

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación de agentes de sedimentación para optimizar el
tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha
S.A.A.- Nexa Resources**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas**

Autor:

Bach. Rossy War MARCELO RAJO

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación de agentes de sedimentación para optimizar el
tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha
S.A.A.- Nexa Resources**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vicente César DAVILA CORDOVA
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHIAQUI Sarita Silvia FAU 20154605046 soft. Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 10.09.2024 21:53:24 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 044-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Rossy War MARCELO RAJO

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

“Evaluación de Agentes de Sedimentación para Optimizar el Tratamiento de Efluentes Mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources”

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Índice de Similitud: 19 %

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 10 de setiembre de 2024.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA.

El presente trabajo de tesis lo dedico a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres, Félix y Guillermina por todo su amor y motivarme a seguir hacia adelante.

También a todos mis hermanos por brindarme su apoyo moral, por que creyeron en mí, con su actitud lograron que tomara más impulso.

AGRADECIMIENTO

Dar gracias a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para afrontar los problemas que se presentan a diario, tanto laboral, como personal.

También agradecer de manera grata la empresa minera Nexa Resources, unidad minera Atacocha S.A.A. por permitir realizar mi proyecto de investigación “tesis” en sus instalaciones y laboratorios.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Maestro Nelson Montalvo Carhuaricra, cuya orientación, asesoramiento y estímulo fueron indispensables para culminar este proyecto.

El Autor.

RESUMEN

La presente investigación intitulada "Evaluación de Agentes de Sedimentación para Optimizar el Tratamiento de Efluentes Mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.- Nexa Resources", tiene como objetivo evaluar los agentes de sedimentación para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.- Nexa Resources; la técnica de diseño experimental conocida como "ser descriptivo correlacional" asiste a los investigadores en la observación y análisis de las relaciones entre variables. La población de estudio se encuentra constituido por los efluentes mineros que ingresa al espesador, producto del procesamiento de minerales y captación de taludes en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources. Como resultado, se ha determinado que el floculante más idóneo para nuestras necesidades es el RP 612. Este floculante ha demostrado una velocidad de sedimentación notable, registrando una cifra de 0.0433 cm/s. Además, su desempeño en términos de sedimentación y turbidez se destaca significativamente en comparación con otros floculantes similares disponibles en el mercado. Este veredicto respalda la decisión de optar por el RP 612 como la opción preferida para el tratamiento de agua, proporcionando una solución efectiva y eficiente para nuestras aplicaciones específicas.

Palabras clave. Optimización, sedimentación, efluentes mineros, floculantes.

ABSTRACT

The present research entitled "Evaluation of Sedimentation Agents to Optimize the Treatment of Mining Effluents in the Atacocha Mining Unit S.A.A.-Nexa Resources", aims to evaluate the sedimentation agents to optimize the treatment of mining effluents in the Atacocha Mining Unit S.A.A.- Nexa Resources; The experimental design technique known as "correlational descriptiveness" assists researchers in observing and analyzing the relationships between variables. The study population is made up of mining effluents that enter the thickener, a product of mineral processing and slope collection at the Atacocha S.A.A.-Nexa Resources Mining Unit. As a result, it has been determined that the most suitable flocculant for our needs is RP 612. This flocculant has demonstrated a notable sedimentation speed, recording a figure of 0.0433 cm/s. Furthermore, its performance in terms of sedimentation and turbidity stands out significantly compared to other similar flocculants available on the market. This verdict supports the decision to opt for RP 612 as the preferred option for water treatment, providing an effective and efficient solution for our specific applications.

Keywords. Optimization, sedimentation, mining effluents, flocculants.

INTRODUCCIÓN

En la empresa minera Nexa Resources, Unidad Minera Atacocha S.A.A. En recientes momentos ha aumentado la cantidad de mineral procesado. Sin embargo, se ha identificado una falta de eficiencia, especialmente en el sistema de sedimentación, que se manifiesta a través de desbordamientos. La separación entre sólidos y líquidos es insatisfactoria, y los parámetros operativos del equipo de sedimentación no logran alcanzar una clarificación óptima. Además, el tipo de floculante utilizado y su concentración también tienen un impacto significativo en este proceso.

Debido a esta inquietud, se propone la realización del siguiente estudio: "Evaluación de Agentes de Sedimentación para Optimizar el Tratamiento de Efluentes Mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.", con el objetivo principal de este cambio es mejorar la sedimentación en el espesador y aumentar el porcentaje de recuperación de agua, cumpliendo así con los objetivos establecidos. Dada la importancia de la gestión del recurso hídrico en la industria minero-metalúrgica en general, es imperativo redoblar los esfuerzos para recuperar la mayor cantidad de agua posible de manera responsable y en línea con los compromisos ambientales.

La estructura de este trabajo de investigación consta de cuatro capítulos que se detalla a continuación:

El primer capítulo aborda el problema de investigación, introducción al lector del tema, planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, la importancia y los alcances de la investigación, así como la base teórico-científica, las hipótesis y la operacionalización de variables.

En el segundo capítulo se ofrece una visión general del marco teórico, se detallan las variables a estudiar, se exponen los antecedentes del estudio y se discuten las teorías y fundamentos relacionados.

El tercer capítulo proporciona una descripción general de la metodología y las

técnicas de investigación utilizadas.

Finalmente, el último capítulo presenta los resultados del estudio, el tratamiento estadístico y la interpretación de las tablas, incluyendo también la discusión de los resultados.

INDICE

DEDICATORIA.

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICA

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación.	2
1.2.1. Espacial.....	2
1.2.2. Temporal	2
1.2.3. Temática	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problemas específicos:	2
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	3

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	5
2.1.1.	A nivel Internacional	5
2.1.2.	A nivel Nacional.....	6
2.1.3.	A nivel Local.....	8
2.2.	Bases teóricas – científicas.....	8
2.2.1.	Leyes de sedimentación.....	8
2.2.2.	Proceso de espesamiento	9
2.2.3.	Espesador (proceso batch).....	10
2.2.4.	Modelos teóricos de sedimentación en espesadores.....	11
2.2.5.	Bases teóricas de aplicación	17
2.2.6.	Preparación y procedimiento de la muestra de relave para determinar la gráfica de velocidad de sedimentación	18
2.2.7.	Generalidades del objeto o zona de estudio.....	19
2.3.	Definición de términos básicos.....	22
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	24
2.4.1.	Hipótesis general.....	24
2.4.2.	Hipótesis Específicas	24
2.5.	Identificación de Variables	24
2.5.1.	Variables independientes	24
2.5.2.	Variables dependientes.....	24
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	25

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de Investigación	26
3.2.	Nivel de investigación	26
3.3.	Métodos de investigación	26

3.4. Diseño de investigación	27
3.5. Población y muestra	27
3.5.1. Población	27
3.5.2. Muestra	27
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	28
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	29
3.9. Tratamiento Estadístico.	29
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	29

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	30
4.1.1. Actividades de la empresa.....	30
4.1.2. Actividades de la empresa.....	33
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	34
4.2.1. Resultados de la investigación de campo.....	34
4.3. Prueba de Hipótesis.....	66
4.4. Discusión de resultados	

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	24
Tabla 2. Descripción de la pulpa enviada a CHENTREAT proveniente de planta concentradora.....	57
Tabla 3. Resultados de sedimentación a 13 ml de concentración por litro de pulpa.	58
Tabla 4. Resultados de sedimentación a 13 ml de concentración por litro de pulpa.	60
Tabla 5. Resultados de pruebas de floculantes a 13 g/ton.	64
Tabla 6. Condiciones de prueba Screening productos GTM	65
Tabla 7. Resultados y discusión de las pruebas de sedimentación a 15 y 20 g/ton.	66
Tabla 8. Condiciones de pulpa en muestra laboratorio ESTEC.....	68
Tabla 9. Condiciones de pulpa en muestra laboratorio ESTEC.....	68
Tabla 10. Características de pulpa en laboratorio Atacocha, sin floculantes.....	73
Tabla 11. Condiciones de prueba, sin floculantes.	73
Tabla 12. Resultados de análisis de sedimentación, sin floculantes.	74
Tabla 13. Características de pulpa en laboratorio Atacocha, floculante AR 5450.	75
Tabla 14. Condiciones de prueba, floculante AR 5450.....	76
Tabla 15. Resultados de análisis de sedimentación, floculante AR 5450.	76
Tabla 16. Resultados de análisis de sedimentación, floculante RP 612	78
Tabla 17. Resultados de monitoreo en STR con floculante RP 612.....	79
Tabla 18. Valores esperados según la velocidad y consumo de floculante RP 612.....	86
Tabla 19. Análisis granulométrico en STR Atacocha.....	87
Tabla 20. Resultados de P80 en monitoreo STR.....	88
Tabla 21. Resultados de sedimentación con floculante RP 612 en el	

laboratorio Atacocha.	90
Tabla 22. Análisis realizados por laboratorios.	92

ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1. Comparación de floculantes tiempo vs altura de sedimentación a 13ml.....	59
Gráfica 2. Velocidad de sedimentación TF538 vs TFAR a 13ml.....	59
Gráfica 3. Comparación de floculantes tiempo vs altura de sedimentación a 10ml.....	62
Gráfica 4. Velocidad de sedimentación TF538 vs TFAR a 10ml.....	62
Gráfica 5. Correlación entre velocidad de sedimentación y NTU.....	65
Gráfica 6. Resultados de velocidad y NTU de floculantes a 13 g/ton.....	65
Gráfica 7. resultados de H610 y AR5450 a 15 y 20 g/ton.....	67
Gráfica 8. Curvas de Sedimentación de Floculantes SERIE PHP.....	68
Gráfica 9. Curvas de Sedimentación de Floculantes SERIE RP (Reológico).	69
Gráfica 10. Comparación de curvas de sedimentación series PHP y RP.....	70
Gráfica 11. Comparación de floculantes de series PHP y RP con AR-5450.....	71
Gráfica 12. Velocidad de sedimentación de Pulpa sin floculantes.	74
Gráfica 13. Velocidad de sedimentación de Pulpa con AR 5450.....	76
Gráfica 14. Velocidad de sedimentación de Pulpa con RP 612.....	78
Gráfica 15. Diferencia entre las curvas de velocidad de sedimentación.	79
Gráfica 16. Correlación entre torque y NTU.....	82
Gráfica 17. Correlación entre velocidad SPX y NTU.....	82
Gráfica 18. Correlación entre velocidad SPX y Concentración.....	82
Gráfica 19. Correlación entre densidad y NTU.....	83
Gráfica 20. Correlación entre concentración y densidad.....	83
Gráfica 21. Correlación entre torque y densidad.....	83

Gráfica 22. Correlación de variables para velocidad SPX 686	84
Gráfica 23. Correlación de variables para velocidad SPX 784	85
Gráfica 24. Correlación de variables para velocidad SPX 882	85
Gráfica 25. Monitoreo en STR Atacocha – Presa de relaves.	87
Gráfica 26. Curvas de granulometría monitoreo STR Atacocha.	89
Gráfica 27. Velocidad de sedimentación de Pulpa con floculante RP 612 en el laboratorio Atacocha	90
Gráfica 28. Diferencia entre las curvas de velocidad de sedimentación en el laboratorio Atacocha	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama simplificado de proceso de espesamiento de pulpa.	10
Figura 2. Diagrama de sedimentación dentro de un espesador	11
Figura 3. Diagrama de modelo Kynch de curva de sedimentación.	14
Figura 4. Representación de los puntos de compresión y punto crítico.....	16
Figura 5. Método gráfico para el cálculo de T_u en modelo Talmage & Fitch.	16
Figura 6. Diagrama de curvas de sedimentación estándar.....	18
Figura 7. Unidad minera Atacocha.....	51
Figura 8. Entrada a la unidad minera Atacocha	52
Figura 9. Inventario de reservas y recursos, mina subterránea.....	53
Figura 10. Inventario de reservas y recursos, en mina tajo abierto.	54
Figura 11. Atacocha, Chicrín, Cerro de Pasco.....	55

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

En recientes momentos, la Unidad Minera Atacocha S.A.A. ha aumentado la cantidad de mineral procesado. Sin embargo, se ha identificado una falta de eficiencia, especialmente en el sistema de sedimentación, que se manifiesta a través de desbordamientos. La separación entre sólidos y líquidos es insatisfactoria, y los parámetros operativos del equipo de sedimentación no logran alcanzar una clarificación óptima. Además, el tipo de floculante utilizado y su concentración también tienen un impacto significativo en este proceso.

Además, otro factor fundamental y esencial que debe tenerse en cuenta es el gasto asociado al uso de agentes floculantes, lo cual resulta en costos operativos elevados. En este contexto, el estudio actual plantea la posibilidad de cambiar el tipo de agente floculante y la dosificación empleados en el proceso de tratamiento.

El objetivo principal de este cambio es mejorar la sedimentación en el espesador y aumentar el porcentaje de recuperación de agua, cumpliendo así con los objetivos establecidos. Dada la importancia de la gestión del recurso hídrico en la industria minero-metalúrgica en general, es imperativo redoblar

los esfuerzos para recuperar la mayor cantidad de agua posible de manera responsable y en línea con los compromisos ambientales.

También, se busca lograr mediante las pruebas de laboratorio con los nuevos agentes es obtener un resultado favorable en términos de sedimentación y recuperación de agua con una turbidez óptima.

1.2. Delimitación de la investigación.

1.2.1. Espacial

La investigación se llevará a cabo plenamente en los laboratorios de la Unidad Minera Atachocha S.A.A.-Nexa Resources. Ubicado en el CC.PP. de Chicrín, Yanacancha - Pasco.

1.2.2. Temporal

El estudio se elaborará durante los meses de agosto a octubre del 2023.

1.2.3. Temática

La elección del tema de investigación se encuentra motivada a la evaluación de Agentes de Sedimentación para Optimizar el Tratamiento de Efluentes Mineros.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo evaluar los agentes de sedimentación para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources?

1.3.2. Problemas específicos:

- a. ¿Como evaluar los agentes químicos en el proceso de sedimentación de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources?
- b. ¿Cuáles son los parámetros óptimos para el tratamiento de

efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar los agentes de sedimentación para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a. Evaluar los agentes químicos en el proceso de sedimentación de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.
- b. Determinar los parámetros óptimos para el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources

1.5. Justificación de la investigación

La razón detrás de llevar a cabo este estudio es la necesidad de explorar alternativas, una de las cuales implica la evaluación de diferentes concentraciones de agentes floculantes. Esto se hace con el fin de lograr una sedimentación más rápida, una recuperación de agua sin turbidez y un control efectivo del proceso de separación sólido-líquido en el espesador.

Esta investigación proporcionará a la Unidad Minera Atacocha S.A.A. mejoras en las operaciones de sedimentación de sus efluentes mineros. Como resultado, se logrará una recuperación de agua clarificada tanto en cantidad como en calidad. Además, esto permitirá reducir la dependencia de fuentes de agua naturales y contribuirá al medio ambiente.

1.6. Limitaciones de la investigación

Limitaciones de la investigación incluyen:

- Dependencia de fondos propios para llevar a cabo este estudio.

- Limitaciones en el acceso a la información relacionada con los datos operativos de la investigación.
- Disponibilidad insuficiente de información sobre el tema en cuestión y el floculante que se utilizará en las pruebas.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel Internacional

(Vera Abara, 2019), en la Tesis “Aumento de porcentaje de sólido de descarga de los espesadores de efluentes de minerales a través de metodología full potencial en minería de los pelambres” adjunta como resultados: Detectar una oportunidad de mejora en los espesadores en la Minera Los Pelambres y sugerir acciones que impulsen un aumento en el porcentaje de sólidos en la descarga de estos espesadores. Después de realizar los estudios correspondientes, se han llegado a las siguientes conclusiones. A través de la evaluación de los espesadores, se han formulado una serie de propuestas de optimización destinadas a mejorar el desempeño y la operatividad.

La implementación de estas sugerencias tiene el potencial de elevar el contenido de sólidos en la descarga en un 6%. Los principales factores relacionados y contribuyentes para alcanzar este valor son:

El proceso de homologación de operadores (0,5%), la implementación de una estrategia de control (2,5%) que involucra mejoras en la instrumentación y en la condición de los equipos, así como la optimización de la

capacidad de torque (3%) mediante el cambio de reactivo, representan los elementos clave que contribuirán al aumento del 6% en el contenido de sólidos en la descarga. Cada una de estas propuestas se analiza detalladamente en el capítulo correspondiente del informe. Además, se presentan las conclusiones principales derivadas de las pruebas de laboratorio, que se llevaron a cabo utilizando diferentes proveedores de floculante en diversas condiciones de pH y con muestras de mineral.

El agente más efectivo en las circunstancias de mezcla y niveles de pH evaluados es el RP 612, cuando se utiliza a una dosis de 6 g/t. Esto se traduce en velocidades de sedimentación más altas y en un mayor contenido de sólidos al final de los ensayos de sedimentación estática en todos los casos examinados.

En la Fase 10, se logran velocidades de sedimentación de hasta 24 (m/h) y se alcanza una máxima compactación del 59% de sólidos a un nivel de pH de 8,7. Por otro lado, la Fase 7 registra valores máximos de velocidad de sedimentación de 27,6 [m/h] a un pH de 9,3, con una compactación máxima del 64,4% de sólidos a un pH de 8,7. En cuanto a la Fase Mezcla, se obtiene una velocidad máxima de sedimentación de 27,2 a un pH de 9,3, junto con una compactación máxima del 62%.

Un patrón recurrente en las tres fases analizadas es que, a medida que el pH aumenta, se observa una tendencia al alza en los valores de resistencia al flujo para un mayor contenido de sólidos. Los resultados de la sedimentación dinámica confirman que a medida que se aumenta la dosis de floculante, se obtiene una mejor calidad del agua recuperada en términos de turbidez.

2.1.2. A nivel Nacional

Según (Calancha Mamani, 2020), en la investigación titulada "Evaluación de la cinética de sedimentación y precipitación de metales para optimizar el tratamiento de pulpa de relaves de la Unidad Minera San Rafael

Puno – Perú” El problema de investigación se centra en la mejora de los procedimientos de tratamiento de la pulpa de relave mediante la selección de un floculante apropiado que presente tiempos de sedimentación más eficientes.

El objetivo establecido consistía en llevar a cabo una evaluación de la velocidad de sedimentación y la disminución de la concentración de metales en un entorno de laboratorio, con el propósito de mejorar el proceso de tratamiento de la pulpa de relaves en la unidad minera San Rafael. Tras la realización de las pruebas metalúrgicas, se han obtenido las siguientes conclusiones:

Los resultados más favorables en términos de la velocidad de sedimentación y la precipitación de metales se lograron al utilizar el floculante RP 612. Se observó que la velocidad de sedimentación aumenta a medida que el pH se eleva. En cuanto a la eliminación de metales, el floculante AR-3120 demostró un rendimiento excepcional, seguido de cerca por el RP 612. Estos floculantes lograron reducir significativamente los niveles de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en la muestra.

