocular con 2 ppm de AF205 para obtener un agua de calidad y con niveles de metales disueltos por debajo de los Límites máximos permisibles.

CONCLUSIONES

COAGULACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

1. La coagulación dependerá directamente de la carga superficial de la partícula, se requiere llegar al potencial cero de carga para neutralizar las fuerzas de repulsión de las partículas que estabilizan a los coloides.
2. En la práctica no es muy necesario conocer el potencial zeta de las partículas ya que por lo general es una mezcla de muchos tipos de partículas y lo recomendable es realizar una prueba de jarras para encontrar un coagulante adecuado y con una concentración óptima que funcione bien al pH requerido como resultado en campo.

FLOCULACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

3. La floculación se realizará con una agitación suave para evitar romper los flóculos formados.
4. Para pulpas de relaves se recomienda utilizar floculantes aniónicos de baja densidad de carga y alto peso molecular
5. Para soluciones con alto contenido de coloides se recomienda utilizar floculantes catiónicos de baja densidad de carga pero de alto peso molecular.
6. Para la remoción de iones metálicos precipitados como hidróxido (a pH 7-8) se recomienda utilizar floculante aniónicos de densidad de carga media pero con alto peso molecular.
7. Es recomendable probar siempre con floculantes de distinta densidad de carga ya que muchas veces la variación mineralógica en las pulpas de concentrados y relaves influyen en la performance del polímero aplicado como floculante.

BIBLIOGRAFÍA

1. T.H.Y. TEBBUTT Fundamentos de control de la calidad del agua. Edición 1995, Editorial Limusa, S.A de CV Grupo Noriega Editores – Balderas 95, México, D.F. Pág. 133-141
2. ERROL G. KELLY, DAVID J. SOTTISWOOD Introducción al Procesamiento de Minerales, Primera Edición 1990, Editorial Limusa, S.A. de C.V. – Balderas 95, México, D.F. Pág. 134-136
3. B.A. WILLS, BSc, PhD, CEng.MIMM Tecnología de Procesamiento de Minerales, Edición 1994, Editorial Limusa, S.A. de C.V. – Balderas 95, México, D.F. Pág. 463-469
4. www.basf.de/basf/html/d/tensid/sedipur4.htm Tensid-Chemie Vertriebsgesellschaft mbH 2003
5. BTC, BASF GROUP Sedipur Types for water treatment – SEDIPUR®

ANEXOS

ANEXO 1

Pruebas realizadas en Cia Minera Buenaventura

Pruebas de Floculación BASF Peruana SA **Elaborado por: Miguel Quispe**

Autorizado por: Victor Hugo Velasquez

Realizado: 24-feb

Procedencia de muestra: Unidad Minera Paula - Cia Minera Buenaventura

1.- Relavera

Q = 8 l/seg
 ph = 8,2
 TSS = 50ppm salida

Se requiere bajar los TSS a valores de 10-20 ppm.

Sugerencias

- Realizar pruebas de sedimentación probando el AF205 (producto que están adquiriendo), AF 404, CF 305, CF 900
- Probar con cuagulantes y secuestrantes para ver si se puede mejorar la separación sólido líquido

PC 5 (punto de monitoreo) → se va al río Culpanayo

Met. Pes. Cu, Fe, Zn, As, Pb } < LMP en este aspecto no tienen problemas

2.- Nivel 4880

Q = 60-80 l/seg
 ph = 6,2
 TSS = 70ppm salida

Se requiere bajar los TSS entre 10 y 15 ppm.

Sugerencias

- Realizar pruebas de sedimentación probando el AF205 (producto que están adquiriendo), AF 404, CF 305, CF 900
- Probar con cuagulantes y secuestrantes para ver si se puede mejorar la separación sólido líquido

3.- Nivel 4930

Q = 8 l/seg aprox. salida
 ph = 3,5
 Fe = >50 ppm salida
 TSS = >120 ppm salida

Nv. 4930 agua acida pH <3

Este monitoreo se realiza en el punto de control E-10

Se requiere reducir los PSS así como los niveles de Fe.

