

Área del Conocimiento de Agricultura

**Análisis del proceso de sedimentación con diferentes floculantes para
tanque espesador OUTOTEC en la Industria Minera Mina el Limón S.A.**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Tutor:

Br. Anielka Isayana
Méndez Ortiz

Carné: 2015-0806U

Br. Laleska Alejandra
Stynze Ramírez

Carné: 2016-0511 U

Ing. Nelly Ivette Betanco
Figueroa

Febrero, 2025.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	1
DEDICATORIA.....	2
CARTA DEL PROFESOR TUTOR.....	3
RESUMEN	4
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. OBJETIVOS.....	6
OBJETIVOS GENERALES	6
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
III. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. Tecnología de la sedimentación.....	8
3.2. Sedimentación de partículas floculentas	9
3.3. Sedimentación por caída libre e interferida	10
3.4. Separación solido-liquido	10
3.4.1 Separación solido-liquido física.....	10
3.4.2 Separación solido-liquido fisicoquímica	10
3.5. Factores que influyen en la separación sólido-líquido.....	11
3.6. Tamaño de Partícula y Granulometría	12
3.6.1 Concentración de sólidos.....	14
3.7 Viscosidad y densidad relativa del liquido	14
3.8 Desempeño real e incomparable	15
3.9 Clarificación.....	16
3.9.1 Definición clarificación	16
3.9.2 Coagulación.....	18
3.9.3 Floculación.....	19
3.10 Espesamiento o sedimentación	21
3.10.1 Leyes de la sedimentación.....	22
3.11 Espesadores industriales	23
IV. Hipótesis.....	27
V. Metodología.....	28
5.1 Materiales.....	28
5.2 Métodos	29

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32
Caso 1:.....	32
Tratamiento 1:.....	32
Tratamiento 2:.....	33
Tratamiento 3:.....	34
Tratamiento 4:.....	34
Tratamiento 5:.....	35
Tratamiento 6:.....	36
Tratamiento 7:.....	37
Tratamiento 8:.....	38
Tratamiento 9:.....	39
Tratamiento 10:.....	40
Tratamiento 11:.....	41
Tratamiento 12:.....	42
Caso 2:.....	43
Tratamiento 1:.....	43
Tratamiento 2:.....	44
Tratamiento 3:.....	45
Análisis de tabla ANOVA:	45
VII. CONCLUSIÓN.....	48
VIII. RECOMENDACIÓN	49
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	50
X. ANEXOS.....	51
XI. GLOSARIO.....	67

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura.1 Vista de tajo a cielo abierto	7
Figura.2 Vista de minado subterráneo	7
Figura.3 Vista general de la presa de relaves.	8
Figura.4 Espesador industrial.....	24

Figura.5 Espesador de columna.....	25
Figura.6 Multiespesador	26
Figura.7 Subterránea	32
Figura.8 Muestra de Tajo	33
Figura.9 Muestra Subterránea.....	34
Figura.10 Muestra de Tajo	35
Figura.11 Muestra Subterránea.....	36
Figura.12 Muestra de Tajo	37
Figura.13 Muestra Subterránea.....	38
Figura.14 Muestra de Tajo	39
Figura.15 Muestra Subterránea.....	40
Figura.16 Muestra de Tajo	41
Figura.17 Muestra Subterránea.....	42
Figura.18 Muestra de Tajo	43
Figura.19 Muestra de Tigra	44
Figura.20 Muestra de Tigra	45
Figura.21 Muestra de Tigra	45
Tabla No. 1 Factores y dominio experimental	29
Tabla No. 2 Factores y dominio experimental	30
Tabla No. 3 Composición de las fórmulas experimentales.....	30
Tabla No. 4 Composición de las fórmulas experimentales.....	31
Tabla No. 5 Muestra subterránea.....	46
Tabla No. 6 ANOVA de muestra subterránea	46
Tabla No. 7 ANOVA muestra Tajo	47
Tabla No. 8 Tabla n°4. ANOVA muestra Tajo	47
Tabla No. 9 Dosificación de 30 g/TM floculante aniónico en muestra subterránea.....	51
Tabla No. 10 Dosificación de 30 g/TM floculante aniónico en muestra de Tajo	52
Tabla No. 11 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra de subterranea	53
Tabla No. 12 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra de Tajo.....	54
Tabla No. 13 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes HC906 en muestra de subterranea	55

Tabla No. 14 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes HC906 en muestra de tajo	56
Tabla No. 15 Dosificación de 70 g/TM floculante aniónico en muestra subterránea	56
Tabla No. 16 Dosificación de 70 g/TM floculante aniónico en muestra de tajo	57
Tabla No. 17 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra subterránea	58
Tabla No. 18 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra Tajo	59
Tabla No. 19 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes HC906 en muestra subterránea	60
Tabla No. 20 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes HC906 en muestra de tajo	61
Tabla No. 21 Dosificación de 80 g/TM floculante aniónico en muestra tajo tigre ..	61
Tabla No. 22 Dosificación de 90 g/TM floculante aniónico en muestra tajo tigre ..	62
Tabla No. 23 Dosificación de 100 g/TM floculante aniónico en muestra tajo tigre	62

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa maravillosa de nuestras vidas queremos extender un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a nosotras caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para Dios, nuestros padres y maestros. Muchas gracias a ustedes por demostrarnos que “El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere”.

Nuestra gratitud también a la Universidad Nacional de Ingeniería UNI, nuestro agradecimiento sincero a nuestra tutora de Tesis, Ing. Nelly Betanco Figueroa, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de nuestra vida profesional.

DEDICATORIA

Queremos dedicar esta tesis en primer lugar a Dios por habernos dado sabiduría y discernimiento, a nuestros padres Karla Ramírez, Carlos Stynze y Yahaira Ortiz porque ellos han dado razón a nuestras vidas, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy somos es gracias a sus esfuerzos y a nuestra tutora Nelly Betanco por su entrega y apoyo en esta última faceta de nuestra carrera. Cada uno de ellos aportaron un granito de arena para finalizar satisfactoriamente nuestro aprendizaje.

CARTA DEL PROFESOR TUTOR

En el presente trabajo de diploma: **“Análisis del proceso de sedimentación con diferentes floculantes para tanque espesador OUTOTEC en Mina el Limón S.A.”**, llevado a cabo por los Br. Br. Anielka Isayana Méndez Ortiz y Br. Laleska Alejandra Stynze Ramírez, se logró obtener una importante evaluación y análisis en una industria minera nacional, algo que se estableció para nuevos procedimientos en el área de sedimentación en dicha industria logrando muy buenos resultados que se consideraron en los procesos de obtención de oro en la industria en estudio.

Los Br. Méndez Ortiz y Stynze Ramírez, pusieron de manifiesto su entusiasmo, constancia y tiempo extra para lograr culminar con este valioso trabajo para una industria nacional de mucha importancia en el país y que se espera también sea de mucho aporte a la investigación que se desarrolla en el Programa Académico de Ingeniería Química.

Señores Miembros del Jurado tienen en sus manos un excelente trabajo de investigación, por lo cual solicito que brinden su juicio valorativo para que las bachilleres alcancen el grado de Ingeniero Químico.

Atentamente.



Ing. Nelly Ivette Betanco Figueroa

Tutor

RESUMEN

El presente trabajo de tesis es un estudio centrado en el comportamiento de la floculación en la planta de procesos de la mina El Limón, analizando cómo diferentes minerales y mezclas reaccionan con distintos polímeros floculantes. Se busca entender la efectividad de cada floculante en términos de velocidad de sedimentación y su interacción con los minerales procesado.

Los floculantes juegan un papel crucial en este proceso, ya que neutralizan las cargas electrostáticas de las partículas en suspensión, facilitando su aglomeración en flóculos más grandes que pueden ser filtrados y eliminados fácilmente.

El objetivo principal de la investigación fue estudiar cómo diferentes floculantes afectan la sedimentación, un proceso utilizado para eliminar los sólidos del agua con alta turbidez. Aunque la sedimentación es un proceso sencillo y con bajo requerimiento de materiales, su principal desafío es el tiempo necesario para su realización.

Este estudio evaluó el rendimiento de tres floculantes en el proceso de sedimentación en una planta de beneficio de oro, con el objetivo de optimizar la recuperación del mineral. Los floculantes analizados fueron el floculante aniónico chino (actualmente utilizado), Baydes 3x1 y Baydes HC906, bajo diferentes condiciones de dosificación (30 g/TM y 70 g/TM) para minerales subterráneos y de tajo con condiciones de dosificación (80 g/TM y 100 g/TM).

Validando que la hipótesis nula se cumple, dado que no se observó una diferencia sustancial entre el floculante aniónico chino y Baydes HC906 en términos de rendimiento operativo.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, es un estudio realizado con los diferentes minerales y mezclas que tienen hoy en día en la planta de procesos mina El Limón, para ver cómo es el comportamiento de la floculación con otros polímeros, además de analizar la velocidad de sedimentación con cada uno de ellos y el comportamiento con sus minerales procesados.

Los Espesadores, son equipos que se utilizan para recuperar agua, a la vez que concentran los sedimentos, está conformado por un transmisor central y tiene una elevación automática del rastrillo, realiza la mezcla de la pulpa con el floculante. La separación en estos equipos ocurre por efecto gravitacional, por diferencias en densidad entre las dos fases que compone la pulpa del overflow y el polímero. De esta manera, las partículas sólidas se sedimentan y se retiran por el underflow del espesador de alta eficiencia, mientras que la fase líquida rebalsa al overflow de un tanque llamado sala, el cual retorno al molino SAG.

Por esta razón, este estudio reviste gran interés, ya que permitirá analizar el comportamiento de la sedimentación al utilizar diferentes floculantes. La función principal de estos compuestos es neutralizar las cargas electrostáticas de los contaminantes disueltos en el agua, lo que reduce las fuerzas de repulsión entre las partículas. Como resultado, estas pueden agruparse formando flóculos cada vez más grandes, que posteriormente pueden ser filtrados y eliminados con mayor facilidad.

En síntesis, se han expuesto los factores de comparación de sedimentación la cual se utiliza para eliminar los sólidos del agua con un alto contenido de sedimentos o turbidez. Cabe recalcar que el proceso de sedimentación es fácil de realizar y necesita un mínimo de material y habilidades. Sin embargo, requiere mucho tiempo y, por tal razón, se llevaron a cabo estas comparaciones viables de diferentes floculantes en la sedimentación según lo planteado por el área de planta de procesos.

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

- Comparar la sedimentación de floculación con los diferentes floculantes en el espesador OUTOTEC de la planta de procesos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar la velocidad de asentamiento con los diferentes floculantes.
- Determinar la dosis necesaria de floculante para obtener un correcto asentamiento de las partículas en tanque espesador.
- Procesar los datos que se obtendrán en la velocidad de sedimentación para ver si existe una diferencia significativa en ello.

III. MARCO TEÓRICO

Las operaciones mineras utilizan métodos convencionales de explotación a cielo abierto en el tajo de Limón Central, Tajo la Tigra y una combinación de explotación longitudinal a cielo abierto de arriba a abajo y de abajo a arriba en las minas subterráneas de Santa Pancha y Veta Nueva.

Tal como se muestra en la Figura 1, la explotación a cielo abierto permite la extracción directa del mineral mediante bancos, facilitando su transporte hacia la planta procesadora.



Figura.1 Vista de tajo a cielo abierto

De manera similar, la Figura 2 muestra la explotación subterránea, donde el mineral se extrae a través de galerías o rampas, también con destino a la planta para su procesamiento.



Figura.2 Vista de minado subterráneo

La planta de procesamiento de la mina El Limón emplea un circuito de lixiviación agitada con cianuro, seguido de adsorción en carbón activado, elución, electrodeposición y fundición para la obtención de doré. Procesa aproximadamente 500,000 toneladas por año (TPA), con una recuperación histórica del 94% al 95%.

En línea con sus prácticas de sostenibilidad ambiental, el sistema de planta opera utilizando un 70% de agua recuperada desde la presa de relaves y un 30% de agua fresca proveniente de las labores subterráneas. Esta estrategia permite optimizar el uso del recurso hídrico y minimizar el impacto ambiental asociado a sus operaciones. La presa de relaves desempeña un rol clave en este proceso, al facilitar la recuperación y reutilización eficiente del agua empleada en las distintas etapas de producción (ver Figura 3).