La RP 612 es el floculante que exhibe la velocidad de sedimentación más destacada, tanto a pH natural como en las variaciones de pH a los 2, 5 y 10 minutos. Le siguen en eficiencia el floculante CHEMLOK 2010 y el MTFLOC 4253, que presentan velocidades de sedimentación de calidad media. En última instancia, se encuentra el AR-3120.

El floculante AR-3120, operando a un pH de 10.70, logra una precipitación de hierro (Fe) a 2,427 ppm y manganeso (Mn) a 0,023 ppm. Por otro lado, el RP 612, en condiciones similares, provoca una precipitación de hierro (Fe) a 5,306 ppm y manganeso (Mn) a 0,046 ppm.

A pesar de estas cifras, al seleccionar el floculante adecuado, la velocidad de sedimentación se considera el factor principal. En este sentido,

RP 612 se presenta como una opción sobresaliente para la precipitación de efluentes.

2.1.3. A nivel Local

Según (Crespo Moreno & Muñoz Blanco, 2021), en su tesis de investigación intitulada “Estudio de parámetros operativos en espesador de relaves para mejorar calidad de agua recuperada y efluentes en Minera El Brocal S.A.A.” El estudio se enfocó en analizar los aspectos clave de funcionamiento del espesador de efluentes, que comprenden el flujo, la densidad, la preparación y dosificación de floculante, la velocidad de sedimentación de los efluentes, la eficiencia de recuperación y la calidad del agua clarificada. Además, se evaluó la densidad de la mezcla que entra en el espesador. Como resultado de este análisis, se propone llevar a cabo un balance de materia utilizando agentes de sedimentación.

2.2. Bases teóricas – científicas.

2.2.1. Leyes de sedimentación

En los procesos de sedimentación juega un papel importante la relación de dilución, así como el tamaño de la partícula. De manera práctica, se observa que al verter una pulpa diluida en un recipiente y si se deja asentar, se observa lo siguiente: Las partículas más gruesas son las primeras en llegar al fondo con relativa facilidad y con mayor velocidad que las de menor tamaño (en este proceso se puede medir la velocidad de sedimentación por tener un comportamiento lineal), enseguida a la sedimentación de las partículas gruesas, sigue las partículas finas llenando los intersticios entre las partículas más gruesas. Las partículas más finas, las cuales se asientan lentamente, permanecen en suspensión en la parte superior (generando turbidez). En general el movimiento de todas las partículas suspendidas en un fluido, salvo las coloidales, están gobernadas por las leyes de Stokes, (también llamadas leyes de Newton), las cuales son directamente proporcionales al tamaño de las

partículas. La ley de Stokes determina la velocidad terminal (W) de la partícula en un fluido cualquiera, tal como se presenta en la siguiente ecuación.

$$W = \frac{2 (SG_s - SG_L)}{9} \frac{gR^2}{n}$$

Donde:

W = Velocidad terminal (de salida)

SG_s = Gravedad específica del sólido

SG_L = Gravedad específica del líquido

n = Viscosidad del fluido

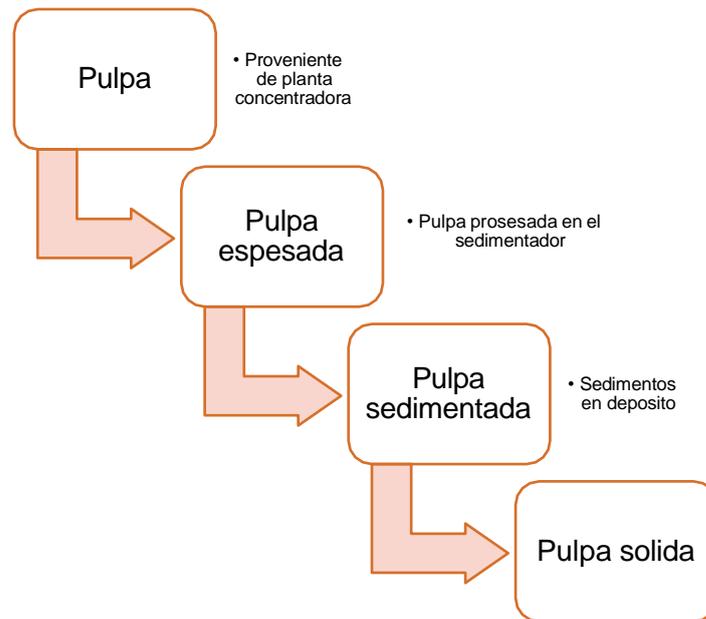
g = gravedad

R = Radio esférico de la partícula

2.2.2. Proceso de espesamiento

El rango de espesamiento de una pulpa está en función a la cantidad de agua que es posible extraer en el proceso de espesamiento, y en general es afectado por la distribución de tamaño de partículas, mineralogía, tipo de floculante empleado, dilución previa, etc. Pruebas en los tipos de relaves y plantas de procesamiento alrededor del mundo, incluyendo relaves de oro, plata, cobre, zinc, bauxitas, fosfatos, diamantes, etc. demostraron la factibilidad para la producción de relaves espesados. “la conversión de espesamiento convencional a espesado puede ser realísticamente alcanzada por cualquier operación existente, sin embargo, el requerimiento más importante es el contenido de finos (menos de 20 micrones) de al menos 15% para asegurar una buena transportabilidad y consistencia. A continuación, se presenta un diagrama simplificado de los rangos de espesamiento o desaguado.

Figura 1. Diagrama simplificado de proceso de espesamiento de pulpa.



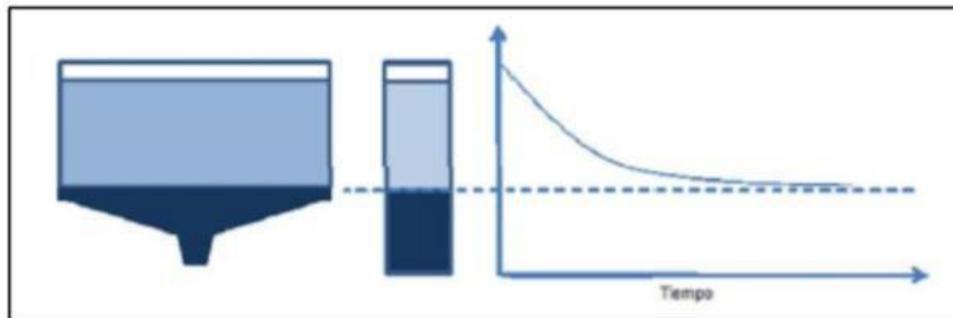
Cada relave es distinto, es por ello que no existe un porcentaje de sólidos que indique para todos los materiales, la transición entre la pulpa a una pulpa espesada o pasta varían desde 40 a 90% de sólidos en peso, esto debido a la mineralogía, distribución de tamaño de partícula, contenido de arcillas, forma de partícula, fuerzas electrostáticas y dosificación de floculante (proyecto actual). Este concepto es de vital importancia al momento de comparar procesos de espesamiento de otros materiales o analizar las características operativas en el sistema de sedimentación.

2.2.3. Espesador (proceso batch)

El criterio principal para el diseño y funcionamiento de espesadores, es determinar la relación entre la velocidad de sedimentación y las dimensiones del tanque a emplearse. La velocidad de sedimentación es un parámetro fácilmente obtenible por medio de pruebas de laboratorio (pruebas usadas en la realización de este proyecto) las cuales consisten en determinar el descenso de la frontera del líquido clarificado y la suspensión a lo largo del tiempo. Se ha determinado que la tasa de sedimentación es constante

inicialmente, pero luego disminuye a medida que las partículas sedimentan lentamente en el fondo, tal como se observa en el diagrama 2.2 donde se observa el progresivo incremento en la concentración respecto a la profundidad. La disminución de la velocidad de sedimentación se debe al freno por el apilamiento de partículas a medida que estos sedimentan en el fondo del recipiente.

Figura 2. Diagrama de sedimentación dentro de un espesador.



En general, la mayor parte de asunciones para la determinación del área necesaria se basan en que la velocidad de sedimentación es dependiente únicamente de la concentración de sólidos adyacentes, sin embargo, numerosos investigadores rechazan estos métodos al encontrarse que han fallado en sus predicciones en numerosas oportunidades.

2.2.4. Modelos teóricos de sedimentación en espesadores

A continuación, una breve descripción de los métodos más empleados para las relaciones entre variables dependientes e independientes en un sistema de sedimentación, los cuales serán usados como referencia para el cálculo en este estudio.

Coe & Clevenger:

La teoría de Coe & Clevenger se basa en el concepto de que, dentro de un espesador, cualquier masa de sólidos que intente descender a una zona de mayor densidad debe tener una velocidad de subsidencia igual o mayor que la velocidad de ascenso del líquido desplazado. Por lo tanto, un espesador

adecuadamente dimensionado será aquel que para distintas diluciones, entre la de la alimentación y la de descarga, tenga suficiente área disponible para que la velocidad de ascenso del líquido nunca exceda la velocidad de subsidencia. Además, asume las siguientes condiciones para su funcionamiento:

1. La velocidad de sedimentación es una función sólo de la concentración.
2. La tasa de descarga del líquido sobrenadante es igual a la diferencia de la tasa de alimentación menos la tasa de remoción de la capa sedimentada.
3. El líquido que se desplaza hacia arriba es siempre mayor al movimiento hacia abajo

La masa de líquido en ascenso está dada por la siguiente ecuación:

$$(F - D)Q_{M(F)}$$

En el equilibrio, la velocidad de ascenso del líquido es igual a la velocidad de descenso de los sólidos. En consecuencia.

$$V_S = \left(\frac{F - D}{At \cdot \rho_L} \right) Q_{M(F)}$$

Donde:

$$F = \text{Relacion en peso de alimentacion } \left(\frac{\text{liquido}}{\text{solido}} \right) \text{ o } \% \text{ solido alimentado}$$

$D = \text{Relacion en peso de descarga } \left(\frac{\text{liquido}}{\text{solido}}\right) \text{ o } \% \text{ solido descargado}$

$Q_{M(F)} = \text{Capacidad de alimentacion en peso t/h}$

$V_S = \text{Velocidad de sedimentacion}$

$A_t = \text{Area transversal del tanque en m}^2$

$\rho_L = \text{Gravedad especifica del liquido}$

1. De acuerdo a Coe & Clevenger puede haber muchas zonas que sedimentan, pero el área de un espesador se determina en base a las condiciones en el sector de sedimentación o “zona de sedimentación libre”
2. Coe & Clevenger no explican en su teoría la razón por la cual la velocidad de sedimentación disminuye entre la zona de transición y de compresión en una prueba batch.
3. Para aplicar la fórmula de Coe & Clevenger no es necesario dibujar toda la curva de sedimentación, sino sólo el principio de la curva para determinar la velocidad de sedimentación (análisis usado en este trabajo).
4. Para hallar D se mide la altura final (HF) del sólido decantada al cabo de 24 horas.
5. El método de Coe & Clevenger requiere, por lo tanto, múltiples pruebas de sedimentación a distintas diluciones iniciales con el objetivo de seleccionar un área unitaria adecuada. Se recomienda repetir la prueba al menos 4 veces.
6. El principal error del modelo de Coe & Clevenger es la asunción de que la sedimentación de un producto floculado es

independiente de la concentración de sólidos iniciales. Esta asunción no es siempre correcta.

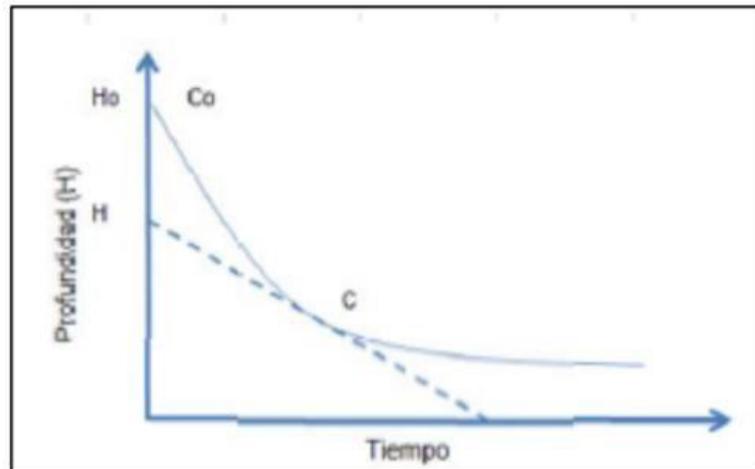
Kynch:

El modelo de Kynch constituye una herramienta para la simplificación de otras metodologías. Kynch postuló que el principio fundamental de la velocidad de sedimentación es que es función únicamente de la concentración de sólidos local en la pulpa. El modelo de Kynch permite determinar la concentración en un punto conociendo la concentración y altura de la probeta iniciales. Asunciones del modelo de Kynch:

1. La concentración de partículas es uniforme en cualquier plano horizontal.
2. El efecto de la forma, tamaño y composición mineral de las partículas no interviene en las diferencias de sedimentación.
3. La velocidad de sedimentación es función de la concentración y tiende a cero en la zona cerca de la concentración de los sedimentos del fondo del contenedor.
4. El efecto de las paredes del recipiente es despreciable

De acuerdo a Kynch si una tangente trazada a la curva de sedimentación en un punto cualquiera, entonces la pendiente corresponde a la velocidad de sedimentación de la capa o zona de concentración C justo por debajo de la interface de sedimentación. La intercepción de la tangente en el eje de las abscisas, H , corresponde a la altura de la pulpa con una concentración uniforme igual a C es así que de acuerdo a la figura mostrada basta trazar la tangente y donde corte al eje de ordenadas será el valor de H .

Figura 3. Diagrama de modelo Kynch de curva de sedimentación.



Talmage & Fitch:

Se estudiaron las zonas de sedimentación y llegaron a la siguiente relación, considerando que la tasa de flujo en la zona clara debería ser menor que la tasa de sedimentación de la partícula más pequeña que tiene que ser removida

$$V_s = \frac{1}{C_o} - \frac{1}{C_u} \cdot A$$

Donde:

$$A = \text{Area unitaria} \left(\frac{\text{pie}^2}{\text{ton}} / \text{dia} \right)$$

$$C_o = \text{Concentracion de solidos de la pulpa considerada (ton. solidos/pie}^3)$$

$$C_u = \text{Concentracion de solidos underflow (ton. solidos/pie}^3)$$

$$V_s = \text{Velocidad de sedimentacion}$$

$$V_s = \frac{H_o - H_u}{T_u}$$

También:

$$H_o = \text{Altura de pulpa original (cm)}$$

$H_U = \text{Altura calculada (cm)}$

$T_U = \text{Tiempo (min)}$

Se debe tomar la velocidad de sedimentación correspondiente a las condiciones de máxima área, lo cual se da en el punto de compresión. En una prueba batch, la masa de sólidos en el cilindro de pruebas está dado por $C_0 H_0$. Si el tiempo requerido T_U para que todos los sólidos sedimenten a través de la capa de concentración C , entonces $C_0 H_0 / T_U$ representa la cantidad de los sólidos que pueden pasar a través de esa capa por unidad de tiempo.

En este momento, el objetivo de esta metodología es determinar T_U máx., el cual se obtiene fácilmente mediante métodos gráficos, con el método de la bisectriz de Talmage And Fitch.

Figura 4. Representación de los puntos de compresión y punto crítico.

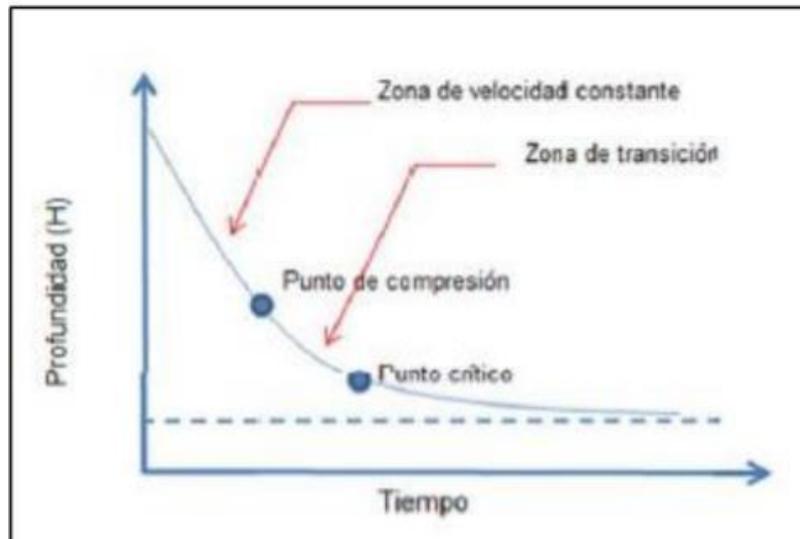
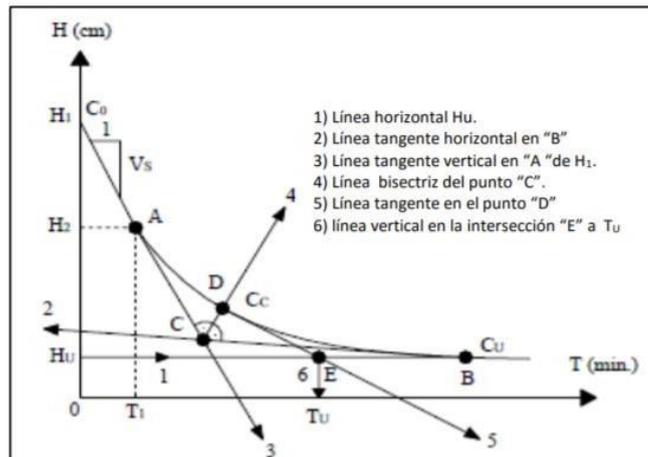


Figura 5. Método gráfico para el cálculo de T_u en modelo Talmage & Fitch.



Teóricamente, los modelos antes presentados deberían arrojar el mismo valor de velocidad de sedimentación, pero esto no ocurre en la práctica. Por lo general, el método de Coe & Clevenger tiende a subestimar la velocidad, mientras el modelo de Talmage & Fitch tiende a sobreestimarlo. La relación de Coe & Clevenger tiene la falencia de perder precisión si se trata de pulpas con agentes floculantes, es por ello que la aproximación de Talmage & Fitch se considera más adecuada, además tiene la ventaja de que, mientras para el método de Coe & Clevenger se requiere de muchas determinaciones de velocidad de sedimentación, con el método de Talmage & Fitch, es suficiente una única estimación.

2.2.5. Bases teóricas de aplicación

La sedimentación por zonas se presenta en clarificadores/espesadores con lodos o pulpas coaguladas químicamente ó gravitacionalmente en concentraciones que exceden los 1300 gr/l. La cual presenta varias zonas perfectamente diferenciadas.