Sugerencias

- Elevar el pH a valores de 7-8 utilizando lechada de cal.
- Realizar pruebas de sedimentación probando el AF205 (producto que están adquiriendo), AF 404, CF 305, CF 900
- Probar con cuagulantes y secuestrantes para ver si se puede mejorar la separación sólido líquido

4.- Nivel 5000 (Shila) Sector Apacheta

Q = 7 l/seg
 ph = 5,6
 TSS = 50ppm entrada
 TSS = 7ppm salida

El problema es el Zn > 3mg/l
 Cuando elevan el pH de 6 a 7,5-8,5 el Zn precipita a valores de 0,01-0,02ppm

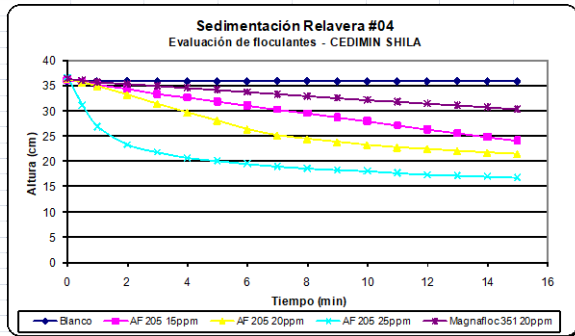
Quieren saber la manera de cómo mejorar este sistema o quizás hacer pruebas con nuestros productos para prescindir de la cal

Sugerencias

- Continuar con la adición de cal para eliminar el problema del Zinc. (elevar el pH a 6 - 7)
- Realizar pruebas de sedimentación probando el Sedipur AF205 (producto que están adquiriendo), AF 404, CF 305, CF 900

Procedencia de muestra: Over flow de hidrocación - Relave #04 Unidad Minera Shila - Cia Minera Buenaventura

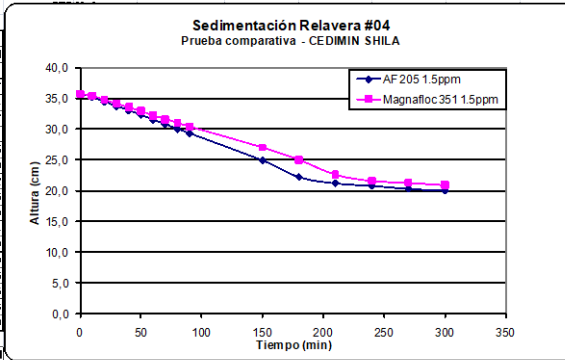
Tiempo min	Altura (cm)				
	Blanco	AF 205 15ppm	AF 205 20ppm	AF 205 25ppm	Magnafloc 351 20ppm
0	35,8	36,1	36,2	36,6	36,3
0,5	35,8	35,6	35,5	31,1	36,0
1	35,8	35,1	34,8	26,9	35,6
2	35,8	34,3	33,1	23,3	35,3
3	35,8	33,3	31,3	21,8	34,9
4	35,8	32,6	29,6	20,7	34,5
5	35,8	31,8	28,0	20,1	34,1
6	35,8	31,0	26,3	19,5	33,7
7	35,8	30,2	25,1	19,0	33,3
8	35,8	29,5	24,4	18,6	32,9
9	35,8	28,7	23,8	18,3	32,5
10	35,8	27,9	23,2	18,1	32,1
11	35,8	27,1	22,7	17,7	31,8
12	35,8	26,3	22,4	17,4	31,4
13	35,8	25,6	22,0	17,2	31,1
14	35,8	24,8	21,7	17,0	30,7
15	35,8	24,1	21,4	16,8	30,3



Consumo de floculante
15 g/m³

25 m³/h
0,375 Kg/h
9 Kg/Día

Tiempo min	Altura (cm)	
	AF 205 1,5ppm	Magnafloc 351 1,5ppm
0	35,7	35,4
10	35,2	35,4
20	34,4	34,7
30	33,7	34,1
40	33,0	33,5
50	32,3	32,8
60	31,5	32,2
70	30,8	31,6
80	30,0	31,0
90	29,3	30,4
150	24,9	27,0
180	22,2	25,0
210	21,2	22,6
240	20,8	21,6
270	20,3	21,3
300	20,0	20,9



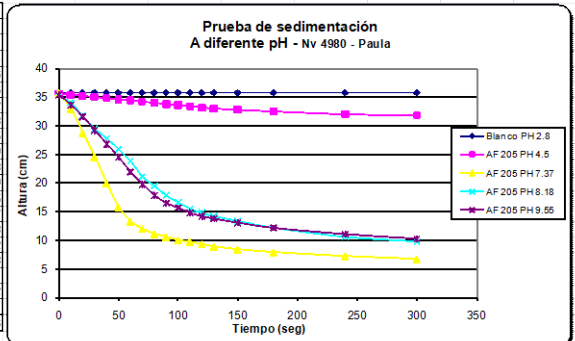
veloc sed AF 205 cm/h	Magnafloc 351 cm/h
4,5	3,6