Figura.3 Vista general de la presa de relaves.

3.1. Tecnología de la sedimentación

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re-suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

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

Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta. (Farras, 2005)

3.2. Sedimentación de partículas floculentas

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas forman tamaño y densidad sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculante o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

3.3. Sedimentación por caída libre e interferida

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos. (Farras, 2005)

3.4. Separación solido-liquido

3.4.1 Separación solido-liquido física

Proceso químico que permite separar los sólidos contenidos en unas deyecciones de consistencia líquida y generar dos fracciones distintas, una sólida y otra líquida. La fracción sólida tiene una concentración de sólidos muchos más elevadas que las deyecciones originales y la fracción líquida, una concentración menor.

Para aumentar la eficacia de la separación puede utilizarse algún tipo de agente químico. Cuando en la separación solo se utilicen elementos mecánicos se hablará de separación física. Cuando se utilicen agentes químicos se hablará de separación fisicoquímica o tratamiento fisicoquímico, se engloba también procesos de precipitación de determinados compuestos y su separación. (Yunus & Cimbala , 2018)

3.4.2 Separación solido-liquido fisicoquímica

Los sistemas de depuración o tratamiento fisicoquímico se refieren a métodos de transferencia de partículas suspendidas en una solución a una fase sólida, separable mediante algún sistema de separación solido-liquido. Estas partículas suspendidas se caracterizan por tener un tamaño muy pequeño (coloides), y por no sedimentar de manera natural, debido a su tamaño y al hecho

de que tienen carga superficial (normalmente negativa), lo cual causa repulsión mutua y la tendencia a mantener la distancia entre sí en la suspensión. Para conseguir que estos coloides sean decantables se requiere la ayuda de agentes químicos para provocar la coagulación y/o la floculación.

Los coagulantes neutralizan las cargas eléctricas repulsivas y permite que se aglomeren formando flóculos, que sedimentaran...los floculantes facilitan la aglomeración o la agregación de las partículas, previamente coaguladas o no para formar flóculos más grandes y facilitar la sedimentación por gravedad o la separación por flotación.

Son coagulantes habituales el sulfato de aluminio, el sulfato de hierro o cloruro de hierro. Estos coagulantes producen unos flóculos voluminosos que cuando sedimentan, provocan un efecto añadido de barrido o arrastre de compuestos que encuentran en su trayectoria. Como floculantes encontramos una amplia familia de compuestos orgánicos con carga superficial, denominados polielectrolitos. Es conveniente que los precipitantes, los coagulantes o los floculantes no aporten compuestos que puedan afectar la calidad y el uso posterior de la fracción sólida separada. (Yunus & Cimbala , 2018)

3.5. Factores que influyen en la separación sólido-líquido

El primer factor para considerar es el tamaño de las partículas. Éste afecta a la velocidad de extracción de diversas formas. Cuanto más pequeño es el tamaño, mayor es el área de contacto entre el sólido y el líquido y, por lo tanto, más elevada es la velocidad de transferencia de material. Además, menor es la distancia que debe recorrer el soluto por el interior del sólido. Por otra parte, la superficie puede no ser utilizada de una forma totalmente eficaz con un material muy fino, ya que se podría dificultar la circulación del líquido; siendo, además, más difíciles la separación de las partículas del líquido y el escurrido del residuo sólido. Es aconsejable que la gama de tamaños de partículas sea pequeña, de forma que cada partícula requiera aproximadamente el mismo tiempo de atracción.

El segundo factor a considerar es el disolvente a utilizar. El líquido escogido deber ser un buen disolvente selectivo, con una viscosidad suficientemente baja para que pueda circular con facilidad.

En tercer lugar, debe de tenerse en cuenta la temperatura. En la mayoría de los casos, la solubilidad del material que se está extrayendo aumentará con la temperatura ocasionando una mayor velocidad de extracción. Es de esperar que el coeficiente de difusión aumente al elevarse la temperatura mejorándose también dicha velocidad.

Por última, el factor a considerar es la agitación del fluido. La agitación del disolvente es importante ya que aumenta la difusión de remolino, incrementando por lo tanto la transferencia de material desde la superficie de las partículas hacia la masa de disolución. Además, la agitación de las suspensiones de pequeñas partículas evita la sedimentación, y hace que se utilice de una forma más eficaz la superficie de contacto. (Yunus & Cimbala , 2018)

3.6. Tamaño de Partícula y Granulometría

La granulometría es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado o de un líquido multifásico. El análisis granulométrico es el conjunto de operaciones cuyo fin es determinar la distribución del tamaño de los elementos que componen una muestra.

La distribución del tamaño de las partículas es la representación, en forma de tablas, números o gráficos, de los resultados obtenidos experimentalmente. El análisis de la distribución estadística de la forma del grano a veces se asocia con el análisis del tamaño de partícula, mediante un sistema de correlación basado en el granulomorfismo de la muestra.

Noción de diámetro equivalente:

Lo que se llama tamaño de un grano es en realidad su diámetro equivalente (de), que se define como el diámetro de la esfera que se comportaría de manera idéntica durante la operación de análisis de tamaño que la partícula seleccionada.

Por ejemplo, una partícula laminar (como por ejemplo de arcilla, caolín o talco) no tiene el mismo tamaño dependiendo de si se mide con un granulómetro de sedimentación o con un granulómetro láser. Por lo tanto, siempre es importante indicar con la distribución de tamaño de una población de granos el método de medición utilizado.

Principales métodos de medición:

- Tamizado en seco: superior a 100 μm
- Tamizado en húmedo: superior a 30 μm
- Sedimentometría: 1 μm a 100 μm
- Centrifugación analítica: 0.01 μm a 20 μm
- Difracción láser: 0.01 μm a 3 mm
- Microscopía: 50 μm a 1 mm
- Potencial zeta: 3 nm a 10 μ

Sedimentometría

El método consiste en medir el tiempo de sedimentación que requieren los finos en una columna de agua, es decir, la velocidad de caída de las partículas.

A partir de la ley de stokes, se determina el tamaño de los granos, siendo:

- V: velocidad de sedimentación (m/s)
- G: aceleración de la gravedad
- $\Delta\gamma$: diferencia de densidad entre las partículas y el fluido (kg/m^3)
- M: viscosidad ($\text{pa}\cdot\text{s}$)

Hay diferentes métodos:

- Balanza de Martin
- Pipeta de andreasen

- Sedimentometría bajo rayos x

La escala de Martin mide la cantidad de material depositado en una bandeja en función del tiempo. Con la pipeta andreasen, la concentración de la suspensión se mide en un momento dado y en una altura determinada. La sedimentometría de rayos x mide la absorción de radiación por la suspensión a una altura determinada y un tiempo determinado que depende de la concentración.

3.6.1 Concentración de sólidos

Los términos diluido y concentrado hacen referencia a aspectos cualitativos que solo son útiles en su sentido general, por ejemplo, cuando decimos que una comida está demasiado salada o sosa, por eso es conveniente conocer la cantidad de soluto (valor cuantitativo) que hay en una disolución, esto es fundamental cuando hablamos de administración de fármacos a enfermos.

Decimos que la concentración de una disolución es la cantidad de soluto (sustancia disuelta) que hay en una cantidad de disolvente o bien de disolución. Existen diferentes formas de expresar la concentración de una disolución, cada una es adecuada en función del estado de agregación de las sustancias a combinar. Si combinamos un sólido (fácil de pesar) con un líquido usaremos "tanto por ciento en masa" o bien "concentración en masa". Si lo que combinamos son dos líquidos, sus volúmenes son fáciles de medir y para ellos será más recomendable utilizar "tanto por ciento en volumen". (Goldsby & Chang, 2012)

3.7 Viscosidad y densidad relativa del líquido

En los líquidos la viscosidad se debe a la fuerza de cohesión entre sus moléculas.

La viscosidad mide cuánta fuerza se requiere para deslizar una capa del fluido sobre otra, los fluidos tienden a seguir la ley de la gravedad, pero no todos se trasladan con la misma facilidad.

Si no fuera por la viscosidad, un líquido podría desplazarse a través de un tubo por su propia inercia sin que ninguna diferencia de presiones tuviera que

empujarlo entre los extremos del conducto. La unidad de medición de la viscosidad en el sistema internacional es el "poiseville", que se define como:

"La viscosidad que tiene un fluido cuando su movimiento rectilíneo uniforme sobre una superficie plana es retardado por una fuerza de un newton por metro cuadrado de superficie de contacto con el fluido y la velocidad de éste, respecto a la superficie es de un metro por segundo".

La densidad y la viscosidad son variables del proceso valiosas que se pueden usar para medir la calidad del producto, hacer conversiones entre masa y volumen, optimizar la eficiencia, identificar interfaces del producto y mucho más. Estas mediciones son necesarias en cualquier parte donde el valor del líquido, su calidad o su composición sean importantes. En pocas palabras, las mediciones de densidad y viscosidad ayudan a identificar un líquido, determinar cuánta cantidad del mismo hay y si su composición y medición son correctas. (Yunus & Cimbala , 2018)

3.8 Desempeño real e incomparable

- El mejor desempeño de las aplicaciones mediante calibraciones trazables, realizadas en condiciones combinadas de presión y temperatura
- Calibración acreditada con iso/iec
- Flexibilidad y compatibilidad de la instalación
- Los efectos del fluido, del proceso y los ambientales se minimizan para asegurar una excelente confiabilidad de la medición
- Compatible con muchos protocolos para la conexión al scd, plc y computadores de caudal
- Opcionalmente, carcasa del transmisor en acero inoxidable, resistente a la corrosión en ambientes hostiles
- Medición resistente y precisa de densidad y concentración
- Medición continua en tiempo real en tuberías, lazos de derivación y depósitos

- Medición precisa de la densidad ($\pm 1 \text{ kg/m}^3$) y concentración ($\pm 0,1\%$). Amplia gama de materiales resistentes a la corrosión para medición de líquidos agresivos.

3.9 Clarificación

3.9.1 Definición clarificación

Por lo general, un clarificador se usa para tratar pulpa de baja densidad con menos del 5 % de sólidos por peso y se centra en producir un agua transparente con una concentración de sólidos suspendidos inferior a 100 partes por millón (ppm). Para alcanzar estos niveles elevados de limpidez, es necesario que el flujo de la corriente ascendente (velocidad de ascenso) sea bajo para evitar el arrastre de las partículas finas.

Los clarificadores se caracterizan por tener tanques de mayor diámetro y poca profundidad con un sistema de transmisión y rastrillo más liviano. El proceso de clarificación emplea la fuerza de gravedad, pero a menudo se optimiza con un tratamiento químico. Para alcanzar niveles elevados de limpidez, es posible que haga falta usar un floculante y un coagulante.

El coagulante puede agregarse al principio para neutralizar la carga en la superficie de las partículas y permitir que se adhieran y formen coágulos. El floculante puede agregarse más tarde para unir todos los coágulos y formar flóculos.

Pueden surgir complicaciones en el caso de pulpas de alimentación de muy baja densidad (con una concentración de sólidos inferior al 1 %), en las que las partículas están demasiado dispersas para que el floculante o coagulante las acumule con facilidad. En estos casos, puede que haga falta un mecanismo mejorado de contacto con los sólidos, para el cual es necesario controlar las condiciones de corte con cuidado. Estos mecanismos garantizan una cantidad suficiente de energía para generar grandes coloides (que además se decantan con mayor rapidez), pero no una fuerza de corte lo suficientemente alta para separar los flóculos unidos por enlaces flojos.

El proceso de clarificación puede realizarse mediante dos métodos: estático y dinámico:

Clarificación estática: con este sistema es posible lograr la separación hasta del 90 % del aceite contenido en la mezcla por medio de la decantación dado que la densidad del aceite es menor que la del agua, este tiende a formar una capa en la parte superior.

Clarificación dinámica: consiste en la separación de los componentes que se encuentran en una mezcla aprovechando la fuerza centrífuga. Puede aplicarse a diferentes corrientes (mezclas) en el proceso, según el diseño de cada planta. Por ejemplo, el uso de la centrífuga para clarificar el lodo después de haber pasado por la sedimentación⁵ y el uso del separador dinámico de tres fases para clarificar el licor de prensa obtenido luego del prensado de la fruta.

