

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería

Metalúrgica

Profesor Patrocinante

Dr. Leopoldo Gutiérrez B.

Ingeniero Supervisor

Ing. Oliver Hamann K.

**AUMENTO DE PORCENTAJE DE SÓLIDO DE
DESCARGA DE LOS ESPESADORES DE
RELAVE A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA
FULL POTENCIAL EN MINERA LOS
PELAMBRES**

FERNANDA KARIME VERA ABARA

Informe de Memoria de Título

para optar al Título de

Ingeniero Civil Metalúrgico

Julio 2019

AGRADECIMIENTOS

En este momento en el que se está cerrando esta etapa que es tan significativa, e importante, es necesario hacer una pausa, mirar hacia atrás, evaluar los obstáculos que ya han sido superados y agradecer a las personas que han vivido este proceso conmigo.

Es clave agradecer a mi familia, a mis hermanos Marcelo y Constanza, que a la distancia estuvieron preocupados por mí y me apoyaron constantemente. Es muy importante agradecer a mi abuelito Alfonso que siempre con su actitud positiva estuvo ahí en todo el proceso y sobre todo a mi mamá Leyla, quien es el mejor regalo que la vida me pudo dar, gracias a ella hoy soy quien soy, inculcando siempre los valores, el esfuerzo y la importancia de hacer las cosas bien. Ella es mi fiel compañera en todas mis aventuras, procesos y cambios.

La vida universitaria no es fácil, pero permitió formar lazos que espero que perduren eternamente como, la Cata quien es como una hermana para mí, los constantes bailes y bromas del Seba, los interminables estudios con Emilio, las risas con la Noe, los carretes donde Matute y las eternas conversaciones con la Anita. Gracias por quererme y aceptarme a pesar de ser un poco ingrata.

Es importante destacar la actitud y el apoyo, del Profe Leo, quien siempre tuvo excelente disposición a hablar y ayudar, y en los momentos en que vi todo complejo él siempre lo hizo parecer más fácil.

Por último, pero no menos importante, agradecer a MLP, por la oportunidad de vivir esta etapa con ellos a la gerencia de TFT, a la planta, recursos hídricos, innovación y por sobre todo a Excelencia Operacional.

Gracias a mi tutor Oliver, con quien forme lazos que espero que nunca se rompan, gracias por la confianza depositada, por ayudarme a superar miedos, por mostrarme que en el trabajo las relaciones interpersonales son lo más importante, que el esfuerzo y la constancia son recompensadas.

A Paola por su constante apoyo y preocupación, gracias a ella todo este proceso fue mucho más simple, por sus buenos deseos, y por la amistad que pudimos formar. A Fernanda que en ella pude encontrar una amiga que fue muy importante en este proceso, por escucharme en todo momento y principalmente por todos los momentos alegres que pudimos compartir.

“Siempre parece imposible hasta que se hace”

Nelson Mandela

RESUMEN

El espesamiento es una técnica de separación sólido-líquido ampliamente utilizada en las plantas concentradoras de sulfuros de cobre. Su objetivo principal es recuperar agua desde las pulpas generadas en las plantas de concentración o ajustar el sólido para un determinado proceso posterior. Esta técnica se desarrolla en equipos llamados espesadores.

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo y se hace necesario establecer su debida extracción y uso en toda nación de manera sustentable, para así evitar que la escasez del recurso hídrico pueda inhibir el desarrollo del país. Minera Los Pelambres no es la excepción, ya que no sólo es un habilitador crítico para la operación, sino que también afecta a otros actores del valle del Choapa, lo que impacta en las relaciones de la empresa con las comunidades.

Esta investigación está orientada a generar propuestas de mejora para aumentar el porcentaje de sólido de descarga en los espesadores de relave de Minera Los Pelambres con la metodología Full Potencial. Se analizaron las condiciones actuales, identificando oportunidades de mejora, en cuanto a condiciones operacionales (instrumentación, actual condición de los equipos, dosificación de reactivo) y comportamiento operacional en los diferentes turnos. Además, se evaluó si el actual reactivo es el idóneo para las futuras condiciones operacionales. Para esto se realizaron pruebas de laboratorio con distintos floculantes del tipo "modificador reológico", evaluando el comportamiento en distintas condiciones operacionales, diferentes muestras de mineral (Fase 7 y Fase 10) y distintos rangos de pH.