Para obtener los parámetros necesarios para la operación ó diseño del clarificador/espesador, puede llevarse a cabo ensayos de sedimentación en el laboratorio, para los objetivos considerados.

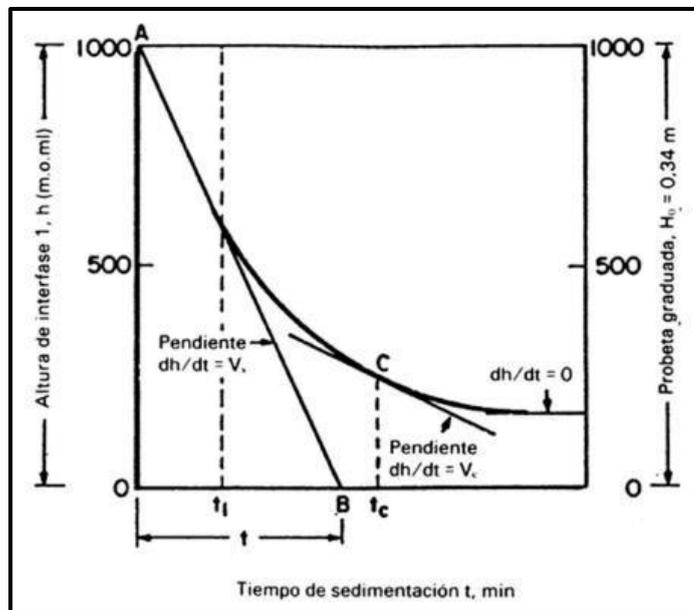
Se usan probetas graduadas de 1000 ml (la probeta graduada normalizada tiene una altura entre 33.5 a 40 cm, dependiendo del laboratorio).

Al comienzo del experimento $t=0$, la concentración de la pulpa es uniforme dentro del cilindro.

La altura de la interfaz se va registrando a intervalos de tiempo seleccionados.

Esto nos permitirá construir las CURVAS DE SEDIMENTACIÓN siguiente:

Figura 6. Diagrama de curvas de sedimentación estándar.



La velocidad de sedimentación por zonas corresponde a la zona de velocidad a la cual las partículas en suspensión se sedimentan antes de alcanzar la concentración crítica X_c .

$$V_s = OA/OB = H_0/t = 0.353/t \text{ (m/min)}$$

2.2.6. Preparación y procedimiento de la muestra de relave para determinar la gráfica de velocidad de sedimentación

- Se realiza un muestreo representativo de relave de la Planta Concentradora en un recipiente adecuado en intervalos de 20 minutos durante 6 horas.

- Durante el muestreo se toma lectura cada hora de la densidad y el porcentaje de sólidos, mediante la balanza marcy, dato referencial.
- La pulpa es homogenizada vigorosamente de tal manera de asegurar la suspensión de todas las partículas.
- La pulpa es almacenada en probetas enrazadas a un litro de capacidad, teniendo en cada una de ellas la misma densidad de pulpa, a la medida durante el muestreo para ello hacemos uso de una balanza electrónica.
- En la probeta se adhiere una cinta en donde se marca el punto de referencia q está alineado con el nivel de la pulpa es allí donde se toma apunte del tiempo mediante un cronometro en función del desplazamiento de la pulpa sedimenta.
- Se agita moderadamente la probeta, asegurando la suspensión de todas las partículas en su interior, teniendo mucho cuidado de no derramar parte de la pulpa para luego situarlo en una superficie horizontal, es en instante que inicia la prueba para hallar la velocidad de sedimentación con ayuda de un cronometro digital.
- Poner los datos en una tabla que mostraran los tiempos obtenidos y función de sus desplazamientos.

2.2.7. Generalidades del objeto o zona de estudio

Métodos:

Según las características de la muestra y los parámetros a ser evaluados se dispone de los siguientes métodos de prueba según la Environmental and Process Solutions (KREFELD – ALEMANIA).

- Método de las JARRAS o JAR TEST.
- Método de sedimentación por agitación.

- Método de sedimentación por Volteo.
- Método del pistón.

Como los parámetros a ser evaluado son la Velocidad, claridad y densidad de sedimentación y al no tener tratamiento primario a la floculación, se elige el método del pistón. con sedimentación gravitacional. **Requerimiento**

de materiales y personal de la prueba:

Para efecto de la evaluación de floculantes para sedimentación se proporcionará sin costo para el cliente, los siguientes ítems:

- Personal técnico calificado para las pruebas de sedimentación.
- Áreas para realizar pruebas de sedimentación.
- Turbidímetro digital.
- Probetas de plástico
- Materiales de vidrio (vasos, vagueta, etc).
- Balanza Marcy
- Probetas acrílicas de 0.5 L de capacidad
- Agitador metálico para pruebas simultaneas
- Jeringas hipodérmicas para dosificación de los floculantes.
- Tiras de papel adhesivo para medición de los niveles de interfase solido - liquido.
- Cronometro.

Desarrollo de las evaluaciones (procedimientos):

Se desarrollará las evaluaciones de acuerdo con los siguiente:

Preparación de la muestra de pulpa mineral:

La muestra se homogenizará constantemente mediante un mezclador estático (paletas), mediante el cual se tomará muestras para medir el % de sólidos, pH, densidad de pulpa.

Luego de tener los datos obtenidos, se procederá a diluir la pulpa según lo indicado en el protocolo de prueba de floculación de la minera evaluada (% de sólidos), se preparará un volumen de pulpa determinado en un recipiente a esta dilución para mantener la pulpa homogénea por agitación.

Luego se tomará un litro de pulpa de esta nueva dilución en una probeta de plástico de un litro, se repetirá esta operación según el número de pruebas que se requieran para realizar las pruebas de sedimentación. Dilución del floculante para prueba de sedimentación:

Se el siguiente procedimiento:

- Se prepara la solución madre de floculante a 0.25% (2.5 gr/lit), dejar madurar para utilizarlo
- Tomar 10 ml de la solución madre (0.25%) para luego añadirle 90 ml de agua, este proceso es para diluirlo al 0.025%. Luego agitarlo para que la solución se homogenice y utilizarla en la prueba de sedimentación.
- Este método realizado permite que el polímero diluido se expanda lo suficiente para que permita optimizar la dosis de estos en la prueba de sedimentación (solo en caso de variar la densidad).

Pruebas de Screening de floculantes:

- Se colocan los floculantes escogidos para ser evaluados.
- Estos floculantes se prepararán a 0.025% según la etapa anterior de este procedimiento.
- Tomar una muestra de un litro de pulpa para diluirla al % de sólidos requeridos para la prueba en una probeta de plástico, homogenizar la muestra en la probeta.
- Luego de homogenizar la muestra en la probeta, añadir la cantidad de floculante diluido al 0.025%, en una equivalencia de 13, 15, gr/TM, según los requerimientos de dosis necesitados por el cliente.
- Luego agitar lentamente con el mezclador de abajo hacia arriba de la

probeta con pulpa para homogenizarlo con el floculante diluido, una vez mezclado retirar el mezclador y tomar el tiempo con el cronometro de la interface liquido claro/pulpa floculada desde la medida de volumen 900 y 700 ml de la probeta de plástico graduada. Con este tiempo y distancia se calculará la velocidad de sedimentación de cada dosis de floculante.

- Luego de 10 min de iniciado la sedimentación se medirá la turbidez de solución sobrenadante en NTU y se medirá el volumen del mineral compactado para calcular la densidad
- Se repetirá el mismo procedimiento con las diferentes dosis de cada floculante a evaluar. Luego de ellos se graficará la velocidad de sedimentación y turbidez de la solución sobrenadante.
- Luego graficar las velocidades de sedimentación, turbidez y compactación vs dosis de floculantes evaluados, se escogerá el floculante que presenta los mejores resultados obtenidos.

2.3. Definición de términos básicos.

Reactivos de Sedimentación:

Son sustancias químicas o compuestos utilizados en procesos de tratamiento de efluentes mineros para promover la aglomeración de partículas sólidas suspendidas en el agua, facilitando su sedimentación y separación del líquido.

Sedimentación:

Es un proceso físico en el cual las partículas sólidas suspendidas en un líquido se asientan gradualmente en el fondo de un contenedor debido a la acción de la gravedad. Este proceso es esencial en el tratamiento de efluentes para separar sólidos del agua.

Efluentes Mineros:

Son aguas residuales generadas en la industria minera como resultado de la extracción, procesamiento y tratamiento de minerales. Estos efluentes a menudo contienen sólidos en suspensión y metales pesados que deben ser tratados antes de su descarga o reutilización.

Optimización:

En el contexto del tratamiento de efluentes mineros, se refiere a la mejora sistemática de los procesos y las condiciones de operación para lograr una mayor eficiencia en la sedimentación de sólidos y la eliminación de impurezas.

Aglomeración:

Es el proceso de unión de partículas sólidas suspendidas en un líquido en grupos más grandes o flocs, facilitando su posterior sedimentación.

Dosificación:

Es la medida controlada y precisa de la cantidad de un reactivo de sedimentación que se agrega al efluente minero con el propósito de lograr la sedimentación efectiva de las partículas sólidas.

Calidad del Agua Clarificada:

Se refiere a la pureza del agua que resulta del proceso de tratamiento de efluentes, donde se espera que esté libre de sólidos en suspensión y cumpla con los estándares ambientales y de calidad.

Balance de Materia:

Es un cálculo que evalúa la cantidad de sustancias que ingresan y salen de un sistema, en este caso, se utiliza para analizar cómo los reactivos de sedimentación afectan la composición y el flujo de los efluentes mineros durante el proceso de tratamiento

Velocidad de sedimentación:

Se define como el incremento en la velocidad a la que las partículas floculentas se asientan, logrado a través de la introducción de un agente floculante.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Evaluando los agentes de sedimentación se optimiza el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

2.4.2. Hipótesis Específicas

1. Evaluando los agentes químicos en el proceso de sedimentación se regulará los efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.
2. Al optimizar algunos parámetros en el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources. Se consigue mejorar el proceso de sedimentación.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variables independientes

Evaluación de agentes de sedimentación.

2.5.2. Variables dependientes

Optimizar el tratamiento de efluentes mineros.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
V. Independiente	Se refiere a las sustancias o partículas que pueden causar la sedimentación de	Utilizados en los procesos de tratamiento de líquidos con floculantes para	Dosificación	G/t
Evaluación de agentes de sedimentación	partículas sólidas suspendidas en un líquido. Los agentes de sedimentación pueden incluir sustancias químicas, compuestos naturales o partículas físicas que ayudan a separar sólidos del líquido.	facilitar la eliminación de partículas sólidas suspendidas y obtener agua o líquidos más limpios y claros	Tipos de agentes	Und
			Velocidad de sedimentación	cm/s
V. Dependiente	se refiere a la mejora continua de los procesos y tecnologías utilizados para tratar las aguas residuales generadas en la industria minera, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes, reducir los costos operativos y cumplir con las regulaciones ambientales.	Minimizar el impacto negativo de la minería que es causado por lluvias y captaciones de aguas mineralizadas con fin de garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones mineras	Incremento de descarga	% S
Optimizar el tratamiento de efluentes mineros			Control de rebose	NTU
			Eficiencia	%

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación adoptado es de naturaleza aplicada, con la meta de comprender la relación de causa y efecto, y ejecutar un control riguroso (Supo, 2012).

3.2. Nivel de investigación

Este análisis se enmarca en el ámbito explicativo y va más allá de simplemente describir. Su objetivo es analizar la causa fundamental detrás de un evento, ya sea de naturaleza física o social. Se centra en ofrecer explicaciones sobre por qué ocurren ciertos fenómenos y bajo qué circunstancias particulares se manifiestan. La investigación explicativa se caracteriza por su mayor estructuración y profundidad (Hernández Sampieri, 2014b)

3.3. Métodos de investigación

Según (Hernández Sampieri, 2014) el método experimental se define como los pasos generales sugeridos para lograr el propósito de la investigación.

Además, para realizar la investigación de manera eficiente, es crucial utilizar técnicas y procedimientos que permitan validar la hipótesis, la cual se verá reflejada en los informes y conclusiones.

3.4. Diseño de investigación

Según (Espinoza Montes, 2010) El diseño es el instrumento que guía la forma y el modo como el investigador va dar respuesta al problema de investigación.

El diseño de investigación descriptivo correlacional implica observar y describir, así como investigar las posibles relaciones o correlaciones entre variables, sin intervenir en ellas. Este enfoque busca entender cómo las variables se relacionan entre sí en un contexto determinado sin establecer una relación causal directa. Es útil para explorar patrones y asociaciones entre diferentes aspectos de un fenómeno o situación

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de estudio se encuentra constituido por los efluentes mineros que ingresa al espesador, producto del procesamiento de minerales y captación de taludes en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

3.5.2. Muestra

La muestra está constituida por tres pruebas obtenida durante el muestreo incremental en el laboratorio de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas:

La observación experimental implicará examinar el sitio de muestreo para recolectar la muestra.

Se realizará una entrevista informal con los ingenieros y técnicos que operan el espesador.

Las fuentes primarias de información serán los informes de las pruebas de sedimentación efectuadas en el laboratorio.

Instrumento:

Muestreador: Este dispositivo se utiliza para recoger muestras y asegurarnos de obtener la cantidad óptima necesaria para las pruebas en el laboratorio.

Balanza Marcy: Este equipo nos permite calcular tanto la densidad de la alimentación como la densidad de dilución en la entrada y salida del espesador.

Probeta graduada: Usamos este instrumento para llevar a cabo la prueba de sedimentación de los efluentes, con el fin de determinar la velocidad a la que las partículas se asientan.

Cronómetro: Con este dispositivo controlamos la velocidad de sedimentación durante un período específico.

Vaso precipitado de un litro: Estos recipientes se emplean para verter la pulpa de relave en la probeta de un litro.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

Selección de datos.

Se examinó la fiabilidad de los instrumentos utilizados para recopilar datos, con el objetivo de garantizar la confiabilidad de nuestros instrumentos generando un reporte por muestreo realizado.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Se utilizará Microsoft Excel tanto para llevar a cabo el procesamiento y análisis de los datos de sedimentación como para analizar los gráficos relacionados.

3.9. Tratamiento Estadístico.

El tratamiento estadístico se empleará en los resultados de las pruebas de sedimentación obtenidos en experimentos, y se realizará la prueba de hipótesis utilizando Microsoft Excel.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

Los datos recopilados en el estudio se manejarán de acuerdo con los principios éticos del investigador, garantizando la integridad de los resultados obtenidos. Además, al elaborar las referencias del marco teórico, se respetará la autoría de los investigadores correspondientes.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Actividades de la empresa

La mina Atacocha se dedica a la exploración y explotación de depósitos minerales, así como al procesamiento y venta de concentrados de zinc, plomo y cobre, que también contienen oro y plata.

Figura 7. *Unidad minera Atacocha.*



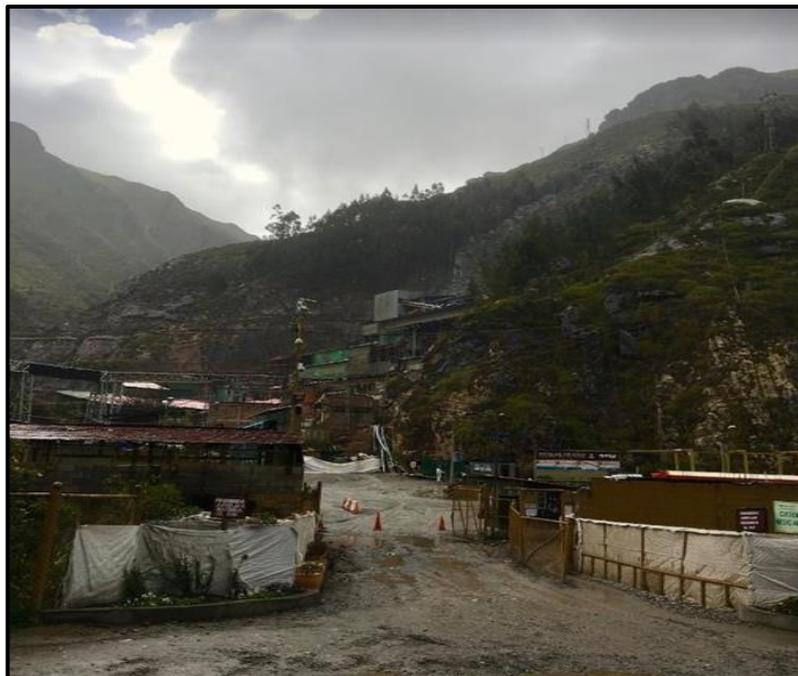
Producción de finos

Durante el año 2018, se registró una producción de 45.3 mil toneladas equivalentes de zinc. En comparación con el año anterior, esto representa una disminución del 4%, principalmente debido a la reducción en la ley de cabeza de plomo y oro. Asimismo, se observó una disminución en la producción de concentrados de plomo, lo que resultó en una menor cantidad de subproductos.

Exploración, reservas y recursos mineros

Durante el año 2018, la unidad minera Atacocha llevó a cabo actividades de exploración que incluyeron la perforación de 52,696 metros de perforación diamantina, con el objetivo de ampliar los cuerpos mineralizados y explorar nuevas áreas como San Gerardo subterráneo y la zona entre Atacocha y El Porvenir. Además, se realizaron 39,299 metros adicionales de perforación diamantina durante este período, con el fin de aumentar la certeza y recategorizar los recursos minerales a través del programa de infill.

Figura 8. *Entrada a la unidad minera Atacocha.*



Inventario de reservas y recursos

Se presenta a continuación un resumen del inventario de reservas y recursos de la Unidad Minera Atacocha al 31 de diciembre de 2018, tanto para la mina subterránea como para el tajo abierto de San Gerardo.

Figura 9. *Inventario de reservas y recursos, mina subterránea.*

Fecha: 31.12.2018					
Cut Off (NSR): SLS @61.99 US\$/t y CAF @71.13 US\$/t					
Reservas	Millones de Toneladas (Mt)	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (g/t)
Reservas probadas	1.63	3.49	2.14	0.20	94.8
Reservas probables	2.16	4.52	1.38	0.30	69.4
Total de reservas	3.79	4.08	1.71	0.26	80.3
Recursos	Millones de Toneladas (Mt)	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (g/t)
Recursos medidos	0.69	3.25	1.28	0.26	64.1
Recursos indicados	1.53	3.61	1.07	0.30	63.8
Subtotal Recursos	2.22	3.50	1.14	0.29	63.9
Recursos inferidos	4.95	3.46	1.52	0.35	102.7

Figura 10. *Inventario de reservas y recursos, en mina tajo abierto.*

Fecha: 31.12.2018						
Cut Off (NSR): 17.97 US\$/t						
Reservas	Millones de Toneladas (Mt)	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)
Reservas probadas	3.10	0.96	0.99	0.03	33.0	0.22
Reservas probables	2.93	0.92	1.06	0.03	32.7	0.21
Total de reservas	6.03	0.94	1.02	0.03	32.8	0.22
Recursos	Millones de Toneladas (Mt)	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)
Recursos medidos	1.47	1.47	0.88	0.05	30.1	0.22
Recursos indicados	2.27	1.13	0.87	0.05	29.3	0.23
Subtotal Recursos	3.74	1.26	0.88	0.05	29.6	0.23
Recursos inferidos	0.80	1.08	0.93	0.03	31.4	0.50

Explotación

En lo que respecta a las operaciones de explotación, se centraron en completar el túnel para la integración subterránea de las minas Atacocha y El

Porvenir, con el propósito de avanzar en la exploración de la "Zona Intermedia" para su futura extracción.