Dentro del proceso de clarificación se encuentran los siguientes equipos:

- Tamiz: utilizado para remover los sedimentos e impurezas más gruesas (restos de fibras, material vegetal). Los hay de tipo circular y rectangular. Para su adecuado funcionamiento es importante verificar la consistencia del material que se separa y evitar taponamientos (chequear el estado de la malla). En la clarificación, sirve para tamizar el licor de prensa sin diluir y los lodos provenientes de los clarificadores.
- Pre clarificador: es uno de los equipos de separación estática más importantes en la sección de clarificación ya que puede apartar aproximadamente el 80 % del aceite que está contenido en el licor de prensa. Dispone de un sistema de calentamiento, recuperación de aceite y evacuación de lodos. Para lograr una buena eficiencia del mismo, es importante controlar la temperatura y la altura de la capa de aceite. Existen plantas que no cuentan con este equipo, en cuyo caso, la mayor cantidad de aceite es separada en el clarificador (sedimentador primario).
- Clarificador: llamado también sedimentador primario. Consiste en un tanque donde sucede la separación del aceite que quedó remanente en el lodo que

proviene del Pre clarificador. Cuenta con un sistema de calentamiento y agitación lenta. El tiempo de residencia (periodo requerido para que el fluido recorra el equipo desde la entrada hasta la salida) en el clarificador, depende de su geometría y generalmente es mayor que el del Pre clarificador.

- Secador de aceite: a este llega tanto el aceite recuperado del Pre clarificador como el del clarificador. Generalmente en las plantas se puede realizar de dos maneras: por medio de un secador atmosférico o por uno al vacío. El primero es un tanque con calentamiento que opera a 105 °C, temperatura en la que se espera que la mayor parte del agua contenida en el aceite se haya evaporado. El segundo es un tanque en el que el aceite se inyecta a presión en una cámara (compartimiento) en donde la presión baja bruscamente, provocando que el agua contenida en el aceite se evapore a una menor temperatura (aproximadamente 55 °C) que a la de ebullición del agua. El secado del aceite es una característica de calidad requerida por los clientes.
- Desarenador: como su nombre lo indica, es utilizado para remover arenas presentes en los lodos o en las corrientes producidas en la sección de clarificación. Usualmente está ubicado dentro del proceso, según la configuración de la planta. Consiste en un cilindro al que llega el fluido a alta velocidad, separando las arenas debido a su peso.
- Tanque de lodos: recibe los lodos provenientes del clarificador y tiene la función de almacenarlos, a la altura necesaria, para la buena operación de las centrífugas. A esta condición de proceso se denomina “dar cabeza de presión”. Los tanques de lodos pueden estar divididos en dos secciones (o ser dos tanques diferentes): en la primera se reciben los lodos provenientes. (Guerrero, Peña, & Cala, 2017)

3.9.2 Coagulación

El proceso de coagulación se basa en añadir al agua un electrolito, llamado coagulante, el cual es habitualmente una sal de hierro o aluminio. Su forma de actuación es la liberación de iones positivos capaces de atraer a las partículas

coloidales y neutralizar su carga o mediante la formación de productos de baja solubilidad que precipitan arrastrando los coloides.

La optimización del proceso de coagulación depende de tres factores determinantes: pH, agitación y tipo de coagulante. El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Para cada electrolito existe un margen de trabajo, fuera del cual se desaprovecha el producto y disminuye el rendimiento del proceso. Para la corrección de los márgenes de trabajo, es posible la adición de coadyuvantes, como cal viva o apagada, carbonato sódico, sosa cáustica o ácidos minerales.

Por otro lado, la agitación de la mezcla permitirá una distribución homogénea de los reactivos antes de que comience a formarse el coágulo. Teniendo en cuenta que el tiempo de coagulación es muy corto, esta mezcla debe realizarse en el menor tiempo posible mediante la aplicación de agitación mecánica. (Aguilar I et.al, 2002)

3.9.3 Floculación

La floculación pretende unificar los coágulos formados en grandes partículas. Para ello, se introduce un agente floculante y se somete el agua a tratar a una agitación muy lenta, que asegure la mezcla de los reactivos a la vez que no rompe los flóculos formados.

Los floculantes empleados pueden ser minerales, como la sílice activada, u orgánicos, caracterizados ambos por ser macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular. Los de origen sintético se obtienen a partir de monómeros simples sintéticos y los naturales, de menor eficacia, se obtienen a partir de extractos de algas, almidones y derivados de la celulosa.

Los más empleados son los minerales, también denominados polielectrolitos por sus cargas eléctricas.

Según su naturaleza, serán:

1. No iónicos
2. Aniónicos
3. Catiónicos

Su elección dependerá siempre de ensayos de laboratorio.

Los floculantes minerales actúan de forma similar a los coagulantes; rebajando la carga de las partículas para desestabilizarlas y unir las, o mediante la formación de puentes entre las partículas para crear un gran polímero que decanta por aumento de densidad.

Todo este proceso se estimula por una correcta floculación, una agitación lenta y temperaturas ambientales medias o altas.

En la práctica, estos procesos se realizan habitualmente en cámaras separadas:

1. La adición de coagulantes se efectúa en un mezclador rápido o coagulador dotado de hélice o turbina con unos tiempos de retención de 20 segundos a 5 minutos.
2. La floculación puede tener lugar en un floculador provisto de un sistema de agitación lenta o en el interior de un decantador, en el que, finalmente, se recogen en su fondo troncocónico los fangos decantados mediante un sistema de rasquetas y bomba de fangos.

El agua clarificada se elimina por la parte superior del decantador y se conduce al siguiente paso en su depuración, el tratamiento secundario o biológico. Para pequeñas depuradoras, existe la posibilidad de realizar todo el proceso en un mismo decantador separado anularmente en tres zonas, además de contar con un sistema de recirculación de fangos para mejorar el crecimiento de las partículas y facilitar su sedimentación.

En la actualidad, la práctica totalidad de las depuradoras de aguas residuales emplean estos sistemas de tratamiento, existiendo una serie de diseños de cámaras de mezcla y decantadores bastante estandarizados. Las mayores diferencias entre equipos se encuentran entre los compactos, que realizan todas las funciones en una misma cámara y, en los tratamientos de aguas más específicas, como las aguas residuales industriales. (Aguilar I et.al, 2002)

3.10 Espesamiento o sedimentación

El espesamiento o sedimentación es la separación solido-liquido de una pulpa para obtener dos subproductos, con diferentes densidades. La finalidad del proceso es aumentar la densidad de la pulpa de descarga con el fin de recuperar la mayor cantidad de agua en el proceso, para los sólidos es denominado espesamiento y para los líquidos se denomina clarificación.

La sedimentación clásica se realiza por fuerzas gravitacionales y se desarrolla en equipos llamados espesadores, son de forma cilíndrica, se alimenta por la parte superior y en el centro del tanque, llamado “feed well”, teniendo dos salidas, por el centro-fondo y por la periferia-superior del tanque. La apertura del centro-fondo descarga la pulpa espesa y la periferia-superior descarga el líquido limpio que rebalsa, teniendo la condición de baja velocidad para evitar el arrastre de mineral en suspensión.

La rastra se acciona desde el centro del tanque y giran con pequeñas revoluciones (5-8 rpm) llevando el mineral a la zona de descarga, en espesadores pequeños, tales como se pueden diseñar en Colombia (por la tasa de producción de las minas de pequeña y mediana escala) se realizan con fondo plano con una pequeña inclinación hacia el centro para facilitar la descarga del mineral.

Existen 4 zonas de sedimentación en continuo, la primera es la zona de líquido claro, la cual el líquido es recuperado en el rebalse, cuando se tiene mucho mineral fino en el rebalse esta zona se puede poner turbia a menos que se agregue un reactivo para flocular. La segunda es la zona de sedimentación obstaculizada, la cual consiste en una pulpa de concentración uniforme que sedimenta a velocidad constante, algunos autores describen que esta zona tiene la misma concentración de alimento, otros mencionan que no siempre es así y depende del flujo de sólidos de alimentación más que de la concentración.

La tercera es la zona de transición, ya que lleva la concentración desde la zona ii al valor del sedimento final, algunos autores describen que esta zona realmente no existe. La cuarta y última es la zona superior de compresión. La concentración de la descarga es la concentración de la parte inferior de la zona de

compresión y de ella depende la altura, ya que a mayor altura implica mayor peso de sólidos soportados por la red de flóculos produciendo un mayor gradiente de presión y por lo tanto un mayor gradiente de concentración.

El espesor de cada una de las zonas depende de las características de sedimentación de la pulpa y la capacidad de tratamiento, es la cantidad de sólidos que se mueven en las zonas por unidad de área y tiempo. La velocidad de sedimentación es función de la concentración de la pulpa y por lo tanto también la capacidad de tratamiento. (Villachica, 2017)

3.10.1 Leyes de la sedimentación

Todo evento físico es regido por leyes fenomenológicas que constituyen relaciones matemáticas entre las diversas variables que lo determinan. Ejemplos clásicos de esto son: la atracción gravitatoria entre los planetas, la interacción entre partículas cargadas eléctricamente, el flujo de líquidos en medios porosos y la velocidad de sedimentación de una partícula inmersa en un líquido, entre muchos otros.

En el caso de la sedimentación gravitatoria de una partícula en un líquido viscoso, las fuerzas actuantes se equilibran y su velocidad terminal alcanza un valor constante.

Matemáticamente el balance de fuerzas sobre la partícula puede expresarse como:

Peso de la partícula = Empuje de Arquímedes + Fuerza de fricción

Lo que resulta en la siguiente ecuación (1):

$$\text{Ecuación (1)} \quad \frac{4}{3}\rho_p\pi R^3 g = \frac{4}{3}\rho_f\pi R^3 g + 6\pi R\eta V$$

Donde:

R = radio de la partícula

ρ_p = densidad de la partícula

ρ_f = densidad del fluido

H = viscosidad del fluido

G = fuerza de la gravedad

V = velocidad terminal de sedimentación

La velocidad de sedimentación es proporcional a la diferencia de densidades de los materiales respectivos (partícula, fluido), a la fuerza de gravedad y al cuadrado del radio de la partícula e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. A pesar de las restricciones impuestas por el modelo propuesto para su deducción, esta sencilla ley fenomenológica constituye una importante herramienta teórica en la formulación y diseño de procesos industriales; tal es el caso del dimensionamiento de separadores líquido-líquido en los que la velocidad de asentamiento y de ascenso de los líquidos pesado y liviano en una fase continua pueden ser calculados a partir de la ley de Stokes y luego ser comparada con los tiempos de residencia de los líquidos en el equipo con el propósito de garantizar la separación de ambas. Igualmente, la ley Stokes puede emplearse para estimar la velocidad de caída de una partícula en la floculación de sólidos suspendidos en procesos de sedimentación y en la separación de agua emulsionada en la deshidratación del petróleo, entre otros. (Villachica, 2017)

3.11 Espesadores industriales

Los espesadores están disponibles montados sobre puente y montados sobre masa en diferentes tipos y tamaños dependiendo del tipo de servicio en la industria química, minera, de pulpa y papel, y para tratamiento de desechos industriales. Las transmisiones son de viga. Los tipos de columna soportada por celosía o por el centro o de tracción utilizan tanta transmisión hidráulica con engranaje planetario dentado con levantamiento hidráulico y transmisión convencional.

Están disponibles dispositivos automáticos de levantamiento rastrillado y bombeado de columna central. Brazos especiales producidos para fangos densos. Los engranajes principales en cabezales de transmisión son de acero especial, diseñados para resistencia de desgaste, durabilidad de la superficie y fuerza para

aplicaciones de alto par. Los espesadores de tratamiento de desperdicio también están disponibles con bombeo de columna central, los cuales eliminan la necesidad de túneles costosos.

Diseñados para manejar mineral de hierro, cobre, uranio de carbón, bauxita, etc., así como varias aplicaciones que incluyen; lixiviación, concentrados, eliminación de residuos, clarificación, decantación contra corriente, etc., en diversas industrias como cementeras, refinerías, fundidoras, plantas de limpieza de gases, arandelas, entre otras.

Existen diferentes clasificaciones y tipo de espesadores (tanques espesadores) dependiendo del sistema de movimiento de las rastras y del tipo de cementación con que se cuente, entre los principales se destacan. (Juan, 2007)

Tipo de mecanismo

Normal (espesador de puente)

Se caracteriza por tener un puente a través del diámetro del tanque el cual soporta el mecanismo y las rastras. Es el más económico y se recomienda su uso para diámetros de 100 ft como se refleja en la figura 4.