Los resultados obtenidos muestran que hay un potencial de mejora de aumentar el sólido de descarga en 3 puntos porcentuales, si se reemplaza el reactivo actual SNF 2350 por SNF 804. Los resultados en las distintas fases, la fase 10N alcanza valores de velocidad de sedimentación de 24 (m/h) y un máximo de compactación del 59 % de sólido a un pH de 8.7; La fase 7R alcanza valores máximos de velocidad de sedimentación de 27.6 (m/h) a un pH 9.3 y un máximo de compactación del 64.4% de sólido a un pH de 8.7; La fase mezcla presenta un valor máximo de velocidad de sedimentación de 27.2 a un pH 9.3 y un máximo de compactación de un 62%. Una conducta repetitiva para las 3 fases de la evaluación, a mayor pH hay una tendencia al aumento en los valores de *yield stress* para un mayor porcentaje de sólido.

ABSTRACT

Thickening is a solid-liquid separation technique widely used in copper sulfide concentrator plants. Its main objective is to recover water from the pulps generated in the concentrator plant or to adjust the solid for a certain subsequent process. This technique is carried out in equipment called thickeners.

Water is a fundamental resource for any country's development, and it is necessary to establish its sustainable use to prevent that the lack of water hinders the country's development. Minera Los Pelambres is not the exception, because water is not only a critical input for the operation, but also affects people in the Choapa valley, which impacts on the company's relations with the communities.

This research aims to propose improvement for the tailings thickeners at Minera Los Pelambres with the Full Potential methodology, aiming to increase the percentage of solid discharge. The current conditions were analyzed, identifying opportunities for improvement. In terms of operational conditions (instrumentation, current equipment condition, reagent dosing), and operators' performance during their shifts. In addition, it was evaluated if the current reagent is the the best option for future operating conditions. For this, laboratory tests were carried out with different "rheological modifier" flocculants, evaluating the behavior in different operating conditions, different ore samples (Phase 7 and Phase 10) and different pH values.

The results show that if the current reagent, SNF 2350, is replaced by SNF 804 there is an increase in the discharge of solids of 3%. The results in the different phases, the 10N phase reaches a settling velocity value of 24 (m/h) and a maximum of compaction of 59% solid at pH 8.7; Phase 7R reaches a maximum settling velocity value of 27.6 (m/h) at pH 9.3 and a maximum compaction of 64.4% of solid at a pH of 8.7; The mixing phase has a maximum settling velocity value of 27.2 at pH 9.3 and a maximum compaction of 62%. A repetitive behavior for the 3 phases of the evaluation, at higher pH there is a tendency to increase the values of yield stress for a higher percentage of solid.

ÍNDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. | Objetivos | 2 |
| 2 | ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.1. | Línea de proceso Minera Los Pelambres | 4 |
| 2.2. | Descripción proceso de espesamiento de relave en MLP | 7 |
| 2.2.1. | Detalles de equipo: Espesador | 8 |
| 2.2.2. | Planta floculante..... | 10 |
| 2.2.3. | Sistema de transporte de relaves | 12 |
| 2.2.4. | Geología y caracterización de unidades Geo-Metalúrgicas | 16 |
| 2.2.5. | Condición Hídrica MLP | 17 |
| 3 | Marco Teórico..... | 20 |
| 3.1. | Floculantes..... | 20 |
| 3.1.1. | Tipos de floculante..... | 22 |
| 3.1.2. | Modificadores reológicos..... | 22 |
| 3.1.3. | Velocidad de sedimentación | 24 |
| 3.2. | Reología | 24 |
| 3.2.1. | Yield stress, tipos de fluidos..... | 25 |
| 3.2.2. | Respuestas Reológicas típicas. | 25 |
| 4 | METODOLOGÍAS | 27 |
| 4.1. | Metodología <i>Full Potencial</i> | 27 |
| 4.1.1. | Determinación de los parámetros a evaluar | 29 |
| 4.2. | Desarrollo Experimental Pruebas de laboratorio | 30 |
| 4.2.1. | Equipos y Procedimiento | 30 |
| 4.2.2. | Muestras, Variables y descripción de las pruebas a realizar | 35 |
| 5 | RESULTADOS Y DISCUSIONES | 38 |
| 5.1. | Resultados análisis metodología full potencial. | 38 |