Inversiones y proyectos

Durante el año 2018, se destinaron US\$ 5.3 millones a proyectos de desarrollo en ingeniería en la Unidad de Atacocha. Entre estos proyectos, se destacan los trabajos para la integración subterránea con la mina El Porvenir y el establecimiento de un nuevo botadero de desmontes para dar continuidad al tajo de San Gerardo.

Figura 11. *Atacocha, Chicrín, Cerro de Pasco.*



4.1.2. Actividades de la empresa

Nexa Resources, Atacocha S.A.A. fue establecida en febrero de 1936 con el propósito de llevar a cabo actividades de exploración y explotación de

depósitos minerales, con el fin de producir concentrados de zinc, plomo y cobre.

Desde 2008, la empresa minera Atacocha forma parte del conglomerado Milpo, que a su vez es parte de la empresa minera brasileña Nexa Resources.

Durante 2018, se logró una significativa reducción en el número de accidentes gracias a la implementación de un nuevo plan de seguridad. Se realizó un cambio del método de extracción minera de "cut and fill" a "sub level stoping" con el objetivo de reducir costos, y se llevó a cabo un estudio de optimización del plan de sostenimiento de la mina subterránea.

Por otra parte, se logró estabilizar la producción de la planta concentradora en 4 500 toneladas por día mediante la optimización de la infraestructura primaria, incluyendo las correas transportadoras, trituradoras y la propia planta concentradora.

Además, en 2018 se obtuvo la modificación del estudio de impacto ambiental de Atacocha para incluir la exploración del tajo San Gerardo, y se están tramitando los permisos operativos correspondientes.

A lo largo del año, el proceso de integración operativa de las unidades de Pasco continuó según lo planificado, culminando con la integración de las minas subterráneas. El siguiente paso será la unificación de las operaciones para alcanzar sinergias en la producción de concentrados.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Resultados de la investigación de campo

El procedimiento del análisis, la selección y evaluación del floculante se realizó en 3 etapas diferentes: La primera es el análisis de los datos, informes y resultados de cada laboratorio externo, con el fin de analizar la veracidad de los datos y dar recomendaciones propias (del investigador) acerca de la metodología aplicada y características de cada floculante. La segunda es el

análisis y comparación de los floculantes en el laboratorio metalúrgico de la planta concentradora Atacocha de esta manera confirmar procedimentalmente los datos de los laboratorios externos. Finalmente, en la tercera etapa se evaluará el performance del floculante elegido en el espesador, también se controlará sus características a lo largo de 2 días cada hora para conocer si siguen los parámetros operativos esperados.

4.2.1.1. Laboratorio CHEMTREAT

El laboratorio “CHEMTREAT” analizo los resultados con distintos floculantes y variando la concentración y densidad para obtener resultados comprobados en distintas condiciones y afirmar su conclusión, el floculante utilizado actualmente en el espesador es “TFAR” que es el equivalente a “AR 5450”, a continuación, se evaluaron personalmente los datos provenientes de dicho laboratorio sin tomar en cuenta los resultados.

Tabla 2. Descripción de la pulpa enviada a CHEMTREAT proveniente de planta concentradora.

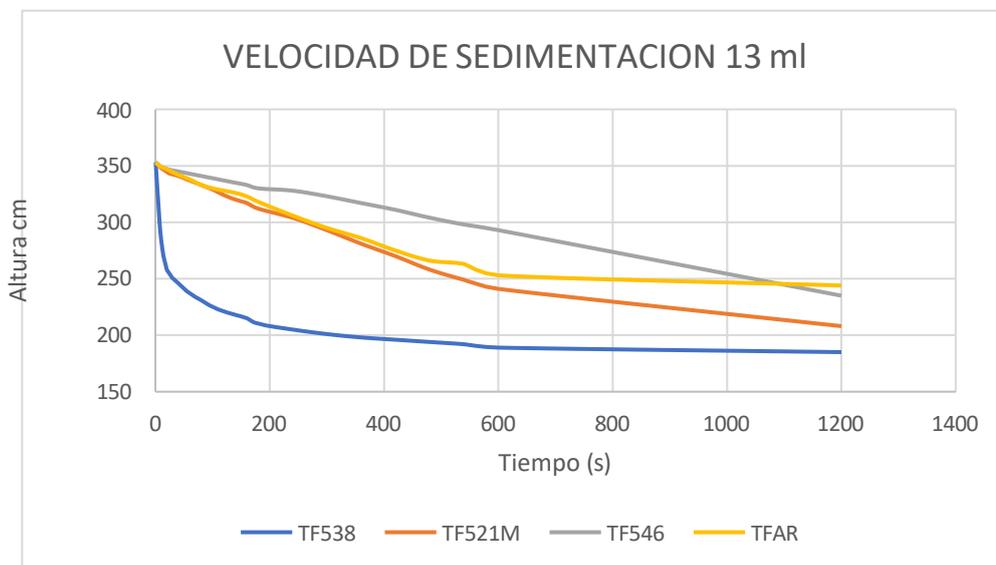
Cliente:	Densidad: 1310 gr/lit	Volumen: 28.5 lit.
ATACOCHA MINING – NEXA	%Sólidos: 28 Aprox.	
Nombre:	Origen: Planta Concentradora	Ge del solido: 2.89 gr/cc
Pulpa Mineral-Relave	Polimetálica Cu-Z	Ge del H2O: 1 gr/cc
pH de la Muestra: 8.38	Alcalinidad (CO3Ca): 780 mg/lit	AGF CAS 97mV Charge Analyzing System

Análisis a 13 ml de concentración de floculante por litro de pulpa:

Tabla 3. Resultados de sedimentación a 13 ml de concentración por litro de pulpa.

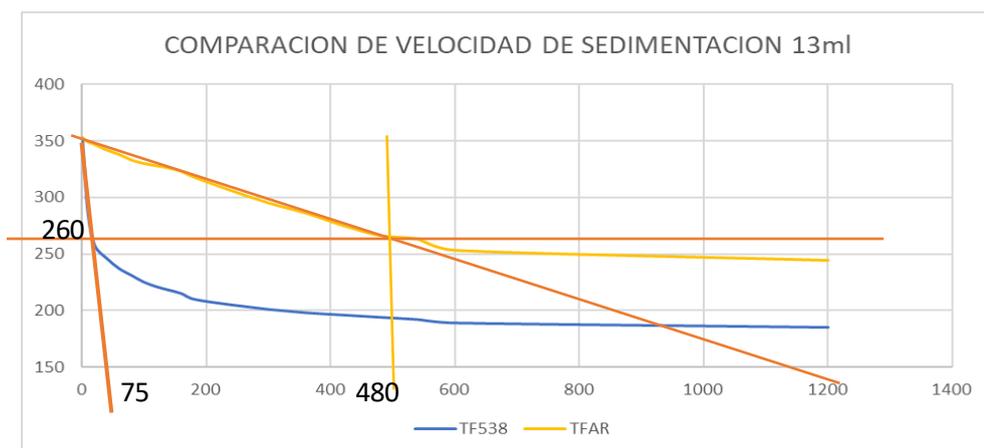
Tiempo	TF538	TF521M	TF546	TFAR
0.5	353	353	353	353
5	318	351	351	351
10	285	348	349	349
20	258	344	347	347
40	246	341	345	342
60	237	337	343	338
80	231	333	341	333
100	225	329	339	330
120	221	324	337	328
140	218	320	335	326
160	215	317	333	323
180	210	312	330	318
240	205	304	328	306
300	201	293	323	295
360	198	281	317	286
420	196	270	311	275
480	194	258	304	266
540	192	249	298	263
600	189	241	293	253
1200	185	208	235	244
D Inicial	1307	1309	1306	1305
D Underflow	2173	1975	1785	1730

Gráfica 1. Comparación de floculantes tiempo vs altura de sedimentación a 13ml.



Visiblemente el que tiene mayor velocidad de sedimentación es el floculante TF538 a comparación con los demás, ahora se hallara la velocidad de sedimentación de TF 538 y compararla con el TFAR que es el floculante utilizado actualmente:

Gráfica 2. Velocidad de sedimentación TF538 vs TFAR a 13ml.



$$V_{sed (TF538)} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{353 - 0}{75 - 0} = 0.470 \text{ cm/s}$$

$$V_{sed (TFAR)} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{353 - 260}{480 - 0} = 0.019 \text{ cm/s}$$

Resultados a 13ml de concentración:

- Velocidad de sedimentación TF 538 (m/h):	16.94
- Velocidad de sedimentación TFAR (m/h):	0.6975
- Densidad Underflow TF 538 (kg/m3):	2173
- Densidad Underflow TFAR (kg/m3):	1730

Los resultados muestran un incremento masivo de velocidad de sedimentación en una concentración de 13 ml de floculante por litro de pulpa, los resultados deben ser evaluados en el laboratorio metalúrgico debido a la cifra extremadamente grande de velocidad de sedimentación.

Los resultados de las densidades en underflow también son mayores con el floculante TF 538, lo cual permite un paso mayor de % sólidos y por lo tanto enviar más carga desde el espesador.

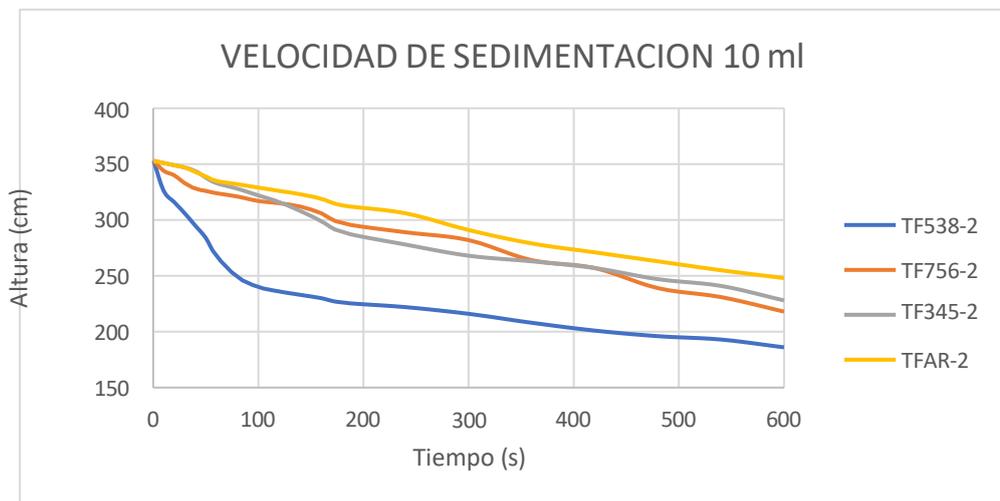
Análisis a 10 ml de concentración de floculante por litro de pulpa:

Tabla 4. Resultados de sedimentación a 13 ml de concentración por litro de pulpa.

Tiempo	TF538-2	TF756-2	TF345-2	TFAR-2
0.5	353	353	353	353
10	326	344	351	351
20	316	340	349	349
30	306	333	347	347
40	295	328	344	343
50	284	326	338	339
60	268	324	333	335
80	249	321	328	332
100	240	317	322	329
120	236	315	316	326
140	233	312	308	323
160	230	306	299	319
180	226	297	289	313
240	222	289	278	306
300	216	282	268	291
360	208	264	263	279
420	201	257	257	271
480	196	239	247	263

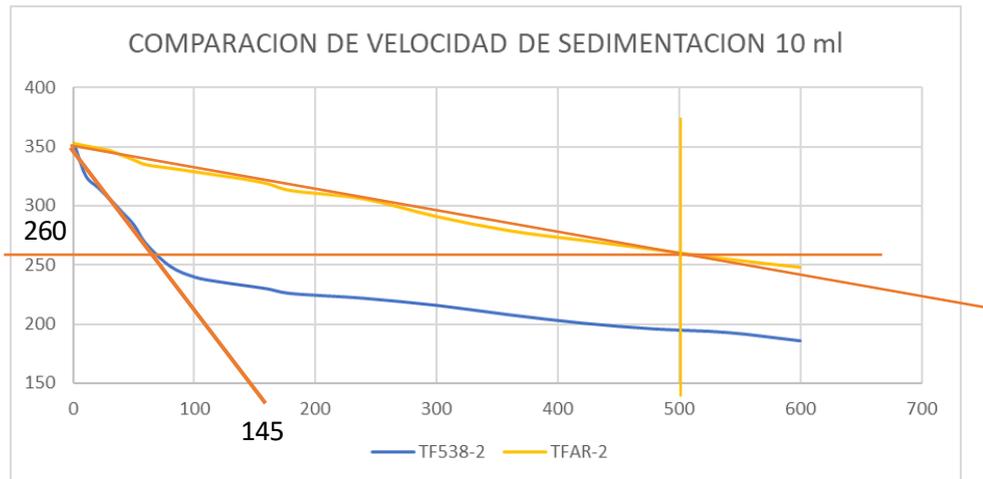
540	193	231	241	255
600	186	218	228	248
D Inicial	1310	1308	1310	1309
D Underflow	2169	1899	1835	1714
NTU	25	5	9	28

Gráfica 3. Comparación de floculantes tiempo vs altura de sedimentación a 10ml.



La grafica muestra que la velocidad de sedimentación mayor la posee TF538 a 10ml de concentración, así como a 13ml de concentración por litro de pulpa, sin embargo, la velocidad en todos los floculantes es evidentemente menos, de la misma manera que en el caso anterior se hallan las velocidades de sedimentación mediante las gráficas:

Gráfica 4. Velocidad de sedimentación TF538 vs TFAR a 10ml.



$$V_{sed (TF538)} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{353 - 0}{145 - 0} = 0.243 \text{ cm/s}$$

$$V_{sed (TFAR)} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{353 - 260}{500 - 0} = 0.017 \text{ cm/s}$$

Resultados a 10ml de concentración:

- Velocidad de sedimentación TF 538 (m/h): 8.76
- Velocidad de sedimentación TFAR (m/h): 0.628
- Densidad Underflow TF 538 (kg/m3): 2169
- Densidad Underflow TFAR (kg/m3): 1714

Los resultados muestran al igual que a 13ml de concentración un incremento masivo de velocidad de sedimentación sin embargo reducida al 50% a comparación de la muestra anterior, lo cual nos da indicios de que a menor sea la concentración del floculante en la pulpa, menor será la velocidad de sedimentación de esta, este efecto también es presenciado en la velocidad de sedimentación del floculante usado actualmente, así como la densidad en el underflow, las recomendaciones del caso (según los datos proporcionados por el laboratorio CHEMSTREAT) serán declaradas junto con los resultados finales.

4.2.1.2. Laboratorio GTM

Se realizaron las pruebas de sedimentación en el laboratorio de Corporación GTM del Perú SA, los floculantes evaluados en este laboratorio fueron: H100, H410, H610, H970 y AR5450 cuya diferencia radica en que algunos poseen tendencia iónica y otros aniónica. Se realizó un primer análisis usando el método screening de los productos (dosis en planta 13 gr/ton), en los cuales se evaluaron los parámetros de velocidad de sedimentación, %sólidos compactado y turbidez.

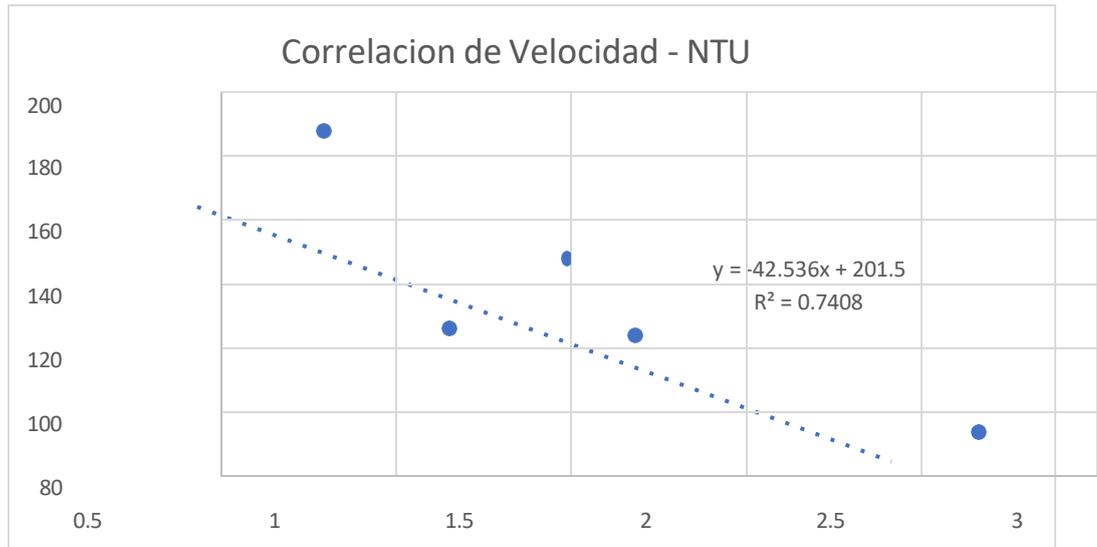
Para un mejor panorama al igual que el laboratorio CHEMTREAT Se realizaron pruebas de velocidad de sedimentación y turbidez variando la concentración entre 15 y 20 gr/ton, a continuación, se muestra el análisis los resultados enviados a la empresa:

Análisis a 13 g/ton de concentración de floculante:

Tabla 5. Resultados de pruebas de floculantes a 13 g/ton.

Prueba	gr/TM	Vel. Sed (m/h)	NTU
H100	13	1.68	123.4
H410	13	1.49	147.5
H610	13	2.66	93.2
H970	13	0.79	187.3
AR5450	13	1.15	125.6

Gráfica 5. Correlación entre velocidad de sedimentación y NTU.