Figura.4 Espesador industrial

Columna

El mecanismo y las rastras se encuentran sostenidas por una columna central ver figura 5, generalmente de acero reforzada con concreto. Se recomienda su uso para diámetros mayores a 100 pies. Más económico a diámetros mayores de 30.5 m.

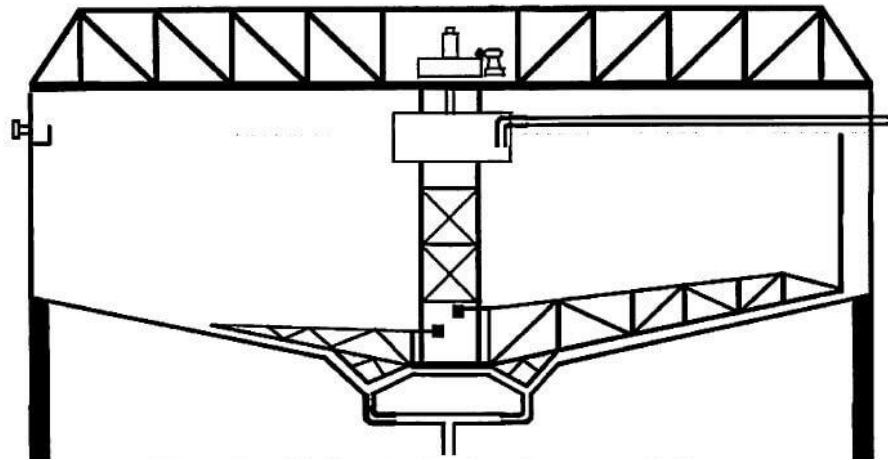


Figura.5 Espesador de columna

Multiespesador

Consiste de dos o más espesadores montados uno encima del otro con un mecanismo de rastras para cada tanque, su principal ventaja es que requieren de poco espacio para su instalación, pero se debe trabajar con bajas concentraciones de sólidos. El arreglo permite realizar un lavado en contracorriente en un espacio muy reducido, pero requiere de cuidados y protección de torque adecuada pues en caso de falla mecánica se dejaría el total de los espesadores fuera de operación como muestra la figura 6.

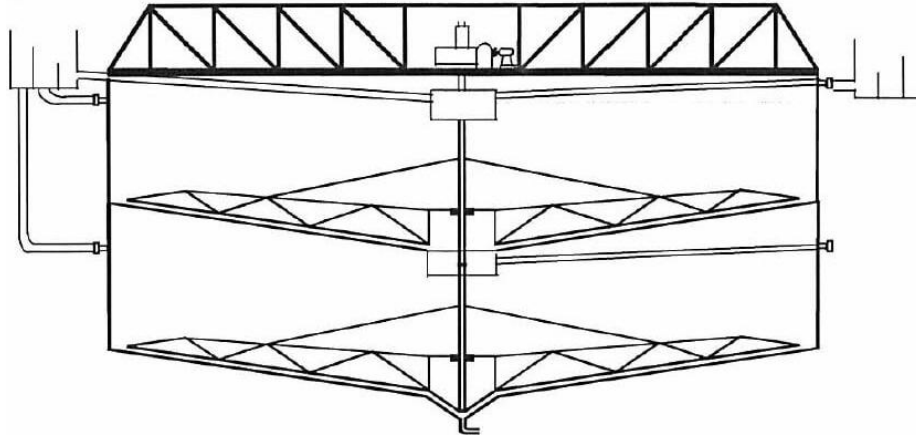


Figura.6 Multiespesador

Espesadores de alta capacidad.

Se desarrollaron en 1975 impulsados por la introducción de floculantes aniónicos más potentes, alcanzando áreas unitarias de 3 a 5 ft²/t/día. La alta capacidad la define el tipo de floculante, dosificación y forma de alimentación del mismo.

En un espesador normal la velocidad periférica de los rastrillos es de 10 m/min, en los de alta capacidad se recomienda hasta 20m/min, para evitar alto torque y porcentajes de solidos erráticos. Es recomendable instalar un motor excedido en un 50% para que no exista problema si se requiere de aumentar la velocidad.

Este tanque cuenta con un sistema especial de dosificación de floculante y un pozo de alimentación profundo. Espesa a porcentajes de solidos del orden de 60 a 70%, requiriendo por lo anterior un sistema más reforzado de rastras.

IV. Hipótesis

Hipótesis nula

El tanque espesador no necesita cambio de floculante porque realiza la velocidad de asentamiento con mayor rapidez y con mayor altura.

Hipótesis alternativa

El tanque espesador necesita cambio de floculante porque no realiza la velocidad de asentamiento con mayor rapidez y con mayor altura.

V. Metodología

La etapa experimental de esta investigación se realizó en mina El Limón en el laboratorio de Metalurgia con ayuda del personal capacitado.

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información, la investigación es un estudio descriptivo.

1. Se trabajó con varias muestras tomadas del rebose de los ciclones, las cuales sirven como alimentación al espesador, según los diferentes minerales procesados por la mina El Limón.
2. Se utilizaron diversos materiales y equipos, los cuales se mencionan en el acápite 4.1.
3. Se prepararon tres polímeros diferentes a concentraciones de 30 g/tm y 70 g/tm, y se tomó una muestra del polímero que se utiliza en el área del espesador de la planta de procesos.
4. Se realizaron cálculos de volumen para determinar las dosificaciones necesarias del polímero preparado en las muestras.
5. Se efectuaron diferentes pruebas en probeta para determinar la velocidad de sedimentación de cada muestra tomada del rebose de los ciclones.

De acuerdo a los resultados obtenidos de cada paso de la fase experimental se procesó toda la información en base con el cumplimiento de los objetivos específicos planteados para analizar las velocidades de sedimentación de cada muestra.

5.1 Materiales

En la siguiente lista se encontrarán los materiales y equipos que ayudaron con la realización de las pruebas de sedimentación a nivel de laboratorio a partir de los polímeros a analizados, los cuales fueron:

- 5 probetas de 1000 ml

- 1 Beaker de 1000 ml
- 4 Beaker de 40 ml
- 1 imán
- 1 cuchara
- 1 bandeja de acero inoxidable
- 1 balde de 10 lts
- 4 cubetas de muestras de 25 mm
- 5 frascos de plásticos

Equipos:

- Agitador magnético
- Balanza
- Balanza marcy
- Filtro de secado al vacío
- Horno
- Colorímetro portátil
- Cronómetro

Reactivos:

- Flocculante aniónico chino
- Flocculante aniónico Baydes 3X1
- Flocculante catiónico Baydes HC906

5.2 Métodos

Este diseño tiene repeticiones experimentales que se realizaron en orden aleatorio completo, pues no se han tenido en cuenta otros factores de interés. Si durante el estudio se hacen N pruebas, éstas se deben realizar al azar, de forma que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos.

Según el paradigma científico la investigación es de tipo **Descriptiva**, ya que se efectúa cuando se desea describir, en todos sus componentes principales, una

realidad. Mediante este tipo de investigación, que utilizo el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Por otra parte, sirve para ordenar, ordenar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio, y a la vez, puede servir de base para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad.

Factores de estudio:

Para realizar el presente estudio, se decidió por parte de la empresa hacer un diseño experimental de forma aleatoria.

Se obtuvo 4 factores de estudio:

Para el primer caso mostrado en la tabla n°1:

Se obtuvo:

Factores		Dominio experimental		Unidad
		Bajo	Alto	
A	Tiempo	10	30	min
B	Asentamiento	10	35	cm
C	Mineral	Subterráneo	Tajo	
D	Concentración	30	70	g/TM

Tabla No. 1 Factores y dominio experimental

Para el segundo caso mostrado en la tabla n°2:

Se obtuvo:

Factores		Dominio experimental			Unidad
		Bajo	Medio	alto	
A	Tiempo	10	20	30	min
B	Velocidad	30	25	20	cm
C	Concentración	80	90	100	g/TM

Tabla No. 2 Factores y dominio experimental

Tratamientos:

Para el caso 1 mostrado en la tabla n°3:

Tratamientos	Factores codificados							
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	-1	1	-1	1	10	10	Subterráneo	30
2	1	-1	-1	1	30	35	Tajo	30
3	-1	1	-1	1	10	10	Subterráneo	30
4	1	-1	-1	1	30	35	Tajo	30
5	-1	1	1	-1	10	10	Subterráneo	30
6	1	-1	1	-1	30	35	Tajo	30
7	-1	1	1	-1	10	10	Subterráneo	70
8	1	-1	1	-1	30	35	Tajo	70
9	-1	1	-1	1	10	10	Subterráneo	70
10	1	-1	-1	1	30	35	Tajo	70
11	-1	1	-1	1	10	10	Subterráneo	70
12	1	-1	-1	1	30	35	Tajo	70

Tabla No. 3 Composición de las fórmulas experimentales

Para el caso 2 mostrado en la tabla n°4:

Tratamientos	Factores codificados					
	A	B	C	A	B	C
1	-1	1	-1	10	30	80
2	1	-1	1	20	25	90
3	-1	1	-1	30	20	100

Tabla No. 4 Composición de las fórmulas experimentales

Variables

Variables cuantitativas

- ✓ Tiempo
- ✓ Concentración

Variables cualitativas

- ✓ Velocidad de asentamiento

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Caso 1:

Tratamiento 1:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino de laboratorio, aplicando una dosis de 30 g/TM a una muestra de mineral subterráneo. Se observó su comportamiento de sedimentación durante un período de 10 minutos, registrando la evolución de la interfaz sólido-líquido.

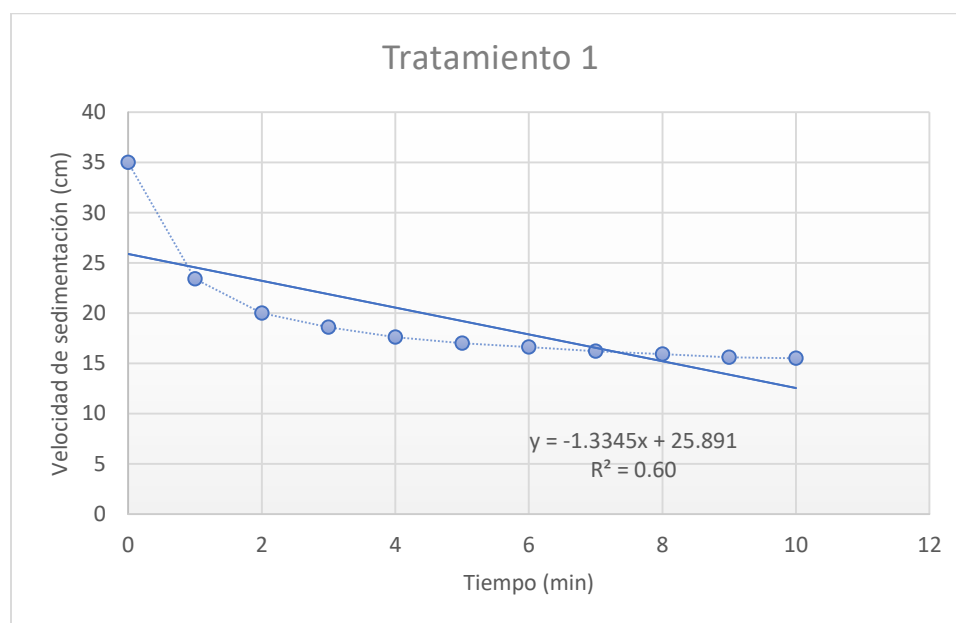


Figura.7 Muestra Subterránea

Como se muestra en la Figura 7, la altura de la interfaz disminuye progresivamente con el tiempo. A partir de los datos obtenidos, se construyó una

curva de sedimentación (altura vs. tiempo), y se calculó la velocidad de sedimentación mediante la derivada de la altura respecto al tiempo obteniendo un valor de 1.95 cm/min. Esta velocidad corresponde al tramo lineal inicial de la curva, donde el asentamiento de sólidos es más representativo y constante.

Tratamiento 2:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino de laboratorio con una dosificación de 70 g/TM sobre una muestra de mineral proveniente del tajo. El comportamiento de sedimentación fue monitoreado durante un período de 30 minutos, observándose la evolución de la interfaz sólido-líquido para evaluar la eficiencia del proceso de floculación.