Realizador: 27-feb

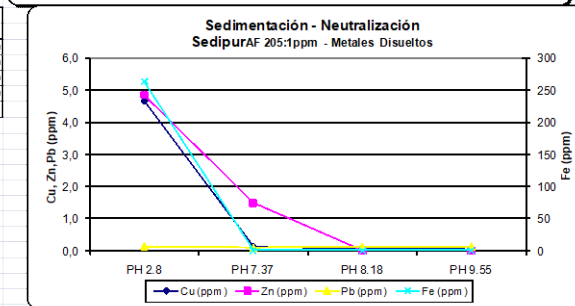
Procedencia de muestra: Agua de mina - Nivel 4980 Unidad Minera Paula - Cia Minera Buenaventura

1.-

Tiempo seg	Altura (cm)				
	Blanco PH 2,8	AF 205 PH 4,5	AF 205 PH 7,37	AF 205 PH 8,18	AF 205 PH 9,55
0	35,8	35,6	35,8	35,3	35,4
10	35,8	35,4	33,0	34,0	33,6
20	35,8	35,2	28,8	31,7	31,6
30	35,8	35,0	24,6	29,5	29,2
40	35,8	34,8	20,0	27,8	26,8
50	35,8	34,6	15,8	25,9	24,5
60	35,8	34,4	13,3	23,8	21,8
70	35,8	34,2	12,0	21,1	19,8
80	35,8	34,0	11,1	19,5	17,9
90	35,8	33,8	10,6	17,9	16,5
100	35,8	33,6	10,0	16,6	15,7
110	35,8	33,4	9,7	15,5	14,8
120	35,8	33,2	9,3	14,8	14,2
130	35,8	33,0	8,9	14,2	13,8
150	35,8	32,8	8,4	13,4	13,1
180	35,8	32,5	7,9	12,2	12,2
240	35,8	32,0	7,2	10,6	11,1
300	35,8	31,8	6,7	9,8	10,3



	Blanco PH 2,8	AF 205 PH 7,37	AF 205 PH 8,18	AF 205 PH 9,55	LMP Clase III
Cu (ppm)	4,679	0,122	0,079	0,050	0,500
Zn (ppm)	4,850	1,484	0,005	0,001	25,000
Pb (ppm)	0,133	0,086	0,120	0,121	0,100
Fe (ppm)	263,730	0,009	0,009	0,046	1,000
ISS (ppm)	65,5	12,5	7,0	50,5	

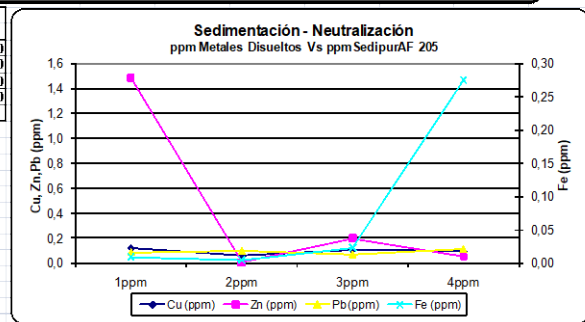
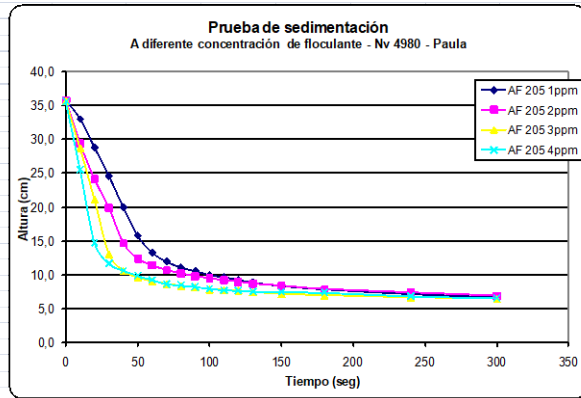


2.- PH = 7.3

Tiempo seg	Altura (cm)			
	AF 205 1ppm	AF 205 2ppm	AF 205 3ppm	AF 205 4ppm
0	35,8	35,8	35,6	35,6
10	33,0	29,4	28,7	25,5
20	28,8	24,1	21,1	14,8
30	24,6	19,9	13,1	11,7
40	20,0	14,7	10,6	10,7
50	15,8	12,4	9,6	9,9
60	13,3	11,4	9,1	9,3
70	12,0	10,7	8,7	8,7
80	11,1	10,2	8,4	8,5
90	10,6	9,8	8,2	8,3
100	10,0	9,5	7,9	8,0
110	9,7	9,2	7,8	7,8
120	9,3	9,0	7,7	7,7
130	8,9	8,7	7,5	7,6
150	8,4	8,4	7,2	7,5
180	7,9	7,9	7,0	7,4
240	7,2	7,4	6,7	6,9
300	6,7	6,9	6,5	6,6