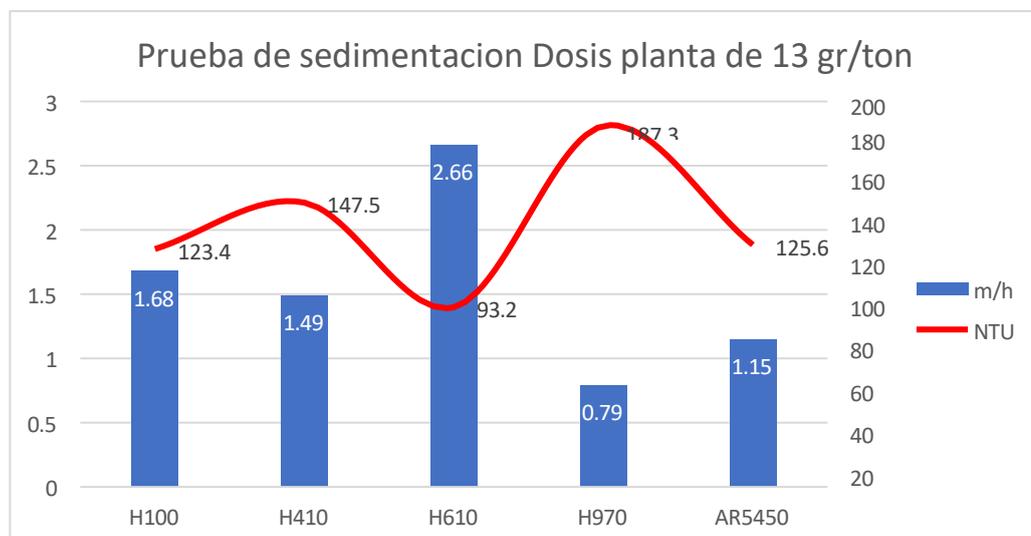


El gráfico de correlación de los datos de este laboratorio muestran que si la velocidad de sedimentación es mayor entonces la turbidez disminuye esta característica está a favor de los objetivos planteados ya que es importante tener la menor turbidez posible en la recuperación de agua postsedimentación.

Tabla 6. Condiciones de prueba Screening productos GTM.

Densidad de pulpa:	1,193.1 gr/lt
% solidos:	24.7
G.E.	2.9
Sol. Madre floc.	0.25%
Sol dilu floc	0.025%
Dosis (gr/ton)	13
Tiempo de sedimentación	10 min

Gráfica 6. Resultados de velocidad y NTU de floculantes a 13 gr/ton.



En el gráfico mostrado se observan las velocidades de sedimentación del screening de floculantes GTM. Se observa el incremento de la velocidad del H610 en aproximadamente 43% en comparación al utilizado en planta así también se observa la disminución de la turbidez de la solución, el floculante H610 cumple perfectamente con los objetivos planteados (aumento de velocidad, disminución de turbidez y aumento de densidad en underflow).

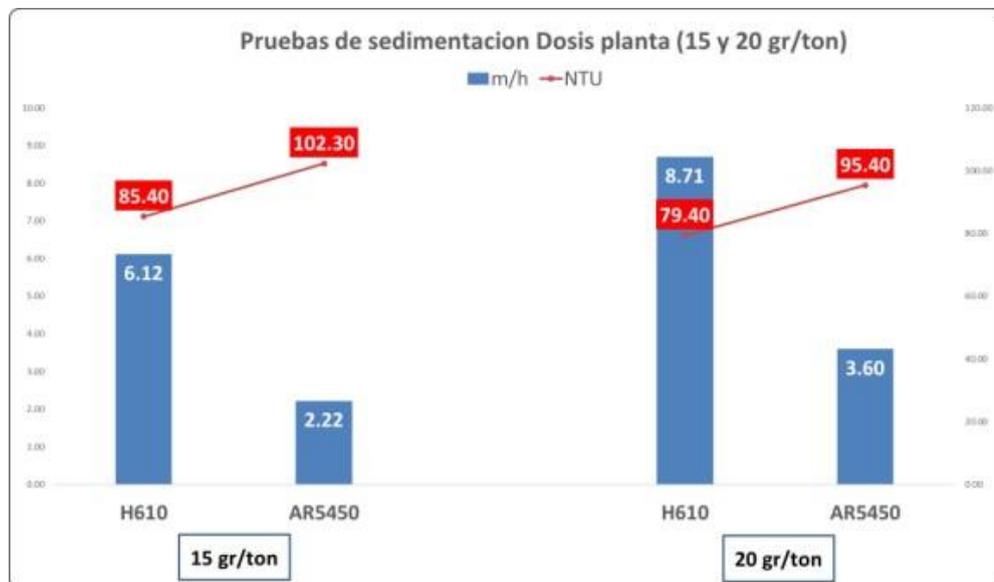
Análisis entre 15 g/ton a 20 g/ton de concentración:

Tabla 7. Resultados y discusión de las pruebas de sedimentación a 15 y 20 g/ton.

Prueba	gr/TM	Vel. Sed (m/h)	NTU	% solidos
H610	15	6.12	85.4	55.27
ARS450		2.22	102.3	45.81
H610	20	8.71	79.4	56.32
ARS450		3.6	95.4	51.41

Estos incrementos fueron de 15 y 20 gr/ton para observar el comportamiento de las velocidades y turbidez de la pulpa de relave. En estas dosificaciones se observó que la velocidad de sedimentación aumento 6.12 m/h y 8.71 m/h respectivamente mejorando el rendimiento del floculante, sin embargo, la turbidez también incrementa según aumente la concentración del floculante. Estos datos lo pueden observar en los siguientes gráficos.

Gráfica 7. resultados de H610 y AR5450 a 15 y 20 g/ton.



También se puede observar en estas pruebas de variación de concentración el comportamiento del % de sólidos. En la dosis estándar (13 gr/ton) se obtiene 54.25% de sólidos e incrementando la dosis a 15 y 20 gr/ton se obtiene 55.27% y 56.32% de sólidos. Tener en cuenta que estos datos se obtienen en 10 min de sedimentación, según los resultados del laboratorio.

4.2.1.3. Laboratorio ESTEC

Las pruebas realizadas en el laboratorio ESTEC están enfocadas completamente en las curvas de velocidad de sedimentación

probando distintos tipos de floculantes con características químicas diferentes, estos grupos son: Serie PHP, Serie Reológico, así como la comparación entre estas.

Cabe resaltar que el laboratorio no proporciono más información que las gráficas en su reporte, así que la veracidad de los resultados es improbable y para el trabajo realizado sirvió únicamente de referencia.

Características de la muestra:

Tabla 8. *Condiciones de pulpa en muestra laboratorio ESTEC.*

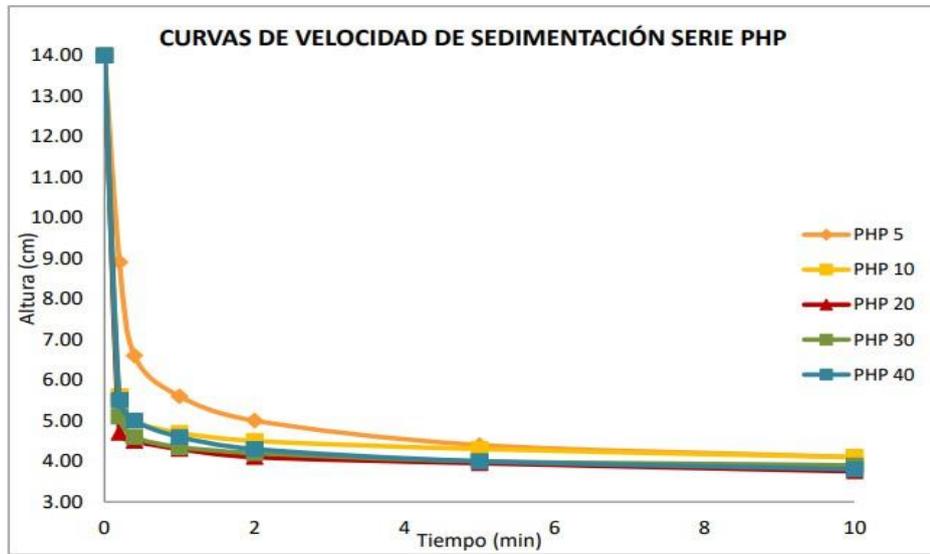
RELAVE FINAL	
Densidad	1200 g/l
Grav. Esp	2.9
% Solidos	25.4

Tabla 9. *Condiciones de pulpa en muestra laboratorio ESTEC.*

Productos	Serie PHP – Serie REOLOGICOS
Función	Floculante
Fabricante	SNF INC
Concentración de preparación	0.50%
Concentración de dilución	0.02%

Selección Floculante Serie PHP:

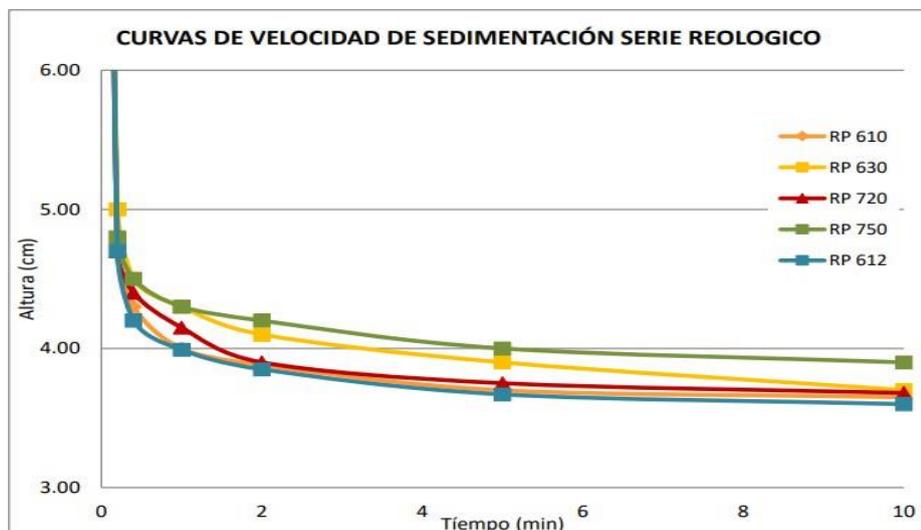
Gráfica 8. *Curvas de Sedimentación de Floculantes SERIE PHP.*



En el gráfico presentado el floculante PHP 20 presenta mejor velocidad de sedimentación en la serie PHP, sin embargo, la tendencia de los floculantes PHP (10, 20, 30, 40) es aproximada y similar, lo cual muestra una velocidad de sedimentación que varía en pocas unidades a excepción del floculante PHP 5, en este escenario se deben realizar pruebas de sedimentación adicionales para complementar y ajustar el análisis, de otra manera las recomendaciones quedan incompleta.

Selección Floculante Serie Reológico:

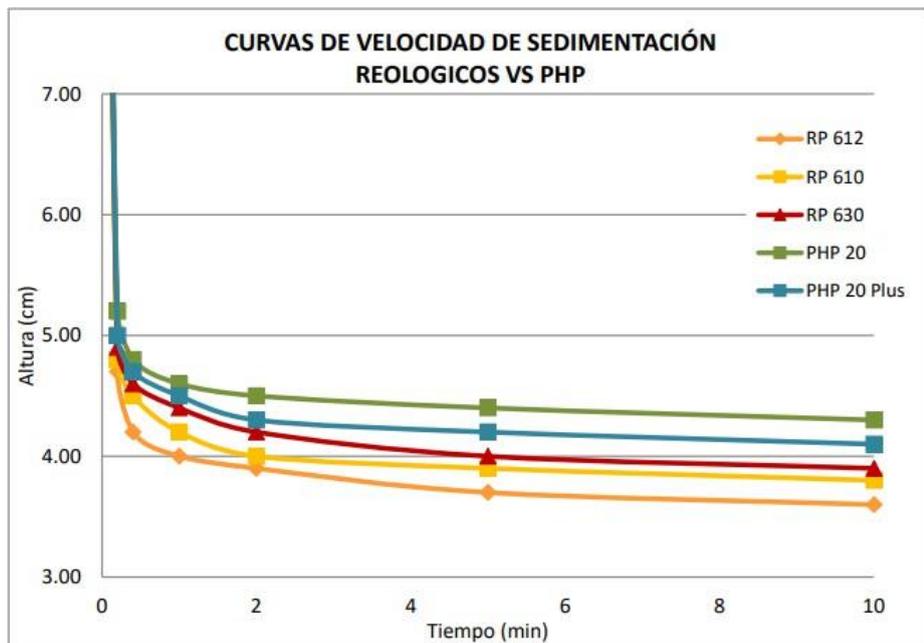
Gráfica 9. *Curvas de Sedimentación de Floculantes SERIE RP (Reológico).*



En las curvas mostradas de floculantes de SERIE RP, el RP 612 presenta mejor velocidad de sedimentación, con gran similitud al RP 610, para diferenciar las características entre ellos es necesario un análisis más profundo de los otros parámetros como turbidez o %solidos, datos que el laboratorio no provee.

Floculante Serie Reológico VS Serie PHP:

Gráfica 10. Comparación de curvas de sedimentación series PHP y RP.



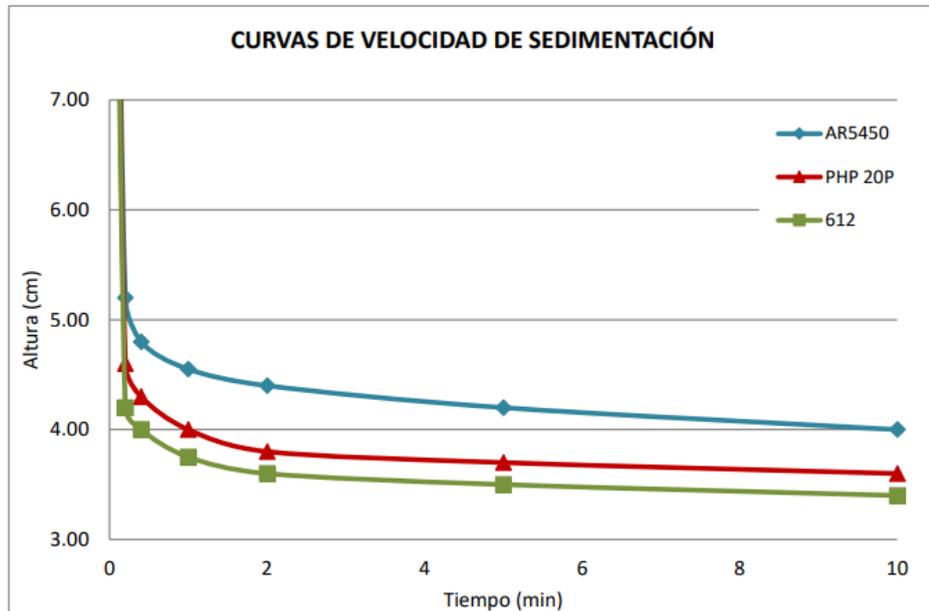
Al comparar las curvas de sedimentación de ambas series se puede apreciar la similitud entre ellas y que las curvas que presentan mayor velocidad de sedimentación en serie PHP y RP son: PHP 20plus y RP 612 respectivamente, siendo el RP 610 una alternativa similar en la serie RP, se puede apreciar y validar que la velocidad de la serie RP es mayor que la serie PHP.

Selección final de floculantes ESTEC:

Finalmente, los floculantes que obtuvieron mejores resultados en cuanto a velocidad de sedimentación en cada serie fueron comparadas con el floculante AR-5450 que vienen usando en planta Atacocha, mostrando gran

diferencia en la velocidad de sedimentación, esto se puede apreciar en el gráfico.

Gráfica 11. Comparación de floculantes de series PHP y RP con AR-5450.



4.2.1.4. Laboratorio Metalúrgico ATACOCHA

En el laboratorio metalúrgico de Atacocha se realizaron pruebas a las condiciones recomendadas a los laboratorios y con la concentración estándar de floculante trabajada en planta esto con el fin de validar los análisis externos, las pruebas realizadas fueron 3, la primera sin uso de floculantes (para ver las condiciones a mejorar). La segunda prueba fue usando el floculante estándar AR 5450 (para ver las condiciones actuales de la operación del espesador) y la tercera prueba fue con el floculante RP 612 (Floculante de mejores características según los resultados de los laboratorios externos, no se hizo pruebas con más floculantes debido a la dificultad de la obtención de estos por parte de la empresa), a continuación, se presentan los resultados de las pruebas, así como los indicadores medidos.

Análisis sin floculantes:

Se realizaron las pruebas según los métodos y procedimientos descritos previamente, así como la preparación de los floculantes y la pulpa, las características precisas de la muestra y las condiciones en que se realizaron las pruebas fueron:

Tabla 10. *Características de pulpa en laboratorio Atacocha, sin floculantes.*

Grav. Esp Sólido	2.8 g/cc
Densidad de Pulpa	1210.0 g/L
% Sólidos:	27.3 %
Con sólidos Inicial	330.0 g/L
Floculante/ Coágulo	0
Ph	8
Densidad U' esperada	1650.0 g/L
% Sólidos esperado	61.9 %
Concentración Sol Esperada	1021.4 g/L
Área de probeta	30.0 cm ²

Tabla 11. *Condiciones de prueba, sin floculantes.*

CONDICIONES DE PRUEBA	
Concentración	0%
Consumo	0

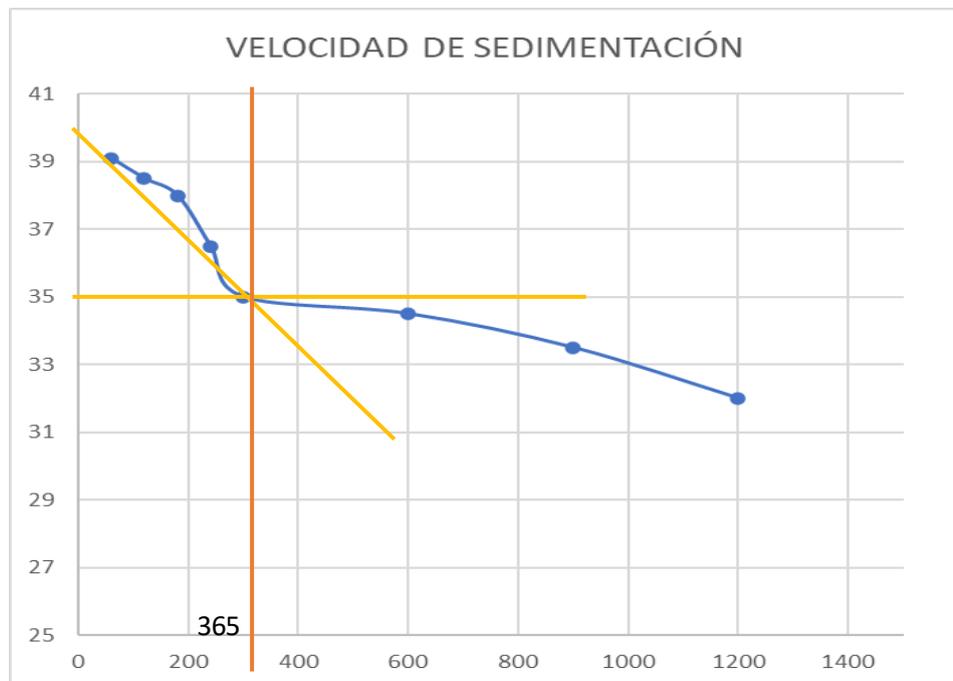
El monitoreo principal en esta etapa es la sedimentación y la velocidad en que sucede, para ello según lo descrito en el procedimiento se mide la distancia en función al tiempo.