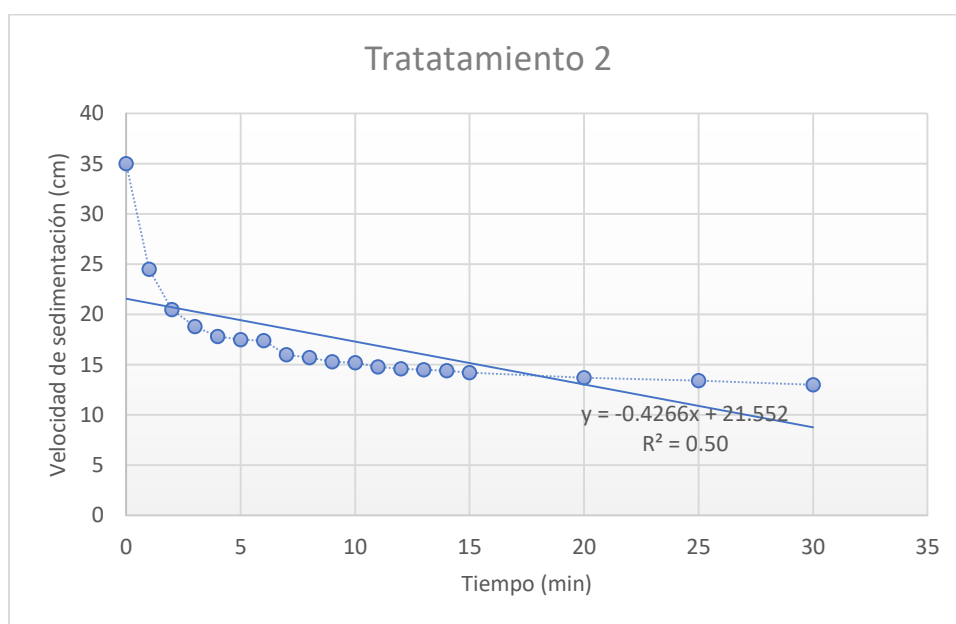


Figura.8 Muestra de Tajo

Para la muestra de mineral proveniente del tajo, al aplicar una dosificación de 30 g/TM de polímero aniónico chino, se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.73 cm/min.

Tratamiento 3:

Se realizó la prueba con el floculante baydes 3x1 preparado en laboratorio con una dosis de 30 g/TM a una muestra de mineral subterránea, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 10 minutos.

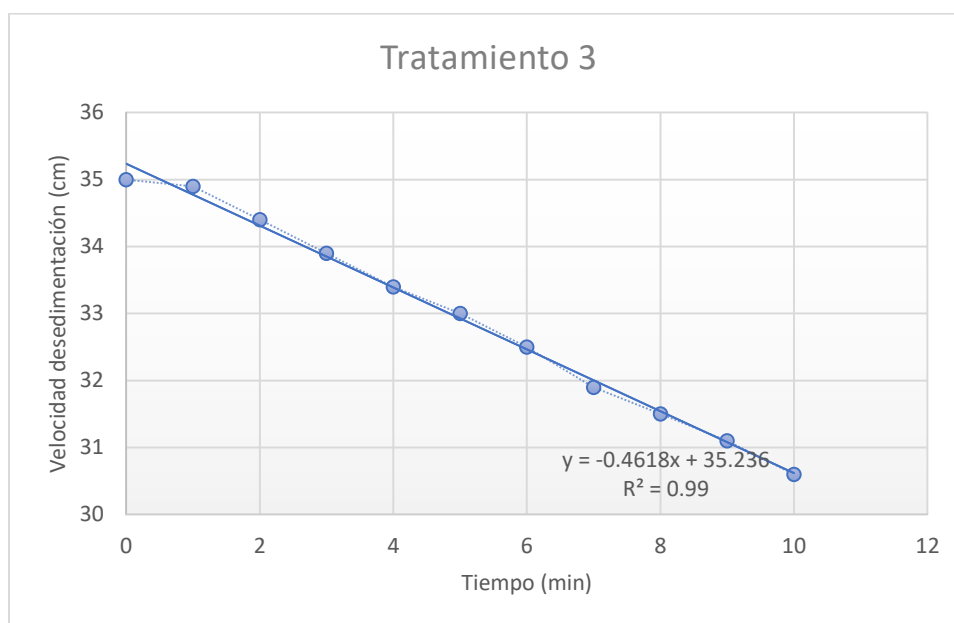


Figura.9 Muestra Subterránea

Para muestra subterránea dosificando 30 g/TM de polímero baydes 3x1, la velocidad de sedimentación es de 0.44 cm/min.

Tratamiento 4:

Se realizó la prueba con el floculante baydes 3x1 preparado en laboratorio con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral de tajo, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 30 minutos.

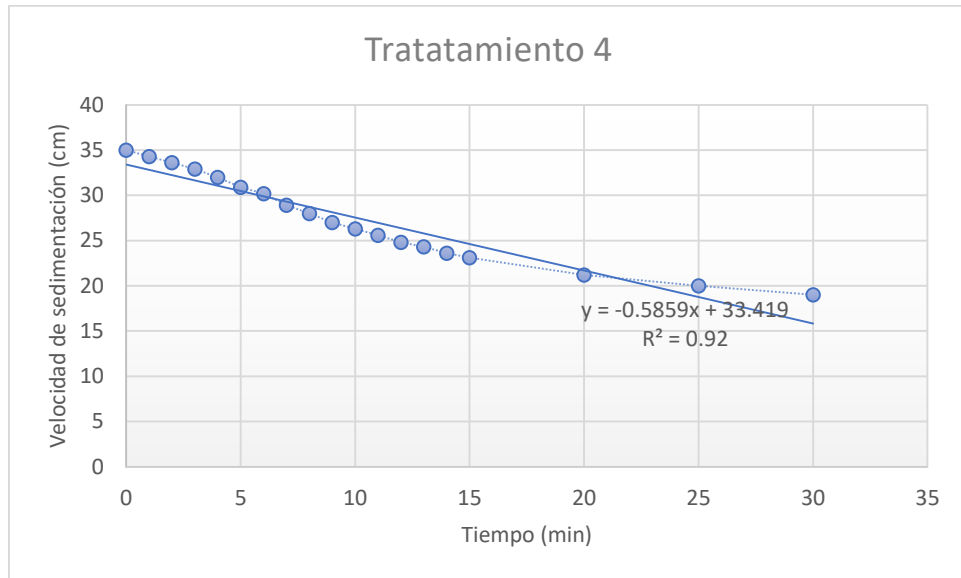


Figura.10 Muestra de Tajo

Para muestra de Tajo dosificando 30 g/TM de polímero baydes 3x1, la velocidad de sedimentación es de 0.63 cm/min.

Tratamiento 5:

Se realizó la prueba con el floculante baydes HC906 preparado en laboratorio con una dosis de 30 g/TM a una muestra de mineral subterránea, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 10 minutos.

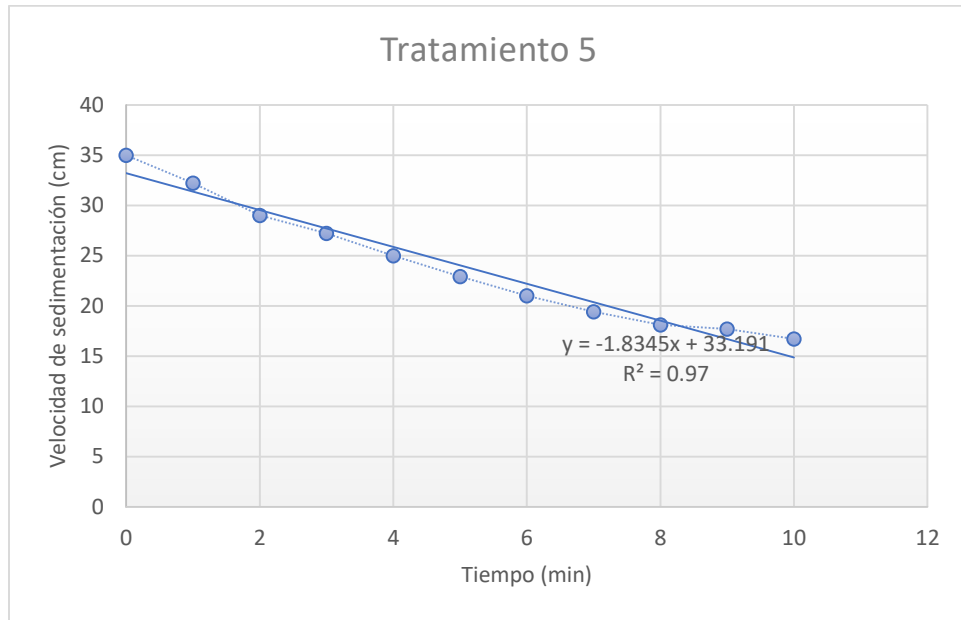
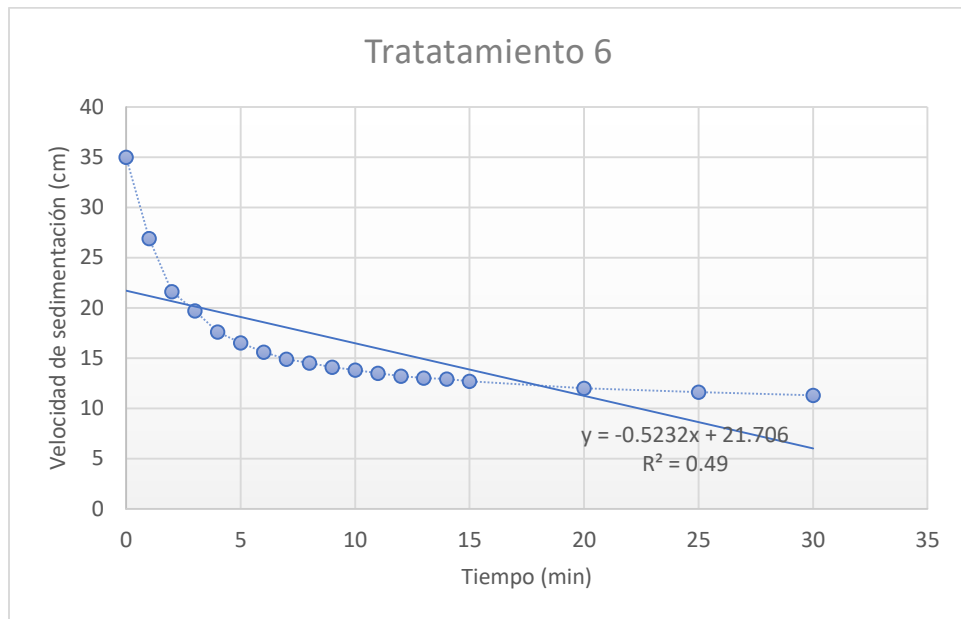


Figura.11 Muestra Subterránea

Para muestra subterránea dosificando 30 g/TM de polímero baydes HC906, la velocidad de sedimentación es de 1.83 cm/min.

Tratamiento 6:

Se realizó la prueba con el floculante baydes HC906 preparado en laboratorio con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral de tajo, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 30 minutos.



Para muestra de Tajo dosificando 30 g/TM de polímero baydes HC906, la velocidad de sedimentación es de 0.79 cm/min.

Tratamiento 7:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral subterránea, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 10 minutos.