0,8 45,06

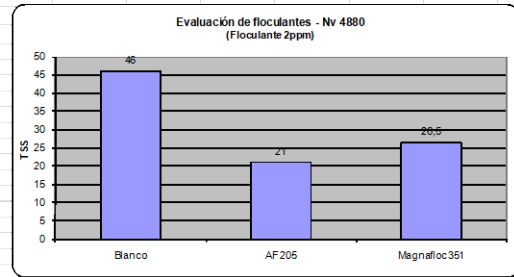
	AF 205 1ppm	AF 205 2ppm	AF 205 3ppm	AF 205 4ppm	LMP Clase III	
					0,500	25,000
Cu (ppm)	0,122	0,062	0,109	0,096	0,100	0,100
Zn (ppm)	1,484	0,005	0,198	0,053	1,000	1,000
Pb (ppm)	0,086	0,096	0,068	0,110		
Fe (ppm)	0,009	0,005	0,023	0,275		
TSS (ppm)	12,500	29,500	16,000	12,000		



Realizado: 28-feb
Procedencia de muestra: Agua de mina - Nivel 4880 Unidad Minera Paula - Cia Minera Buenaventura

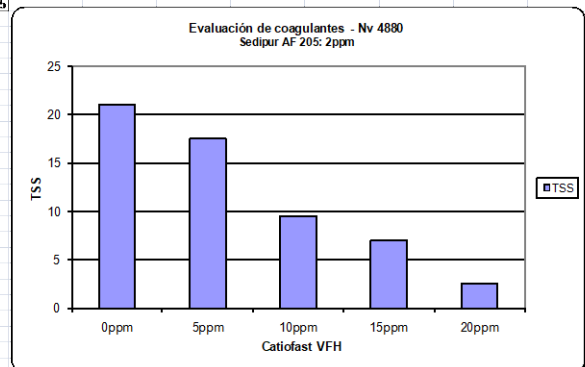
1.- Concentración de Floculante: 2ppm

	Blanco	AF 205	Magnafloc 351
TSS	46	21	26,5



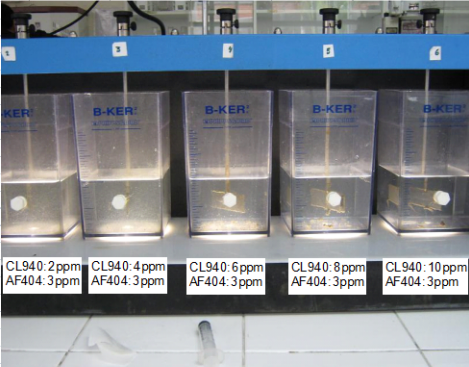
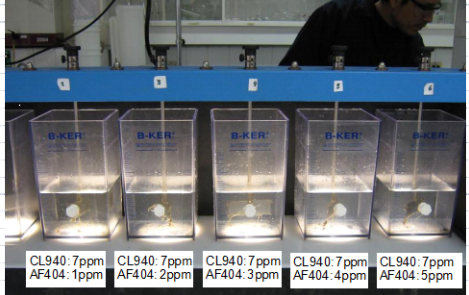
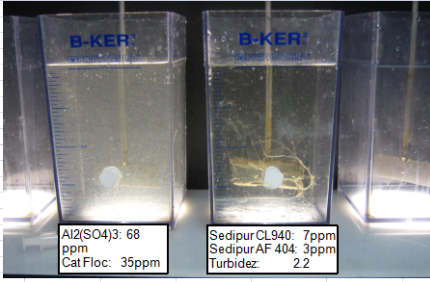
2.- Sedipur AF 205: 2ppm