Se determinan las velocidades de "Sedimentación Natural" (sin ningún floculante).

Tabla 12. Resultados de análisis de sedimentación, sin floculantes.

Distancia medida (cm)	Volumen	Tiempo	Pendiente de velocidad			h cm
0.9	973	60				39.1
1.5	955	120				38.5
2	940	180	0.997	1		38
3.5	895	240	0.929	0.9	895	36.5
5	850	300	0.943	0.9	850	35
5.5	835	600	0.805	0.8	835	34.5
6.5	805	900	0.817	0.8	805	33.5
8	760	1200	0.875	0.9	760	32

Gráfica 12. Velocidad de sedimentación de Pulpa sin floculantes.



$$V_{sed} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{40 - 35}{365 - 0} = 0.0136 \text{ cm/s}$$

51

Resultados Laboratorio Atacocha pulpa sin floculantes:

- Velocidad de sedimentación (m/h):	0.494
- Densidad volumen compactado (kg/l):	1.28
- % Solido de compactación:	34.02

Pulpa más floculante "ar 5450":

El floculante AR 5450 es el utilizado actualmente en la planta concentradora para la sedimentación en el espesador, sin embargo la velocidad de sedimentación no es la adecuada por el tipo de roca que proviene del procesamiento de planta, anteriormente las características de la pulpa eran diferentes, debido a que la unidad extraía mineral de subterráneo y superficial la densidad y el % de solidos eran menores que las trabajadas actualmente (datos desconocidos con precisión por ser parte de la operación de la empresa NEXA), actualmente la planta solo procesa mineral proveniente de superficie TSG (Tajo San Gerardo) cuya dureza, densidad y % de solidos luego del procesamiento son mayores, las características principales analizadas en el laboratorio son las siguientes:

Tabla 13. Características de pulpa en laboratorio Atacocha, floculante AR 5450.

Grav. Esp Solido	2.8 g/cc
Densidad de Pulpa	1210.0 g/L
% Solidos:	27.3 %
Con solidos Inicial	330.0 g/L
Floculante/ Coagulo	30

Ph	8
Densidad U' esperada	1650.0 g/L
% Solidos esperado	61.9 %
Concentración Sol Esperada	1021.4 g/L
Área de probeta	30.0 cm ²

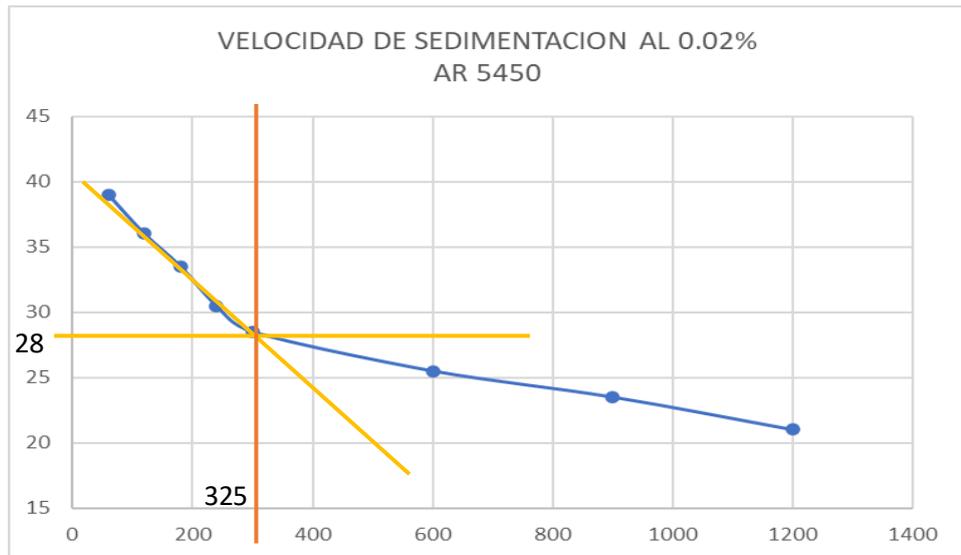
Tabla 14. *Condiciones de prueba, floculante AR 5450.*

CONDICIONES DE PRUEBA	
Concentración	0.02%
consumo	18.18

Tabla 15. *Resultados de análisis de sedimentación, floculante AR 5450.*

Distancia medida (cm)	Volumen	Tiempo	Pendiente de velocidad		h cm
1	970	60			32.33
4	880	120			29.3
6.5	805	180	0.997	1	26.8
9.5	715	240	0.999	1	23.8
11.5	655	300	0.996	1	21.8
14.5	565	600	0.85	0.9	565
16.5	505	900	0.828	0.8	505
19	430	1200	0.852	0.9	430

Gráfica 13. Velocidad de sedimentación de Pulpa con AR 5450.



$$V_{sed} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{40 - 28}{325 - 0} = 0.0369 \text{ cm/s}$$

Resultados Laboratorio Atacocha AR 5450:

- Velocidad de sedimentación (m/h): 1.329
- Densidad volumen compactado (kg/l): 1.49
- % Solido de compactación: 51.56

Pulpa más floculante "rp 612":

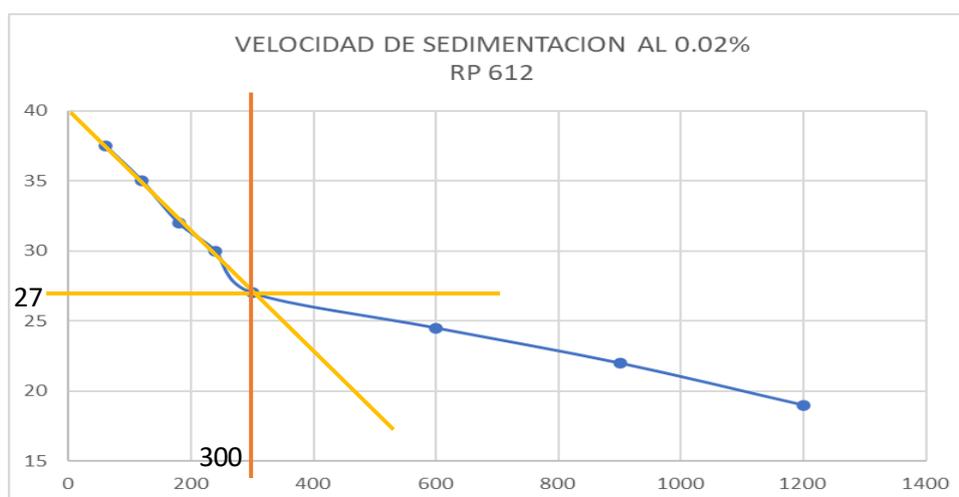
Debido a las recomendaciones y al análisis propio de los datos de los laboratorios externos se concluyó que el floculante adecuado es el RP 612 por sus características de sedimentación y turbidez a comparación de otros, es por ello que se analizara este floculante en el laboratorio metalúrgico de Atacocha con el fin de corroborar los resultados y estimar las mejoras de operación.

Las condiciones y características de la pulpa son las mismas que las usadas en el floculante AR 5450, así la comparación de resultados será evaluadas y validadas.

Tabla 16. Resultados de análisis de sedimentación, floculante RP 612.

Distancia medida (cm)	Volumen	Tiempo	Pendiente de velocidad			h cm
2.5	925	60				37.5
5	850	120				35
8	760	180	0.997	1		32
10	700	240	0.995	1		30
13	610	300	0.997	1		27
15.5	535	600	0.849	0.8	535	24.5
18	460	900	0.845	0.8	460	22
21	370	1200	0.878	0.9	370	19

Gráfica 14. Velocidad de sedimentación de Pulpa con RP 612.



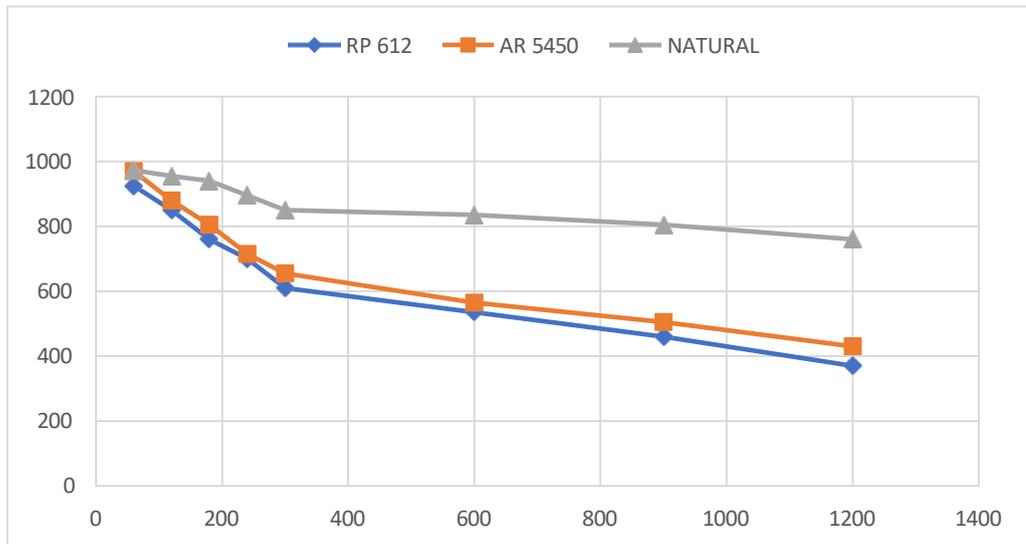
$$V_{sed} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{40 - 27}{300} = 0.0433 \text{ cm/s}$$

Resultados Laboratorio Atacocha RP 612:

- Velocidad de sedimentación (m/h): 1.56
- Densidad volumen compactado (kg/l): 1.57
- % Solido de compactación: 56.9

Diferencia entre las curvas de velocidad de sedimentación:

Gráfica 15. Diferencia entre las curvas de velocidad de sedimentación.



Las curvas muestran que el floculante RP 612 tiene mayor velocidad de sedimentación a comparación del floculante usado en la actualidad en Atacocha AR 5450, por lo tanto, se evaluarán las características en operación monitoreada en el espesador cada hora.

Parametros operativos con floculante “rp612”:

Tabla 17. Resultados de monitoreo en STR con floculante RP 612.

Fecha	Hora	Floculante	Vel SPX 30 RPM	Consumo gr/Tn	Torque PSI	Densidad kg/L	Turbidez NTU	h clarificada m	CONSUMO TOTAL kg
11/09/2023	10:00		980	26.22	546	1.64	30	3.3	
	11:00		882	24.78	451	1.62	40	3.3	
	12:00		882	24.78	444	1.65	42	3.3	
	13:00		882	24.78	366	1.63	45	3.3	
	14:00		784	19.57	370	1.65	50	3.3	
	15:00		882	24.78	410	1.67	54	3.3	
	16:00		882	24.78	405	1.67	58	3.3	
	17:00	RP 612	882	24.78	426	1.65	67	3.3	69.88
	18:00		882	24.78	430	1.66	80	3.3	
	19:00		882	24.78	460	1.65	79	3.3	
	20:00		882	24.78	190	1.7	51.8	3.3	
	21:00		882	24.78	447	1.71	61.2	3.3	
	22:00		882	24.78	471	1.691	78.3	3.3	
	23:00		882	24.78	510	1.655	67.5	3.3	
00:00		882	24.6	200	1.605	62.3	3.3		
12/09/2023	01:00		882	24.65	420	1.665	69.5	3.3	
	02:00		882	24.65	182	1.615	76.5	3.3	
	03:00		882	24.65	391	1.654	83.4	3.3	
	04:00		882	24.65	190	1.652	51.2	3.3	
	05:00		882	24.65	240	1.618	58.4	3.3	
	06:00		882	24.65	228	1.616	65.1	3.3	
	07:00		882	24.65	295	1.63	72.5	3.3	
	08:00	RP 612	882	24.65	130	1.5	54.5	3.3	92.6592
	09:00		882	24.65	351	1.66	57	3.3	
	10:00		784	19.5	206	1.63	54	3.3	
	11:00		784	19.5	350	1.65	54	3.3	
	12:00		784	19.5	381	1.64	53	3.3	
	13:00		784	19.5	299	1.65	57	3.3	
	14:00		784	19.5	348	1.68	69.5	3.3	
15:00		686	16.83	381	1.66	75	3.3		
16:00		686	16.83	230	1.66	79	3.3		

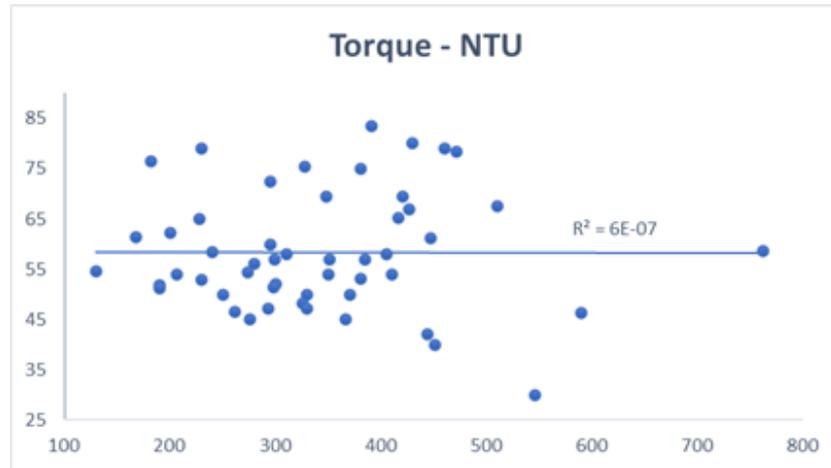
17:00	686	16.83	385	1.66	57	3.3	
18:00	686	16.83	300	1.64	52	3.3	
19:00	686	16.83	250	1.65	50	3.3	
20:00	686	16.83	261	1.638	46.6	3.3	
21:00	686	16.83	293	1.62	47.1	3.3	
22:00	686	16.83	273	1.657	54.4	3.3	
23:00	686	16.83	325	1.635	48.3	3.3	
00:00	686	16.83	230	1.632	52.9	3.3	
01:00	686	17.01	167	1.592	61.4	3.3	
02:00	686	16.83	416	1.657	65.2	3.3	
03:00	686	16.83	328	1.668	75.3	3.3	
04:00	686	16.83	762	1.732	58.6	3.3	
05:00	686	16.83	590	1.659	46.3	3.3	
06:00	686	16.83	330	1.615	47.1	3.3	
07:00	RP 612	16.83	298	1.61	51.4	3.3	36.77355
08:00	686	16.83	280	1.654	56	3.3	
09:00	686	16.83	295	1.6	60	3.3	
10:00	686	16.83	310	1.642	58	3.3	
11:00	686	16.83	275	1.58	45	3.3	
12:00	686	16.83	330	1.64	50	3.3	

13/09/2023

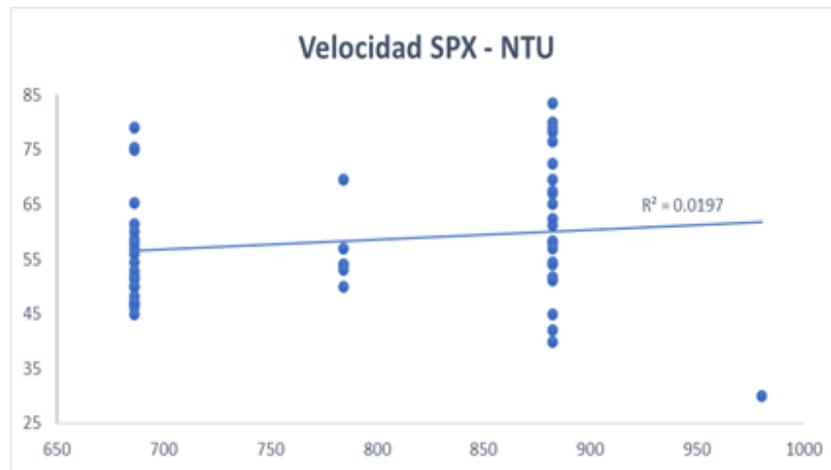
Se monitoreó el espesador en el STR y las características de la pulpa enviadas a la presa, se eligió un monitoreo por hora debido a que las medidas fueron más estables, se procederá a evaluar la importancia y correlación de cada variable con la densidad de la pulpa y el consumo de floculante, esto con el fin de aumentar el envío de relave a la presa y analizar económicamente si es conveniente el uso del floculante RP 612 o continuar con el AR 5450 usado en la actualidad.