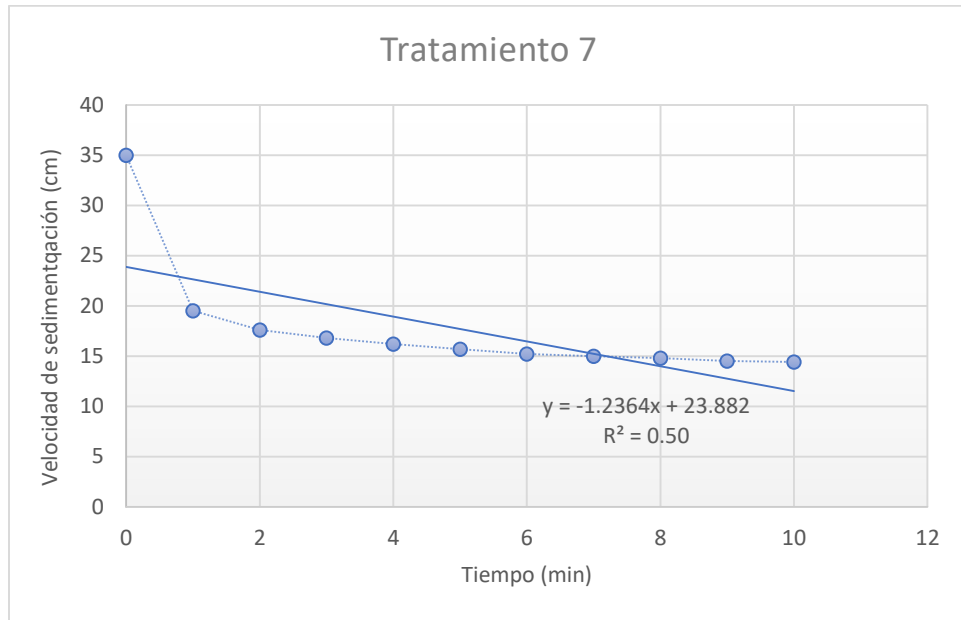
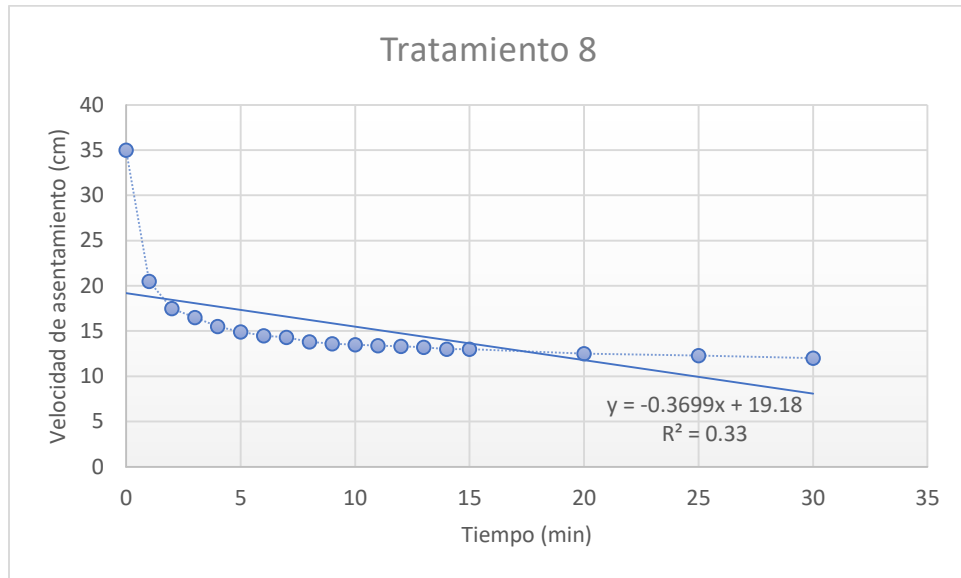


Figura.13 Muestra Subterránea

Réplica para muestra subterránea dosificando 70 g/TM de polímero aniónico chino, la velocidad de sedimentación es de 2.06 cm/min.

Tratamiento 8:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral de tajo, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 30 minutos.



Réplica para muestra de Tajo dosificando 70 g/TM de polímero aniónico chino, la velocidad de sedimentación es de 0.77 cm/min.

Tratamiento 9:

Se realizó la prueba con el floculante baydes 3x1 preparado en laboratorio con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral subterránea, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 10 minutos.

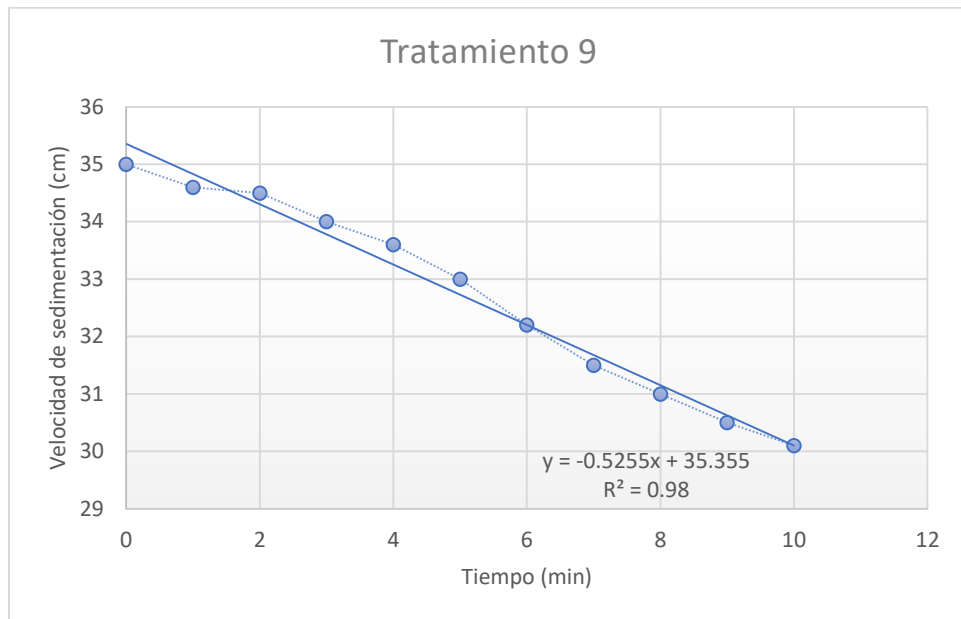


Figura.15 Muestra Subterránea

Replica para muestra subterránea dosificando 70 g/TM de polímero baydes 3x1, la velocidad de sedimentación es de 0.49 cm/min.

Tratamiento 10:

Se realizó la prueba con el floculante baydes 3x1 preparado en laboratorio con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral tajo, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 30 minutos.

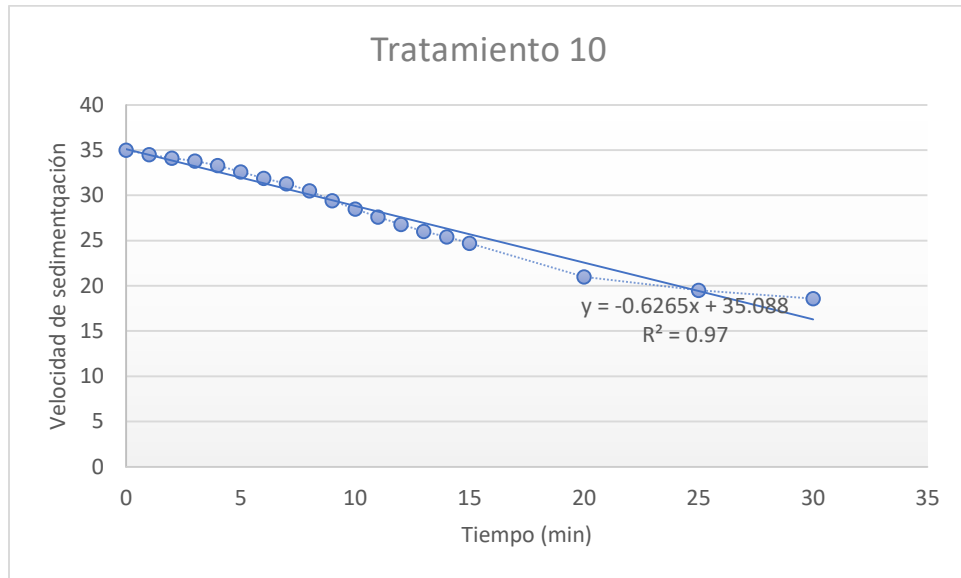


Figura.16 Muestra de Tajo

Replica para muestra de tajo dosificando 70 g/TM de polímero baydes 3x1, la velocidad de sedimentación es de 0.55 cm/min.

Tratamiento 11:

Se realizó la prueba con el floculante baydes HC906 preparado en laboratorio con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral subterránea, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 10 minutos.

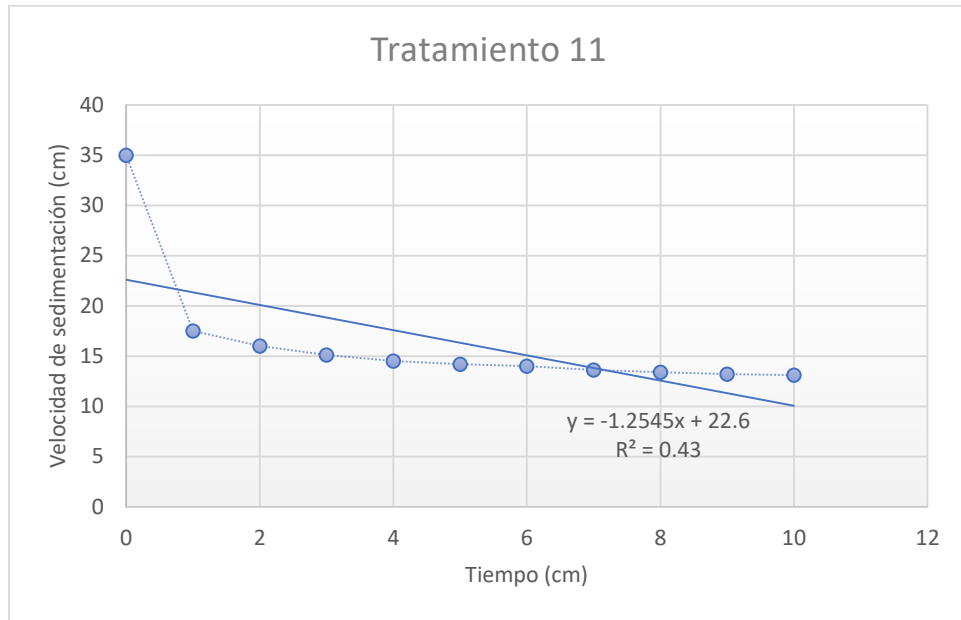


Figura.17 Muestra Subterránea

Replica para muestra subterránea dosificando 70 g/TM de polímero baydes HC906, la velocidad de sedimentación es de 2.19 cm/min.

Tratamiento 12:

Se realizó la prueba con el floculante baydes HC906 preparado en laboratorio con una dosis de 70 g/TM a una muestra de mineral tajo, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 30 minutos.

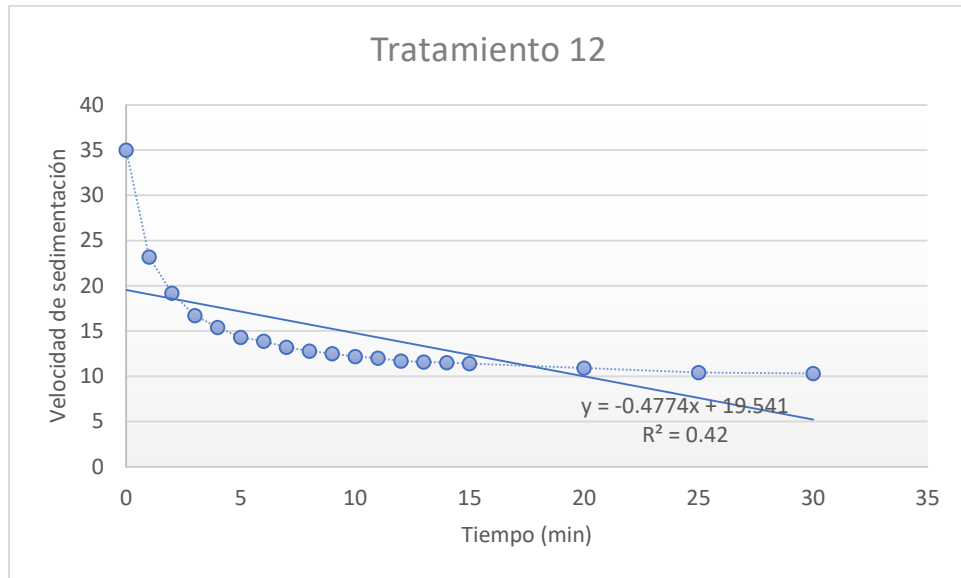


Figura.18 Muestra de Tajo

Replica para muestra de Tajo dosificando 70 g/TM de polímero baydes HC906, la velocidad de sedimentación es de 0.82 cm/min.

Caso 2:

Tratamiento 1:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino con una dosis de 80 g/TM a una muestra de mineral tajo tigre, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 10 minutos.