	Catiofast VFH				
	0ppm	5ppm	10ppm	15ppm	20ppm
TSS	21	17,5	9,5	7	2,5



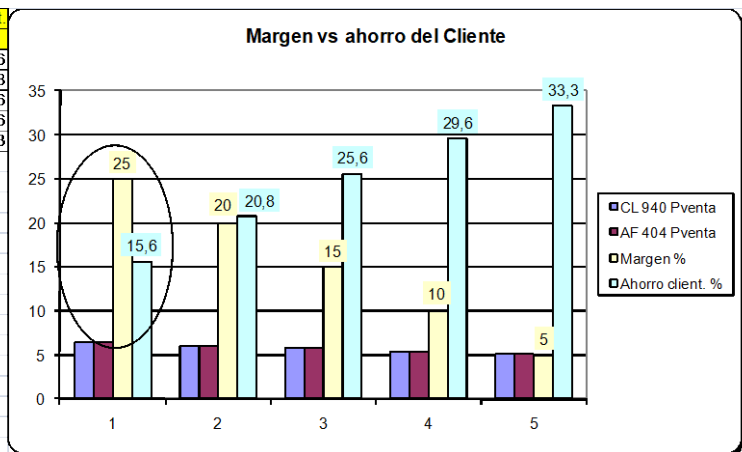
ANEXO 2

Pruebas realizadas en SMCV

Evaluación de Floculantes - Cerro Verde	Elaborado por:	Miguel Quispe
Pruebas de test de Jarras con aguas de SMCV - Relaves y agua clara		
 <p>CL940: 2 ppm AF404: 3 ppm</p> <p>CL940: 4 ppm AF404: 3 ppm</p> <p>CL940: 6 ppm AF404: 3 ppm</p> <p>CL940: 8 ppm AF404: 3 ppm</p> <p>CL940: 10 ppm AF404: 3 ppm</p>	<p>Comentarios En esta prueba vemos que con 7ppm de Sedipur CL 940 se obtiene una buena floculación.</p>	
 <p>CL940: 7ppm AF404: 1ppm</p> <p>CL940: 7ppm AF404: 2ppm</p> <p>CL940: 7ppm AF404: 3ppm</p> <p>CL940: 7ppm AF404: 4ppm</p> <p>CL940: 7ppm AF404: 5ppm</p>	<p>Comentarios En esta prueba tratamos de optimizar el consumo de Sedipur AF 404. Se observa que para 3ppm de Sedipur AF 404 se obtiene floculos de buena consistencia. La foto ha sido tomada despues de 30 seg de acondicionamiento y 30 seg de reposo.</p>	
 <p>Al₂(SO₄)₃: 68 ppm CatFloc: 35ppm</p> <p>SedipurCL940: 7ppm SedipurAF 404: 3ppm Turbidez: 2.2</p>	<p>Comentarios En la siguiente foto comparativa podemos ver la diferencia en los resultados al utilizar los productos BASF el cual presenta una mejor performance y se ajusta a las necesidades de planta ya que no necesita un tiempo grande de residuo en el clarificador.</p>	

PREPARACION:					
	AIZ(SO4)3	CAT FLOC			
Peso (g)	15000	10000		l/h	%bomba
Volumen (Lt)	208	450		7,57082	100
Concentracion (gr/Lt)	72,05	22,22		3,78541	50
					360
					180
Otros Datos					
Densidad	-	1,108	gr/ml		
Concentracion	17%				
	Qingreso	185 GPM	700,30085 Lt/min	42,02 m3/h	norte
				10 m3/h	mix box
				10 m3/h	Agua clara
				25 m3/h	Sur
					Total
					87,02 m3/h
DOSIFICACION ACTUAL:					
	AIZ(SO4)3	CAT FLOC	CL940	AF404	
ml/min	670	1080			
ppm	68,93	34,27	11,5	2,4	
gr/min	99,97	49,70	8,05	3,48	
Kg/mes	4318,65	2147,18	347,91	150,37	
NTU		14,4		2,2	
Costo unitario(US\$/Kg)	0,50	1,80	6,49	6,50	2,90 4,112
Costo(US\$/m3)		0,0962		0,090235	
Costo mensual (US\$)		6024,2		5653,5	
Ahorro mensual (US\$)		0,0%		6,2%	

CL 940	AF 404	Margen	Ahorro client
Pventa	Pventa	%	%
6,49	6,5	25	15,6
6,09	6,1	20	20,8
5,72	5,73	15	25,6
5,41	5,42	10	29,6
5,13	5,14	5	33,3



Diseño del preparador del floculante AF 404			
	Consumo:	5012,23974 gr/día	1g/l
	V =	5012,23974 l/día	1g/l (0.1%)
	V =	501,223974 l/día	10g/l (1.0%)
	D =	0,86095564 10g/l (1.0%)	1,85487269 1g/l (0.1%)
	H =	0,86095564	1,85487269
Sedipur CL 940			
	Peso por día	11,60 Kg/día	
	Capacidad b.	3 l/h	
	Dosis Día	72 l/día	
	Conc.prepara	0,1610692 Kg/Lt	
	Conc.prepara	161,069196 Kg/m3	