Análisis de correlación de variables monitoreadas:

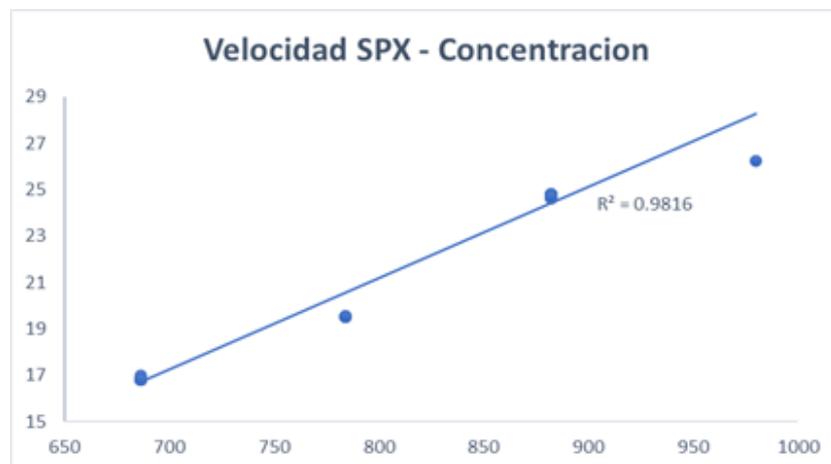
Gráfica 16. *Correlación entre torque y NTU.*



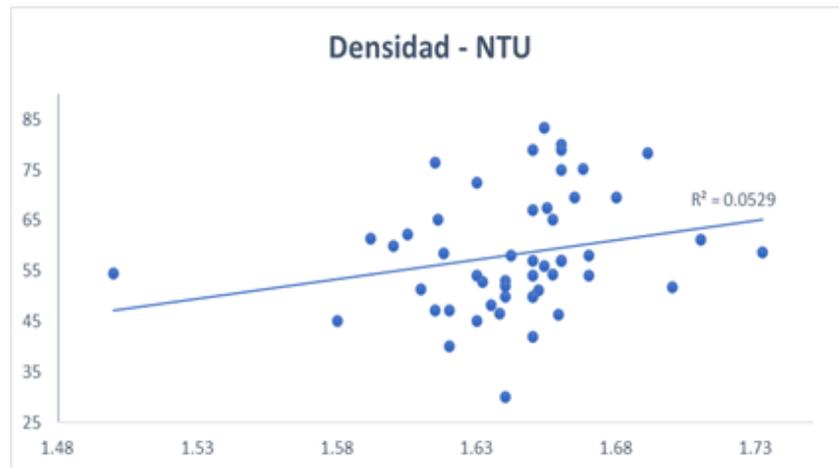
Gráfica 17. *Correlación entre velocidad SPX y NTU.*



Gráfica 18. *Correlación entre velocidad SPX y Concentración.*



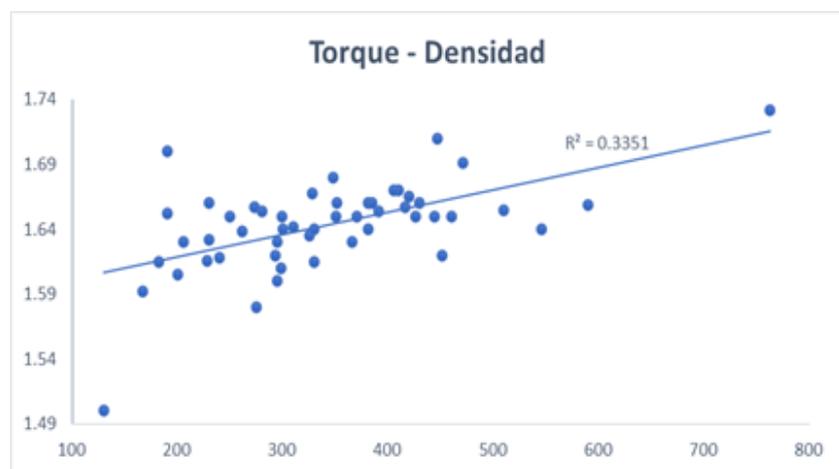
Gráfica 19. *Correlación entre densidad y NTU.*



Gráfica 20. *Correlación entre concentración y densidad.*



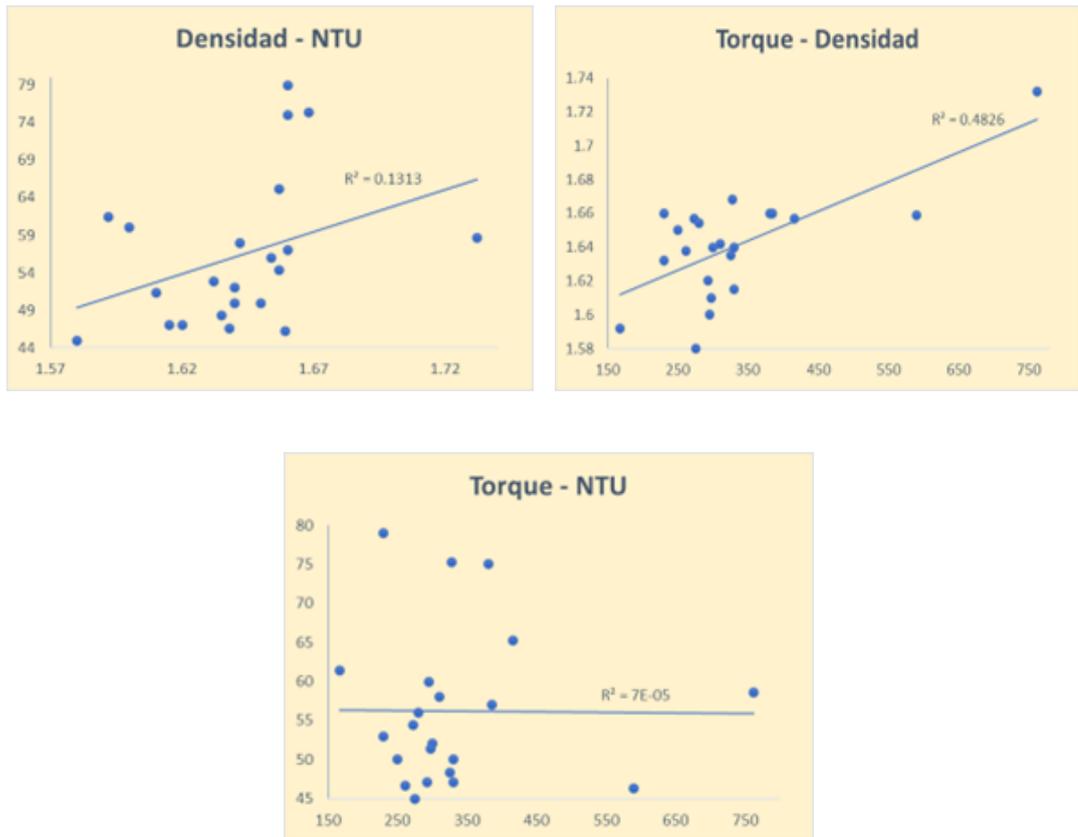
Gráfica 21. *Correlación entre torque y densidad.*



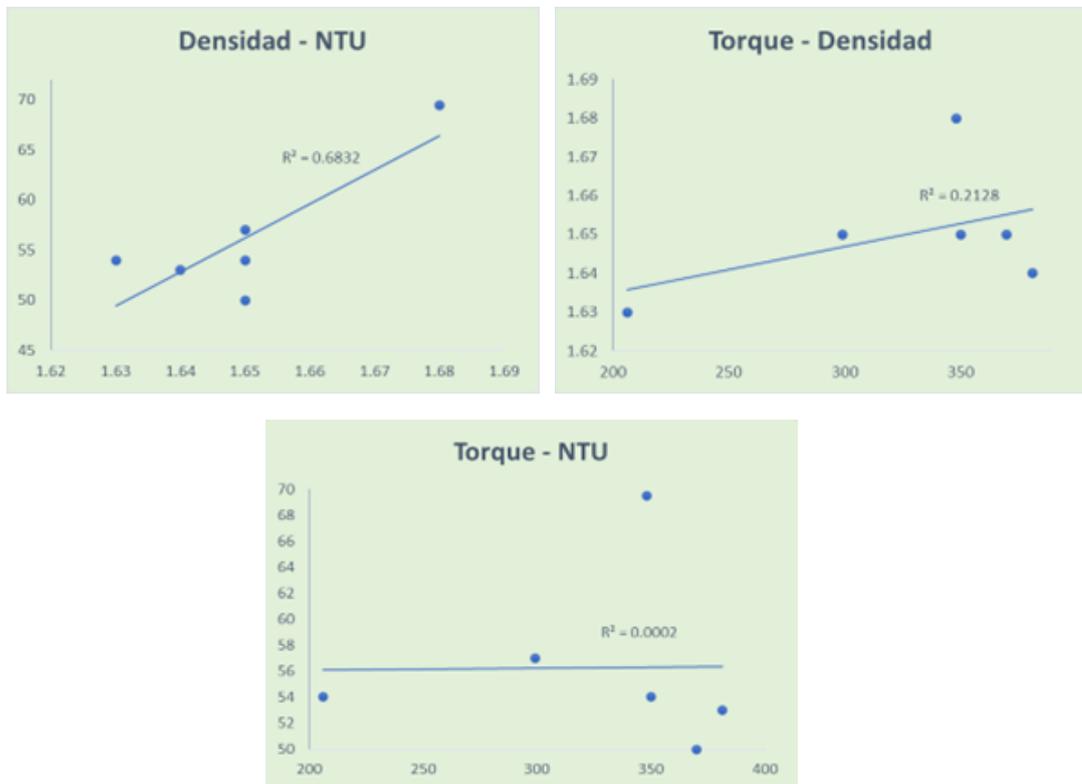
Los gráficos de correlación muestran cuanto influyen las variables entre sí, los que tienen mayor índice de correlación varían uniformemente entre si y son dependientes una de la otra, teniendo en cuenta este valor los resultados de la correlación de variables son la siguientes:

- La velocidad de sedimentación y la concentración del floculante usado son altamente correlacionales lo cual indica que mientras para que la velocidad se incremente se necesita más concentración de floculante.
- El toque vs la turbidez (NTU), la concentración vs la densidad al igual que la densidad vs la turbidez (NTU) presentan índices de correlación cercanas a cero lo cual indica que la turbidez del agua no depende ni de la densidad enviada a la presa de relaves ni del torque del espesador.
- El torque vs la densidad presenta un índice de correlación moderado, lo cual indica que una depende de la otra, pero no son proporcionales entre sí, sin embargo, sus tendencias si tienen relación.
- La concentración del floculante vs la densidad del relave, así como la velocidad de sedimentación vs la turbidez presentan agrupaciones por lo que su correlación no es válida entonces se procedió a hacer un filtro por velocidades, como la velocidad y concentración son altamente correlacionables el filtro también aplica para la concentración.

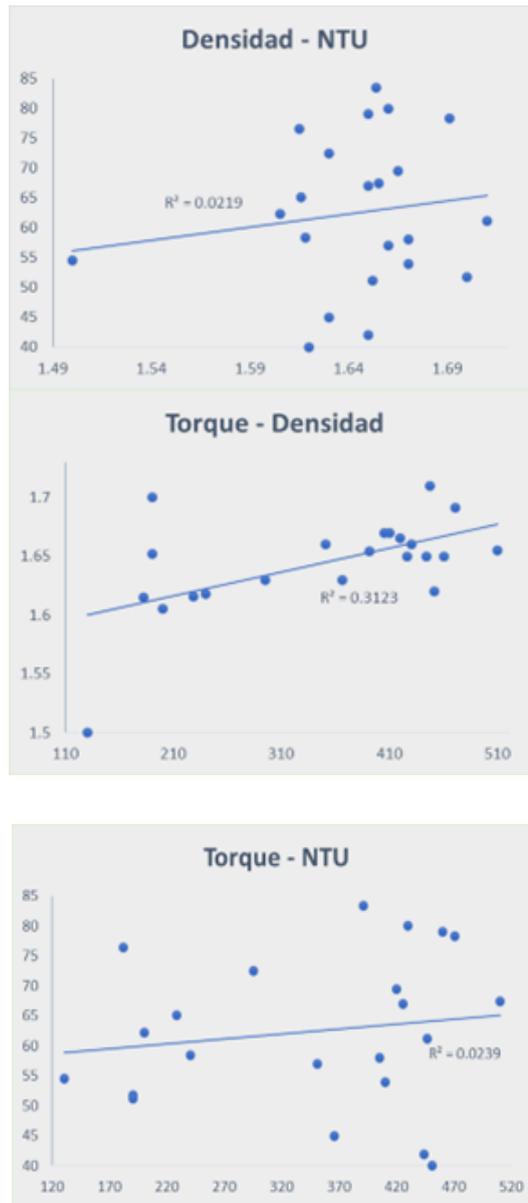
Gráfica 22. Correlación de variables para velocidad SPX 686.



Gráfica 23. Correlación de variables para velocidad SPX 784.



Gráfica 24. Correlación de variables para velocidad SPX 882.



El análisis de correlación filtrado por velocidad – Concentración de floculante confirma la baja correlación entre torque vs turbidez, también comprueba la correlación existente entre torque vs densidad enviada a presa, así mismo se da indicios de una correlación entre densidad vs turbidez mientras la velocidad sea más baja (confirma las hipótesis teóricas ya que mientras mayor sea la densidad se usará más

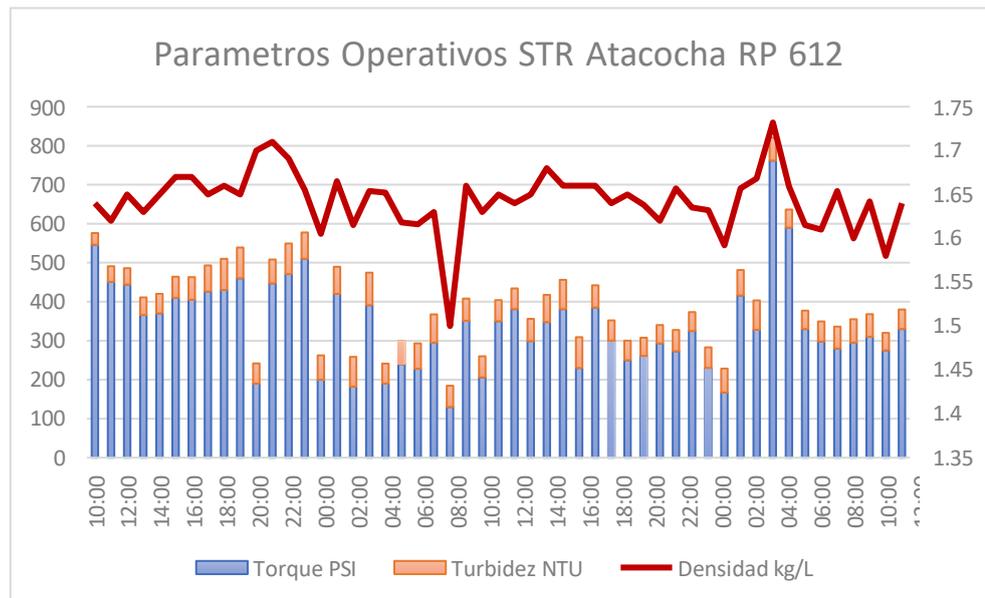
velocidad y torque entonces habrá más partículas en suspensión aumentando la turbidez).

Con estos resultados ya se pueden dar conclusiones y recomendaciones del estudio realizado, a continuación, se muestra los valores promedio de la filtración por velocidad y la descripción general del monitoreo al STR.

Tabla 18. Valores esperados según la velocidad y consumo de floculante RP 612.

Vel SPX 30 RPM	686	784	882	980
Consumo gr/Tn	16.83	19.50	24.49	26.22
Torque PSI	332.23	333.20	348.13	546.00
Densidad kg/L	1.64	1.65	1.64	1.64
Turbidez NTU	56.21	63.39	61.92	30.00

Gráfica 25. Monitoreo en STR Atacocha – Presa de relaves.



Análisis de granulometría en el espesador:

Finalmente se analiza la granulometría de la pulpa, para controlar el envío a través del sistema de tuberías parte del STR, se separó las curvas granulométricas antes (10 de setiembre), durante (11 de setiembre) y después (15 de setiembre) del monitoreo, con el fin de ver si esta cambiaba según variaban variables de control (velocidad y torque) del espesador.

Tabla 19. Análisis granulométrico en STR Atacocha.

MALLA	MICRONES	10/09/2023			11/09/2023			15/09/2023		
		PESO (gr.)	% PESO	ACUM (-)	PESO (gr.)	% PESO	ACUM (-)	PESO (gr.)	% PESO	ACUM (-)
0.375	9525	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%
0.25	6350	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%
5	4000	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%
10	2000	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%
20	841	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%	0	0.00%	100.00%
40	400	14.8	4.93%	95.07%	11.43	3.81%	96.19%	13.82	4.61%	95.39%
50	297	21.08	7.03%	88.04%	20.87	6.96%	89.23%	23.76	7.92%	87.47%
70	210	30.66	10.22%	77.82%	31	10.33%	78.90%	30.84	10.28%	77.19%
100	149	31.8	10.60%	67.22%	34.03	11.34%	67.56%	29.75	9.92%	67.28%
140	105	30.34	10.11%	57.11%	30.68	10.23%	57.33%	27.96	9.32%	57.96%
200	74	22.46	7.49%	49.62%	24.98	8.33%	49.00%	23.2	7.73%	50.22%
270	53	18.23	6.08%	43.54%	19.5	6.50%	42.50%	21.07	7.02%	43.20%
325	44	5.7	1.90%	41.64%	6.09	2.03%	40.47%	8.3	2.77%	40.43%
400	37	3.71	1.24%	40.41%	3.35	1.12%	39.36%	4.83	1.61%	38.82%
-400		121.22	40.41%	0.00%	118.07	39.36%	0.00%	116.47	38.82%	0.00%
TOTAL		300	1		300	1		300	1	

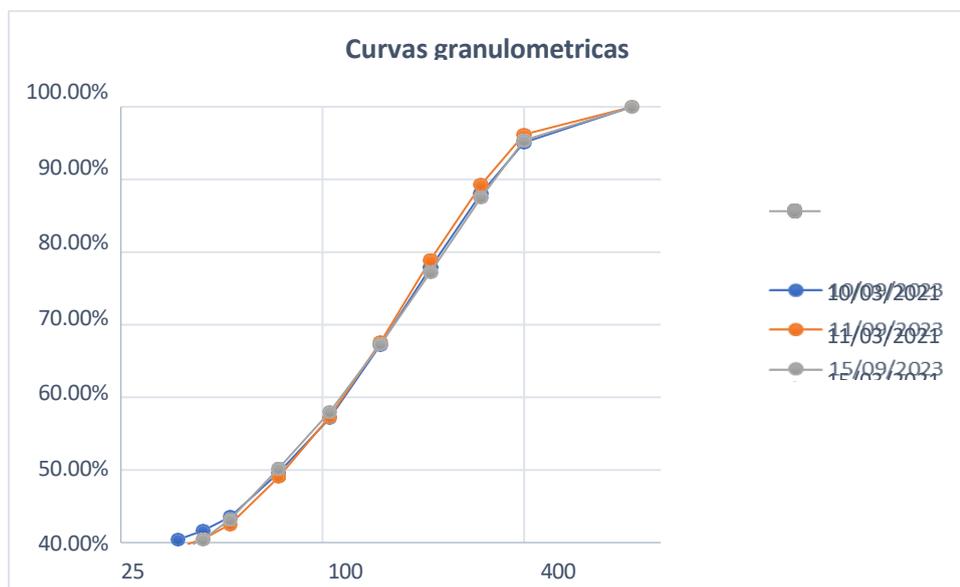
Las celdas marcadas están resaltadas porque es ahí donde se encuentra el P80 indicador de granulometría, los resultados de granulometría son los siguientes:

Tabla 20. Resultados de P80 en monitoreo STR.

FECHA	K80	m + 200	m - 400
10/11/2023	226.95	50.38	40.41
11/11/2023	218.35	51	39.36
15/11/2023	231.86	49.78	38.82

La diferencia del P80 en las pruebas varían entre -2% y +2% lo cual es un rango que indica que la granulometría se ha mantenido constante a pesar del uso de distinto floculante y variaciones de velocidad y torque.

Gráfica 26. Curvas de granulometría monitoreo STR Atacocha.