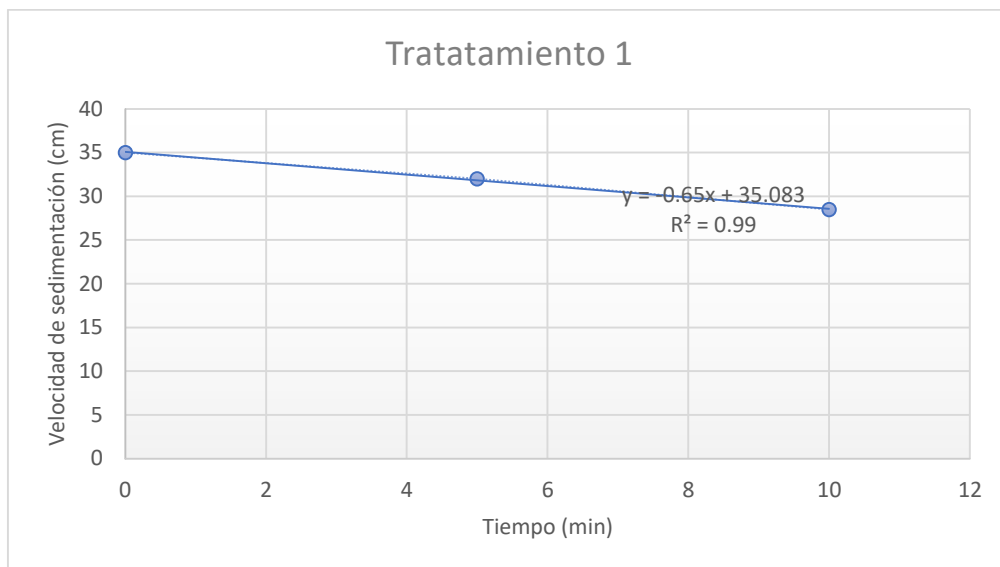


Figura.19 Muestra de Tigua

Para muestra de Tajo Tigua dosificando 80 g/TM de polímero aniónico chino, la velocidad de sedimentación es de 0.65 cm/min.

Tratamiento 2:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino con una dosis de 90 g/TM a una muestra de mineral de tajo tigua, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 20 minutos.

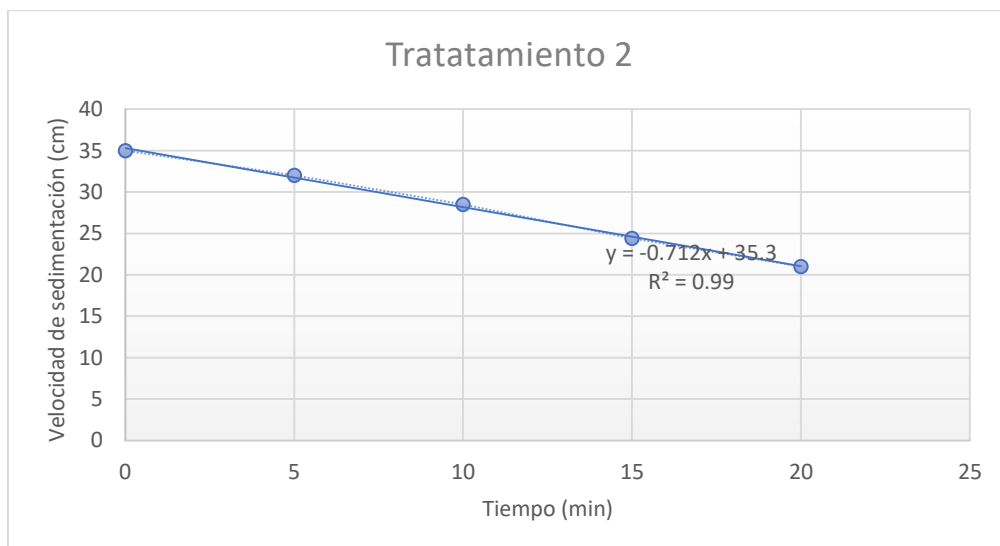


Figura.20 Muestra de Tigrá

Para muestra de Tajo Tigrá dosificando 90 g/TM de polímero aniónico chino, la velocidad de sedimentación es de 0.70 cm/min.

Tratamiento 3:

Se realizó la prueba con el floculante aniónico chino con una dosis de 100 g/TM a una muestra de mineral de tajo tigrá, donde se observó su comportamiento de sedimentación en los 30 minutos.

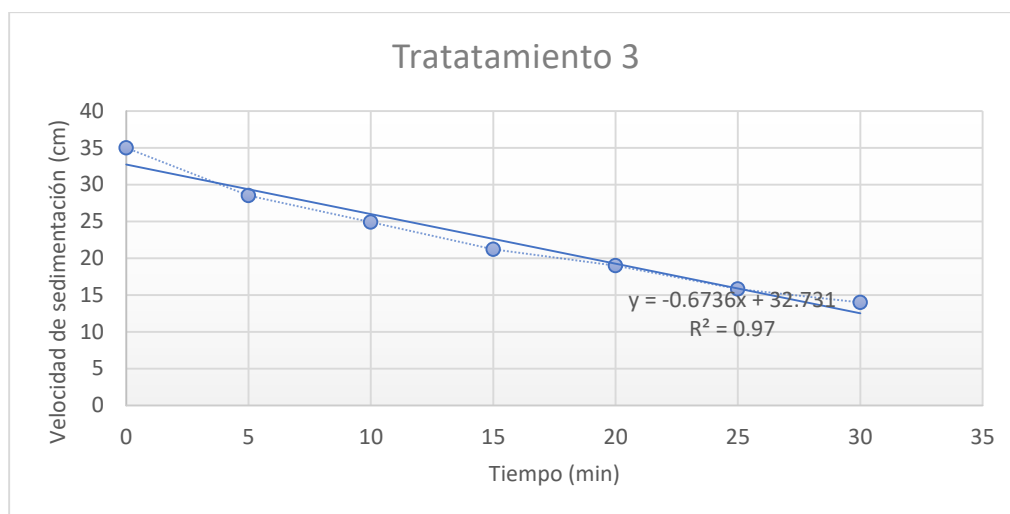


Figura.21 Muestra de Tigrá

Para muestra de Tajo Tigrá dosificando 100 g/TM de polímero aniónico chino, la velocidad de sedimentación es de 0.70 cm/min.

Análisis de tabla ANOVA:

En la tabla n°5 se muestra el análisis de la eficiencia de los 3 tipos de floculantes utilizados en las pruebas para una muestra subterránea:

Muestra subterránea

Tipo	Aniónico chino	Baydes 3X1	Baydes HC906
Dosis 30	0.73	0.53	0.79
Dosis 70	0.77	0.55	0.82

Tabla No. 5 Muestra subterránea

ANÁLISIS DE VARIANZA SUBTERRANEO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0.00	1.00	0.00	27.00	0.04	18.51
Columnas	0.08	2.00	0.04	782.33	0.00	19.00
Error	0.00	2.00	0.00			
Total	0.08	5.00				

Tabla No. 6 ANOVA de muestra subterránea

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial mostrado en la tabla n°6. para evaluar el efecto de dosificaciones (30 y 70 g/TM) y tipos de floculante (Aniónico chino, Baydes 3X1 y Baydes HC906) sobre la velocidad de sedimentación de una muestra de mineral subterráneo. Los resultados mostraron que tanto el tipo de floculante como la dosis tienen efectos estadísticamente significativos:

El tipo de floculante presentó un efecto altamente significativo ($F = 782.33$, $p = 0.00$), indicando diferencias marcadas entre productos.

La dosis también mostró un efecto significativo ($F = 27.00$, $p = 0.04$), aunque de menor magnitud comparado con el tipo de floculante.

En la tabla n°7 se muestra el análisis de la eficiencia de los 3 tipos de floculantes utilizados en las pruebas para una muestra Tajo:

Muestra de Tajo

Tipo	Aniónico chino	Baydes 3X1	Baydes HC906
Dosis 30	1.95	0.44	1.83
Dosis 70	2.06	0.49	2.19

Tabla No. 7 ANOVA muestra Tajo

ANÁLISIS DE VARIANZA TAJO

Origen de las variaciones	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	0.05	1.00	0.05	3.33	0.21	18.51
Columnas	3.17	2.00	1.59	117.35	0.01	19.00
Error	0.03	2.00	0.01			
Total	3.24	5.00				

Tabla No. 8 ANOVA muestra Tajo

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial mostrado en la tabla n°8. para evaluar el efecto de tres tipos de floculante (Aniónico chino, Baydes 3X1 y Baydes HC906) y dos niveles de dosificación (30 y 70 g/TM) sobre la velocidad de sedimentación del mineral de tajo.

Los resultados mostraron que el tipo de floculante tiene un efecto altamente significativo sobre la velocidad de sedimentación ($F = 117.35$, $p = 0.01$), mientras que la dosis no presentó un efecto estadísticamente significativo ($F = 3.33$, $p = 0.21$).

Por lo tanto, la selección del tipo de floculante es el principal factor a considerar para optimizar la sedimentación en muestras de tajo. Aunque el aumento de dosis mejora levemente los resultados, esta mejora no es suficiente para justificar un incremento en el consumo sin una evaluación económica adicional.

VII. CONCLUSIÓN

Se evaluaron tres floculantes: Aniónico chino, Baydes 3X1 y Baydes HC906. Los resultados permitieron identificar que el Baydes HC906 presentó las mayores velocidades de sedimentación en ambos tipos de mineral, alcanzando hasta 2.19 cm/min en el mineral de tajo y 0.82 cm/min en el mineral subterráneo. En cambio, Baydes 3X1 mostró el rendimiento más bajo, con velocidades por debajo de 0.55 cm/min en todos los casos. Esto evidencia que el tipo de floculante influye directamente en la eficiencia del proceso de espesamiento.

Se evaluaron dos niveles de dosificación entre 30 g/TM y 70 g/TM. En el caso del mineral subterráneo, el aumento de la dosis generó una mejora moderada en la velocidad de sedimentación y se encontró una diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, en el mineral de tajo, el aumento de dosis no produjo una mejora sustancial, y el análisis estadístico indicó que la dosis no influye significativamente en ese caso ($p = 0.21$).

Por tanto, se concluye que una dosis de 30 g/TM es suficiente para alcanzar una sedimentación eficiente, especialmente cuando se utiliza un floculante adecuado.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA bifactorial) para evaluar la influencia estadística del tipo de floculante y la dosis. Los resultados demostraron que en ambas muestras el tipo de floculante tiene un efecto altamente significativo sobre la velocidad de sedimentación ($p \leq 0.01$).

Esto confirma que la selección del tipo de floculante es el factor más determinante en la eficiencia del proceso de sedimentación, mientras que el aumento de la dosis debe evaluarse con criterio técnico y económico, dado que no siempre representa una mejora significativa.

En base en los análisis estadísticos realizados (ANOVA), se cumple la hipótesis alternativa, ya que se evidenciaron diferencias significativas en las velocidades de sedimentación entre los distintos tipos de floculantes evaluados.

VIII. RECOMENDACIÓN

- Se recomienda hacer las pruebas en el campo de los floculantes nuevos ofertados a la planta y ver su comportamiento con los diferentes minerales procesados en el molino SAG.
- Considerando que el aumento de dosis a 70 g/TM no generó mejoras estadísticamente significativas en el caso del mineral de tajo, se sugiere utilizar 30 g/TM como dosificación estándar, realizando ajustes solo en función de la calidad del agua, características del mineral o condiciones particulares del proceso.
- Finalmente, se sugiere realizar un análisis de costo-beneficio que incluya el rendimiento del floculante, su precio por tonelada y el consumo estimado, con el fin de seleccionar la alternativa que combine eficiencia técnica y viabilidad económica en las condiciones reales de operación de la planta.
- El mineral tajo la tigre es un mineral muy arcilloso y difícil de asentar por lo que es necesario mantener un buen porcentaje de sólidos en overflow de los ciclones a la hora de procesarlo esto debe variar entre 16-20%, ya que si esta cantidad es superada el floculante utilizado no hará su reacción y el espesador no hará una correcta clarificación.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Carlos Villachica (2017). Asentamiento y Espesadores. Elementos Fundamentales en la Separación de los Minerales. (1ª. ed)

Cengel Yunus, John. (2018). Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones (4ª. ed) McGraw Hill. México

Eduardo R. Abril. (2008). Introducción a la metalurgia: conceptos fundamentales, prácticas metalográficas y aplicaciones prácticas... Volumen 5 de Ciencia y Tecnología. (ed. Marymar) Universidad de Texas

F. R. Morral, Emilio Jimeno, P. Molera (1982). Metalurgia General I, Volumen 1. (ed. Ilustrada).

Kenneth Goldsby, Raymond Chang. (2012). Chemistry (ed. 11 Ilustrada)

Roberto Alfaro Alejo/ (2011). Erosión y Transporte de Sedimentos. (2ª. ed). Universidad Nacional de Altiplano, Puno, Perú.

Vargas Juan/ (2007). Metalurgia del Oro y la Plata. (2da.ed).

Farras, L. P. (2005). Teoría de la Sedimentación.

Juan, V. (2007). Metalurgia del Oro y la Plata.

X. ANEXOS

Caso 1:

Tratamiento 1:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico a 30 g/TM:

Tiempo	Floc. Aniónico
min	Tratamiento 1
0	35
1	23.4
2	20
3	18.6
4	17.6
5	17
6	16.6
7	16.2
8	15.9
9	15.6
10	15.5

**Tabla No. 9 Dosificación de 30 g/TM floculante aniónico en muestra
subterránea**

Tratamiento 2:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico a 30 g/TM:

Tiempo	Floc. Aniónico
min	Tratamiento 2

0	35
1	24.5
2	20.5
3	18.8
4	17.8
5	17.5
6	17.4
7	16
8	15.7
9	15.3
10	15.2
11	14.8
12	14.6
13	14.5
14	14.4
15	14.2
20	13.7
25	13.4
30	13

Tabla No. 10 Dosificación de 30 g/TM floculante aniónico en muestra de Tajo

Tratamiento 3:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes 3x1 a 30 g/TM:

Tiempo	Baydes 3x1
min	Tratamiento
	3
0	35

1	34.9
2	34.4
3	33.9
4	33.4
5	33
6	32.5
7	31.9
8	31.5
9	31.1
10	30.6

Tabla No. 11 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra de subteranea

Tratamiento 4:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes 3x1 a 30 g/TM:

Tiempo	Baydes 3x1
	Tratamiento
min	4
0	35
1	34.3
2	33.6
3	32.9
4	32
5	30.9
6	30.2
7	28.9
8	28
9	27

10	26.3
11	25.6
12	24.8
13	24.3
14	23.6
15	23.1
20	21.2
25	20
30	19

Tabla No. 12 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra de Tajo

Tratamiento 5:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes HC906 a 30 g/TM:

Tiempo	Baydes HC906
min	Tratamiento 5
0	35
1	32.2
2	29
3	27.2
4	25
5	22.9
6	21
7	19.4
8	18.1
9	17.7

10	16.7
----	------

Tabla No. 13 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes HC906 en muestra de subterránea

Tratamiento 6:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes HC906 a 30 g/TM:

Tiempo	Baydes HC906
min	Tratamiento 6
0	35
1	26.9
2	21.6
3	19.7
4	17.6
5	16.5
6	15.6
7	14.9
8	14.5
9	14.1
10	13.8
11	13.5
12	13.2
13	13
14	12.9
15	12.7
20	12
25	11.6

30	11.3
----	------

Tabla No. 14 Dosificación de 30 g/TM floculante baydes HC906 en muestra de tajo

Tratamiento 7:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico a 70 g/TM:

Tiempo	Floc. Aniónico
min	Tratamiento 7
0	35
1	19.5
2	17.6
3	16.8
4	16.2
5	15.7
6	15.2
7	15
8	14.8
9	14.5
10	14.4

Tabla No. 15 Dosificación de 70 g/TM floculante aniónico en muestra subterránea

Tratamiento 8:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico a 70 g/TM:

	Floc.
Tiempo	Aniónico

min	Tratamiento 8
0	35
1	20.5
2	17.5
3	16.5
4	15.5
5	14.9
6	14.5
7	14.3
8	13.8
9	13.6
10	13.5
11	13.4
12	13.3
13	13.2
14	13
15	13
20	12.5
25	12.3
30	12

Tabla No. 16 Dosificación de 70 g/TM floculante aniónico en muestra de tajo

Tratamiento 9:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes 3x1 a 70 g/TM:

Tiempo	Baydes 3x1
--------	------------

min	Tratamiento 9
0	35
1	34.6
2	34.5
3	34
4	33.6
5	33
6	32.2
7	31.5
8	31
9	30.5
10	30.1

Tabla No. 17 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra subterránea

Tratamiento 10:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes 3x1 a 70 g/TM:

Tiempo	Baydes 3x1
min	Tratamiento 10
0	35
1	34.5
2	34.1
3	33.8
4	33.3
5	32.6
6	31.9

7	31.3
8	30.5
9	29.4
10	28.5
11	27.6
12	26.8
13	26
14	25.4
15	24.7
20	21
25	19.5
30	18.6

Tabla No. 18 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes 3x1 en muestra Tajo

Tratamiento 11:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes HC906 a 70 g/TM:

Tiempo	Baydes HC906
min	Tratamiento 11
0	35
1	17.5
2	16
3	15.1
4	14.5
5	14.2
6	14

7	13.6
8	13.4
9	13.2
10	13.1

Tabla No. 19 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes HC906 en muestra subterránea

Tratamiento 12:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante baydes HC906 a 70 g/TM:

Tiempo	Baydes HC906
min	Tratamiento 12
0	35
1	23.2
2	19.2
3	16.7
4	15.4
5	14.3
6	13.9
7	13.2
8	12.8
9	12.5
10	12.2
11	12
12	11.7
13	11.6
14	11.5

15	11.4
20	10.9
25	10.4
30	10.3

Tabla No. 20 Dosificación de 70 g/TM floculante baydes HC906 en muestra de tajo

Caso 2:

Tratamiento 1:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico con dosificación de 80 g/TM:

Tiempo	Floc. Aniónico
min	Tratamiento 1
0	35
5	32
10	28.5

Tabla No. 21 Dosificación de 80 g/TM floculante aniónico en muestra tajo tigre

Tratamiento 2:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico con dosificación de 90 g/TM:

Tiempo	Floc. Aniónico
min	Tratamiento 2
0	35
5	32
10	28.5
15	24.4

20	21
----	----

**Tabla No. 22 Dosificación de 90 g/TM floculante aniónico en muestra
tajo tigre**

Tratamiento 3:

Tabulación de la velocidad de sedimentación con el floculante aniónico con dosificación de 100 g/TM:

Tiempo	Floc. Aniónico
min	Tratamiento 3
0	35
5	28.5
10	24.9
15	21.19
20	19
25	15.8
30	14

**Tabla No. 23 Dosificación de 100 g/TM floculante aniónico en muestra
tajo tigre**

Cálculo de dosificación de la planta de preparación de floculante:

Entrega por minuto de polímero seco máximo: 94.74 gr/min

Conversión de minutos a horas

$$\frac{94.74 \text{ gr}}{1 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 5684.4 \text{ gr/h}$$

Horas por turno: 8 horas

$$\frac{5684.4 \text{ gr}}{1 \text{ h}} * 8 = 45475.2 \text{ gr/h}$$

Molienda promedio por turno de 8 horas: 450 tm/h

$$\frac{45475.2 \text{ gr/h}}{450 \text{ tm/h}} = 101 \text{ gr/tm}$$

Cálculo para determinar la cantidad necesaria de los diferentes floculantes a dosificar para las diferentes dosis: 30 g/TM, 70 g/TM.

Para determinar la dosis adecuada se utilizará la siguiente fórmula.

$$v = \frac{\frac{(\text{consumo } \frac{\text{gr}}{\text{tm}})(\text{Peso de pulpa seca})}{1000000}}{\text{Concentración de dilución}} \times 1000$$

Para 30 g/TM muestra subterránea:

$$v = \frac{\frac{(\text{consumo } \frac{\text{gr}}{\text{tm}})(\text{Peso de pulpa seca})}{1000000}}{\text{Concentración de dilución}} \times 1000$$

Para 70 g/TM muestra subterránea:

$$v = \frac{\frac{(\text{consumo } \frac{\text{gr}}{\text{tm}})(\text{Peso de pulpa seca})}{1000000}}{\text{Concentración de dilución}} \times 1000$$

Para 30 g/TM muestra de tajo:

$$v = \frac{\frac{(30 \frac{gr}{tm})(174.15)}{1000000}}{0.5} \times 1000 = 10.49$$

Para 70 g/TM muestra de tajo:

$$v = \frac{\frac{(70 \frac{gr}{tm})(174.18)}{1000000}}{0.5} \times 1000 = 24.39$$

Cálculo para determinar la cantidad necesaria de floculante aniónico a dosificar en tajo tigre para diferentes dosis en mineral tajo la tigre: 80 g/TM, 90 g/TM y 100 g/TM

Para 80 g/TM:

$$v = \frac{\frac{(80 \frac{gr}{tm})(160)}{1000000}}{0.5} \times 1000 = 25.6$$

Para 90 g/TM:

$$v = \frac{\frac{(90 \frac{gr}{tm})(160)}{1000000}}{0.5} \times 1000 = 28.8$$

Para 100 g/TM:

$$v = \frac{\frac{(100 \frac{gr}{tm})(160)}{1000000}}{0.5} \times 1000 = 32$$

Aplicación de la derivada de:

$$\frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i}$$

Para encontrar la velocidad de sedimentación de cada uno de los tratamientos.

Tratamiento 1

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{15.5 - 35}{10 - 0} = -1.95$$

Tratamiento 2

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{13 - 35}{30 - 0} = -0.73$$

Tratamiento 3

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{30.6 - 35}{10 - 0} = -0.44$$

Tratamiento 4

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{19 - 35}{30 - 0} = -0.63$$

Tratamiento 5

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{16.7 - 35}{10 - 0} = -1.83$$

Tratamiento 6

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{11.3 - 35}{30 - 0} = -0.79$$

Tratamiento 7

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{14.4 - 35}{10 - 0} = -2.06$$

Tratamiento 8

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{12 - 35}{30 - 0} = -0.77$$

Tratamiento 9

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{30.1 - 35}{10 - 0} = -0.49$$

Tratamiento 10

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{18.6 - 35}{30 - 0} = -0.55$$

Tratamiento 11

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{13.1 - 35}{10 - 0} = -2.19$$

Tratamiento 12

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{10.3 - 35}{30 - 0} = -0.82$$

Caso 2

Tratamiento 1

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{28.5 - 35}{10 - 0} = -0.65$$

Tratamiento 2

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{21 - 35}{20 - 0} = -0.70$$

Tratamiento 3

$$V = \frac{\Delta \text{Altura}}{\Delta \text{Tiempo}} = \frac{h_F - h_i}{t_F - t_i} = \frac{14 - 35}{30 - 0} = -0.70$$

XI. GLOSARIO

Molino SAG: Molino semi-autogeno.

Overflow: Rebalse de ciclones hacia un espesador.

Underflow: Descarga de ciclones que alimentación a un molino secundario.

Floculos: Agregación de pequeñas partículas en un líquido o solución para formar grupos más grandes.

Sedimentos: Partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo de una masa de agua.

Polímeros: sustancias químicas formadas por moléculas pequeñas.

Espesadores: Equipos industriales que separan solidos de líquidos.

Transmisor: Equipo que emite una señal a través de un medio.

Electrostáticas: análisis del comportamiento de las cargas eléctricas.

Repulsión: rechazo o empuje para separar.

Asentamiento: proceso de hundimiento de unas partículas que se hunde en el agua.

Lixiviación: consiste en separar las partes solubles de una sustancia.

Adsorción: separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con ayuda de un solvente líquido.

Elución: consiste en extraer o disolver sustancias adsorbidas.

Electrodeposición: proceso que recubre un objeto con una capa de metal mediante el uso de corriente eléctrica.

Dore: proceso de obtener oro en bruto o sin refinar.

Coloides: sistema conformado por dos o más fases, una fluida y otra dispersa.

Depuración: utilización de ciertas bacterias y microorganismos que limpian las aguas de actividad biológica.

Polielectrolitos: polímero con grupos funcionales cargados eléctricamente que se disocian en agua.

Difusión: desplazamiento de moléculas de una sustancia de una zona de mayor concentración hacia otra de menor.

Granulometría: medición del tamaño de las partículas que componen un material.

Caolín: arcilla blanca que se compone principalmente de caolinita.

Sílice: mineral compuesto por silicio y oxígeno.