4.3. Prueba de Hipótesis

Existe suficiente evidencia estadística para el utilizar agente de sedimentación específico para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

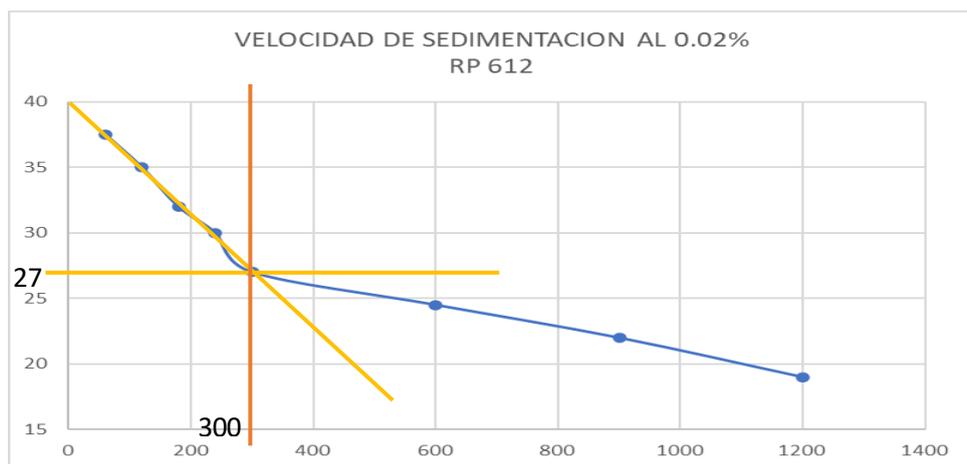
H₀: **No Existe** suficiente evidencia estadística para el utilizar agente de sedimentación específico para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

H_a: **Existe** suficiente evidencia estadística para el utilizar agente de sedimentación específico para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.

Tabla 21. Resultados de sedimentación con floculante RP 612 en el laboratorio Atacocha.

Distancia medida (cm)	Volumen	Tiempo	Pendiente de velocidad		h cm
2.5	925	60			37.5
5	850	120			35
8	760	180	0.997	1	32
10	700	240	0.995	1	30
13	610	300	0.997	1	27
15.5	535	600	0.849	0.8	24.5
18	460	900	0.845	0.8	22
21	370	1200	0.878	0.9	19

Gráfica 27. Velocidad de sedimentación de Pulpa con floculante RP 612 en el laboratorio Atacocha.



$$V_{sed} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{40 - 27}{300} = 0.0433 \text{ cm/s}$$

Tras un exhaustivo estudio estadístico, se acepta la hipótesis alterna debido al análisis minucioso de los datos provenientes tanto de los laboratorios externos como de nuestro propio análisis interno. Como resultado, se ha determinado que el floculante más idóneo para nuestras necesidades es el RP 612. Este floculante ha demostrado una velocidad de sedimentación notable, registrando una cifra de 0.0433 cm/s. Además, su desempeño en términos de sedimentación y turbidez se destaca significativamente en comparación con otros floculantes similares disponibles en el mercado. Este veredicto respalda la decisión de optar por el RP 612 como la opción preferida para el tratamiento de agua, proporcionando una solución efectiva y eficiente para nuestras aplicaciones específicas.

Resultados:

- Velocidad de sedimentación (m/h):	1.56
- Densidad volumen compactado (kg/l):	1.57
- % Solido de compactación:	56.9

4.4. Discusión de resultados

A continuación, presentamos un cuadro con las características medidas en cada laboratorio, así como los puntos acertados y errados según el análisis propio realizado en el laboratorio Atacocha.

Tabla 22. Análisis realizados por laboratorios.

Evaluación \ Laboratorio	ChemTreat	GTM	ESTEC	Atacocha
Informe	si	si	si	si
Datos de pruebas	si	no	no	si
Resultados de pruebas	si	si	si	si
Uso de floculantes de distintas series	no	no	si	no
Variación de concentración	si	si	no	si
Análisis de velocidad de sedimentación	si	si	si	si
Análisis de NTU (turbidez)	si	si	no	si
Análisis de % solidos	no	si	no	si
Análisis densidad underflow	si	no	no	si
Análisis de correlación de variables	no	no	no	si
Análisis granulométrico	no	no	no	si
Total de análisis realizados	7	6	4	10
Puntaje de valoración	63.6%	54.5%	36.4%	90.9%

Los resultados analizados provenientes del laboratorio ChemTreat muestran claridad y aproximación a los obtenidos en el laboratorio Atacocha, un punto fuerte de esto es que presentaron los datos obtenidos en sus evaluaciones.

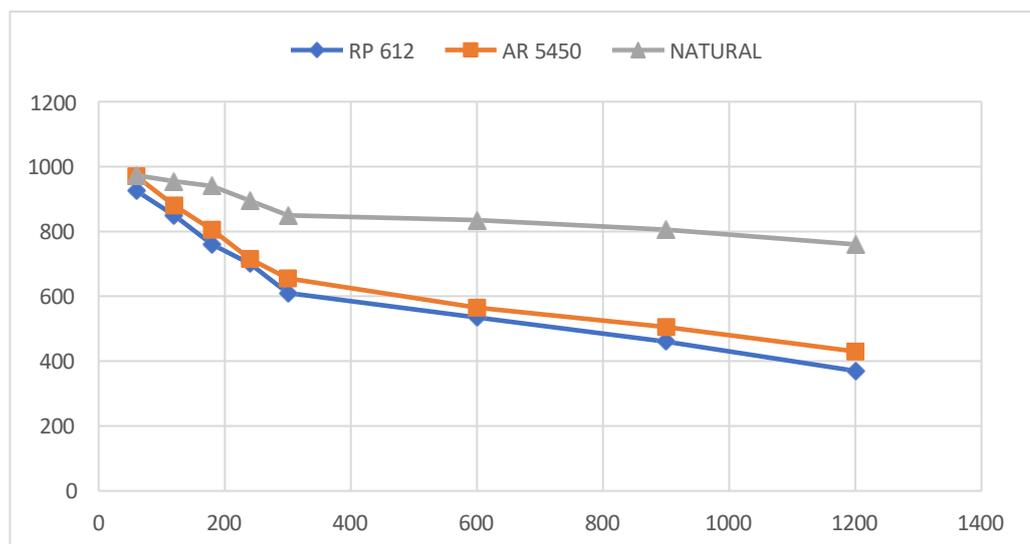
Las evaluaciones provenientes del laboratorio GTM solo fueron analizados atreves de sus resultados ya que no se proporcionó los datos obtenidos, añadido a esto los valores de velocidad y turbidez son poco confiables ya que no se aproximan a los hallados en el laboratorio Atacocha (posiblemente por analizar en condiciones diferentes, y la turbidez directamente en el espesador y no en una muestra externa).

El laboratorio ESTEC solo presento graficas de velocidad de sedimentación, esto deja con muy poca confianza los resultados obtenidos, además de no presentar resultados numéricos ni resultados de otras variables necesarias para los objetivos del proyecto (turbidez, %solidos), como punto positivo uso floculantes de distintas series químicas y las comparo entre ellas.

Los análisis en el laboratorio Atacocha fueron de elaboración propia con ayuda de colaboradores del laboratorio de NEXA, los monitoreos fueron realizados en el STR (Sistema de Transporte de Relaves) y los resultados obtenidos por el Laboratorio de la planta de procesamiento de minerales Atacocha, el análisis de los datos provenientes de cada laboratorio, así como los obtenidos fueron de elaboración propia, así como cada conjetura, demostración y grafico en el presente informe.

Además, los resultados realizados en las tres pruebas determinan la diferencia entre las curvas de velocidad de sedimentación.

Gráfica 28. Diferencia entre las curvas de velocidad de sedimentación en el laboratorio Atacocha.



Las curvas muestran que el floculante RP 612 tiene mayor velocidad de sedimentación a comparación del floculante usado en la actualidad en

Atacocha AR 5450, por lo tanto, se evaluarán las características en operación monitoreada en el espesador cada hora.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las pruebas realizadas en el laboratorio ESTEC a las mismas condiciones los Floculantes RP 612 y Floculante PHP 20 Plus, son los que brindan mejor velocidad de sedimentación y claridad de agua en comparación con el AR-5450, el RP 612 tiene características similares al RP 610, este último es usado por GTM con el nombre de GFloc H610, considerando estos resultados en los reportes el laboratorio de Atacocha utilizo el RP 612 para los análisis respectivos y el monitoreo.

Es preciso indicar que la preparación para todos los floculantes fueron a la misma concentración 0,02%, dosificación 13.10 gr/TM, también se hicieron pruebas variando esta concentración con el fin de evaluar la correlación con las otras variables medidas.

En el análisis de correlación de variables utilizando el floculante RP 612 y monitoreado en el STR los resultados obtenidos fueron que la velocidad de sedimentación varía directamente proporcional a la concentración del floculante, que la turbidez no depende de ninguna variable, que en las pruebas con RP 612 superan los 93 NTU, que la densidad underflow (relave enviado a la presa) depende en baja correlación del torque y finalmente que si el torque aumenta la velocidad de sedimentación también ya que son directamente proporcionales.

Se observa que el floculante RP 612 presenta mejores resultados que el floculante utilizado en planta AR 5450 en velocidad de sedimentación, sin embargo, presenta más NTU que las medidas en la operación actual (cuyo límite es de 50 NTU, esta medida difiere con el obtenido por el laboratorio GTM).

El análisis de granulometría muestra que el tamaño de partícula es independiente de las variables de sedimentación u operación del STR y que aproxima su valor a 220 micras.

Para aumentar la velocidad de sedimentación se debe aumentar el consumo de floculante, sin embargo, esto trae como consecuencias el aumento de torque y

aumento de turbidez, sin embargo, también la densidad aumenta con lo cual se afirma que se envía más relave por el STR, el aumentar el consumo y la turbidez son puntos negativos para la operación, entonces se concluye que debe usar esta alternativa de manera situacional.

Como conclusión final se demuestra con los resultados que el floculante RP 612 es el de mejores características evaluadas en los laboratorios externos en referencia a la velocidad de sedimentación y es bueno con altas densidades, así como con torque alto, sin embargo, aumenta el índice de turbidez.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el análisis de los floculantes TF 538, RP 610 que, aunque posean características similares al RP 612 no fueron analizados en la operación de STR y es evidente que cuando el floculante usado es distinto, las correlaciones entre variables son diferentes.

Se recomienda directamente a la operación que si el toque es bajo se use el floculante actual AR 5450 ya que la turbidez esta debajo de 50 NTU, sin embargo, si el torque sube usar el floculante RP 612 que aumentara la densidad enviada a la presa de relaves y posee una mayor velocidad de sedimentación, aunque afecta la turbidez se debe usar situacionalmente hasta regular el torque, esta recomendación es proveniente de los análisis anteriores y la correlación de variables monitoreadas.

Se recomienda hacer monitoreos constantes durante largos periodos de tiempo con distintos floculantes con el fin de tener una base de datos apreciables para usar herramientas computacionales potentes para la simulación de escenarios y cambio de parámetros operativos, entre ellas el Machine Learning.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calancha Mamani, M. L. (2020). Evaluación de la cinética de sedimentación y precipitación de metales para optimizar el tratamiento de pulpa de relaves de la Unidad Minera San Rafael Puno – Perú [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3279388>
- Crespo Moreno, C. C., & Muñoz Blanco, A. K. (2021). Estudio de parámetros operativos en espesador de relaves para mejorar calidad de agua recuperada y efluentes en Minera El Brocal S.A.A. [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2698269>
- Espinoza Montes, C. (2010). Metodología de investigación tecnológica.
- Hernández Sampieri, R. (2014a). Construcción de un instrumento para medir el clima organizacional en función del modelo de los valores en competencia. *Contaduría y Administración*, 59(1), 229-257.
- Hernández Sampieri, R. (2014b). Metodología de la investigación. En S. A. D. C. V. McGRAW- HILL / INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Sexta, Vol. 53, Número 9).
- Supo, J. (2012). Como Empezar una Tesis. https://www.academia.edu/35930546/LIBRO_validar_un_instrumento_de_jose_sup
- Vera Abara, F. K. (2019). Aumento de porcentaje de sólido de descarga de los espesadores de relave a través de la metodología full potencial en Minera los Pelambres. [Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica.]. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/338>

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos
Resultados de monitoreos realizados según el tipo de floculante

Fecha	Hora	Floculante	Vel SPX 30 RPM	Consumo gr/Tn	Torque PSI	Densidad kg/L	Turbidez NTU	h clarificada m	CONSUMO TOTAL kg
11/09/2023	10:00	RP 612	980	26.22	546	1.64	30	3.3	69.88
	11:00		882	24.78	451	1.62	40	3.3	
	12:00		882	24.78	444	1.65	42	3.3	
	13:00		882	24.78	366	1.63	45	3.3	
	14:00		784	19.57	370	1.65	50	3.3	
	15:00		882	24.78	410	1.67	54	3.3	
	16:00		882	24.78	405	1.67	58	3.3	
	17:00		882	24.78	426	1.65	67	3.3	
	18:00		882	24.78	430	1.66	80	3.3	
	19:00		882	24.78	460	1.65	79	3.3	
	20:00		882	24.78	190	1.7	51.8	3.3	
	21:00		882	24.78	447	1.71	61.2	3.3	
	22:00		882	24.78	471	1.691	78.3	3.3	
	23:00		882	24.78	510	1.655	67.5	3.3	
	00:00		882	24.6	200	1.605	62.3	3.3	
12/09/2023	01:00	RP 612	882	24.65	420	1.665	69.5	3.3	92.6592
	02:00		882	24.65	182	1.615	76.5	3.3	
	03:00		882	24.65	391	1.654	83.4	3.3	
	04:00		882	24.65	190	1.652	51.2	3.3	
	05:00		882	24.65	240	1.618	58.4	3.3	

	06:00		882	24.65	228	1.616	65.1	3.3	
	07:00		882	24.65	295	1.63	72.5	3.3	
	08:00		882	24.65	130	1.5	54.5	3.3	
	09:00		882	24.65	351	1.66	57	3.3	
	10:00		784	19.5	206	1.63	54	3.3	
	11:00		784	19.5	350	1.65	54	3.3	
	12:00		784	19.5	381	1.64	53	3.3	
	13:00		784	19.5	299	1.65	57	3.3	
	14:00		784	19.5	348	1.68	69.5	3.3	
	15:00		686	16.83	381	1.66	75	3.3	
	16:00		686	16.83	230	1.66	79	3.3	
	17:00		686	16.83	385	1.66	57	3.3	
	18:00		686	16.83	300	1.64	52	3.3	
	19:00		686	16.83	250	1.65	50	3.3	
	20:00		686	16.83	261	1.638	46.6	3.3	
	21:00		686	16.83	293	1.62	47.1	3.3	
	22:00		686	16.83	273	1.657	54.4	3.3	
	23:00		686	16.83	325	1.635	48.3	3.3	
	00:00		686	16.83	230	1.632	52.9	3.3	
13/09/2023	01:00	RP 612	686	17.01	167	1.592	61.4	3.3	36.77355
	02:00		686	16.83	416	1.657	65.2	3.3	
	03:00		686	16.83	328	1.668	75.3	3.3	
	04:00		686	16.83	762	1.732	58.6	3.3	
	05:00		686	16.83	590	1.659	46.3	3.3	

06:00	686	16.83	330	1.615	47.1	3.3
07:00	686	16.83	298	1.61	51.4	3.3
08:00	686	16.83	280	1.654	56	3.3
09:00	686	16.83	295	1.6	60	3.3
10:00	686	16.83	310	1.642	58	3.3
11:00	686	16.83	275	1.58	45	3.3
12:00	686	16.83	330	1.64	50	3.3

Resultados de monitoreo sin floculante

DISTANCIA MEDIDA (cm)	VOLUMEN	TIEMPO	PENDIENTE DE VELOCIDAD			H cm
0.9	973	60				39.1
1.5	955	120				38.5
2	940	180	0.997	1		38
3.5	895	240	0.929	0.9	895	36.5
5	850	300	0.943	0.9	850	35
5.5	835	600	0.805	0.8	835	34.5
6.5	805	900	0.817	0.8	805	33.5
8	760	1200	0.875	0.9	760	32

Resultados de monitoreo del floculante AR 5450

DISTANCIA MEDIDA (cm)	VOLUMEN	TIEMPO	PENDIENTE DE VELOCIDAD		H cm
1	970	60			32.33
4	880	120			29.3
6.5	805	180	0.997	1	26.8
9.5	715	240	0.999	1	23.8
11.5	655	300	0.996	1	21.8
14.5	565	600	0.85	0.9	565
16.5	505	900	0.828	0.8	505
19	430	1200	0.852	0.9	430

Resultados de monitoreo del floculante RP 612

DISTANCIA MEDIDA (cm)	VOLUMEN	TIEMPO	PENDIENTE DE VELOCIDAD		H cm	
2.5	925	60			37.5	
5	850	120			35	
8	760	180	0.997	1	32	
10	700	240	0.995	1	30	
13	610	300	0.997	1	27	
15.5	535	600	0.849	0.8	535	24.5
18	460	900	0.845	0.8	460	22
21	370	1200	0.878	0.9	370	19

Matriz de Consistencia

Tema: “Evaluación de Agentes de Sedimentación para Optimizar el Tratamiento de Efluentes Mineros en la Unidad Minera

Atacocha S.A.A.-Nexa Resources”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	DISEÑO	POBLACIÓN
¿Cómo evaluar los agentes de sedimentación para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources?	Evaluar los agentes de sedimentación para optimizar el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.	Evalutando los agentes de sedimentación se optimiza el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.	Evaluación de agentes de sedimentación.	Dosificación. Tipos de agentes. Velocidad de sedimentación.	Diseño: Descriptivo correlacional Tipo de Investigación Aplicada.	La población de estudio se encuentra constituido por los efluentes mineros que ingresa al espesador, producto del procesamiento de minerales y captación de taludes en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	MUESTRA
¿Como evaluar los agentes químicos en el proceso de sedimentación de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources?	Evaluar los agentes químicos en el proceso de sedimentación de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources.	Evalutando los agentes químicos en el proceso de sedimentación se regulará los efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha	Optimizar el tratamiento de efluentes mineros.	Incremento de descarga. Control de rebose.	Método Experimental	La muestra está constituida por tres pruebas obtenida durante el muestreo incremental en el laboratorio de la Unidad Minera Atacocha

<p>¿Cuáles son los parámetros óptimos para el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources?</p>	<p>Determinar los parámetros óptimos para el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources</p>	<p>S.A.A.-Nexa Resources. Al optimizar algunos parámetros en el tratamiento de efluentes mineros en la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-Nexa Resources. Se consigue mejorar el proceso de sedimentación</p>		<p>Eficiencia</p>	<p>Enfoque Cuantitativo</p>	<p>S.A.A.-Nexa Resources.</p>
--	--	---	--	-------------------	---	-------------------------------

Panel Fotográfico



Presas de relave unidad minera Atacocha



Homogenizado de relave para poner a las probetas de un litro



Gravedad específica de relave



Altura de sedimentación de relaves



Materiales para la prueba experimental



Turbidímetro portátil