| | |
|---|----|
| 5.1.1. Hallazgos en los parámetros evaluados | 38 |
| 5.1.2. Propuesta de valor del análisis <i>Full Potencial</i> | 46 |
| 5.2. Resultados pruebas de laboratorio | 48 |
| 5.2.1. Evaluación Floculante..... | 48 |
| 5.2.2. Sedimentación Dinámica | 60 |
| 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 67 |
| 6.1. Conclusiones | 67 |
| 6.2. Recomendaciones (Propuestas de mejora) | 68 |
| 7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS | 70 |
| 8 ANEXOS | 72 |
| 8.1. Anexo A: Conceptos generales de espesamiento..... | 72 |
| 8.2. Anexo B: Unidades Geo Metalúrgicas de MLP y comparación de fases 7 y 10 .. | 78 |
| 8.3. Anexo C: Comportamientos de los fluidos No Newtonianos..... | 79 |
| 8.4. Anexo D: Planilla utilizada para la extracción de datos para los 3 espesadores | 82 |
| 8.5. Anexo E: Porcentaje de utilización por espesador y porcentaje del tiempo operando con 1, 2 o 3 espesadores..... | 83 |
| 8.6. Anexo F: Ejemplo análisis comportamiento mensual espesadores con respecto al tonelaje y la utilización (Enero 2018) | 84 |
| 8.7. Anexo G: Tabla de frecuencia de datos torque TK 050, TK 051 y TK 712..... | 87 |
| 8.8. Anexo H: Planilla de control de dosificación de floculante, variabilidad en la dosificación en el 2018..... | 88 |
| 8.9. Anexo I: Tabla de frecuencia de datos dosis floculante..... | 89 |
| 8.10. Anexo J: Tabla de frecuencia de datos de porcentaje de sólido de descarga del TK 050, TK 051, TK 712 y su respectivo histograma | 90 |
| 8.11. Anexo K: Plan de implementación en plataforma Shibumi..... | 92 |
| 8.12. Anexo L: Detalle prueba de sedimentación estática | 93 |
| 8.13. Anexo M: Curvas de Velocidad de sedimentación..... | 94 |

| | |
|---|-----|
| 8.14. Anexo N: Descripción pruebas de medición de turbidez y sus resultados | 97 |
| 8.15. Anexo O: Resultados evaluación dilución inicial y evaluación dosis optima de floculante | 99 |
| 8.16. Anexo P: Evaluación de dilución de sólido inicial – Sedimentación Estática.. | 103 |
| HOJA RESUMEN MEMORIA DE TÍTULO..... | 105 |



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Mapa ubicación Minera Los Pelambres. [15] | 3 |
| Ilustración 2: Línea productiva MLP [15] | 4 |
| Ilustración 3: Diagrama flujo mina-chancado [14]. | 5 |
| Ilustración 4: Diagrama de flujo de molienda [14]. | 6 |
| Ilustración 5: Diagrama flujo flotación colectiva [14]. | 7 |
| Ilustración 6: Diagrama flujo espesamiento de relave [14]. | 8 |
| Ilustración 7: Diagrama de flujo de la preparación de floculante [8] | 10 |
| Ilustración 8: Etapa de preparación y humectación [9]..... | 11 |
| Ilustración 9: Etapa de Dosificación [9]..... | 12 |
| Ilustración 10: Diagrama de flujo del sistema de transporte de relave [14]. | 13 |
| Ilustración 11: Configuración actual sistema transporte de relave. [1] | 15 |
| Ilustración 12: Ubicación espacial Fase 7 y Fase 10 | 17 |
| Ilustración 13: Distribución de agua reutilizada en MLP | 19 |
| Ilustración 14: Efecto de la floculación [18] | 20 |
| Ilustración 15: Variación del esfuerzo de cedencia frente a la aplicación de un floculante convencional y un modificador reológico [7]. | 23 |
| Ilustración 16: Comportamiento de la viscosidad de los fluidos al verse sometidos a distintos esfuerzos y velocidades de corte [13]. | 25 |
| Ilustración 17: Respuesta reológica de un fluido newtoniano [13]..... | 26 |
| Ilustración 18: Respuesta reológica de un fluido de Bingham [13]. | 26 |
| Ilustración 19: Desarrollo oportunidades Excelencia Operacional. | 27 |
| Ilustración 20: Definición Full Potencial – Full Potencial alcanzable. | 28 |
| Ilustración 21: Gobernanza del programa de estructuras en 5 Etapas con entregables y aprobaciones. | 29 |
| Ilustración 22: <i>Sedirack</i> | 30 |
| Ilustración 23: Equipo Sedimentación Dinámica | 32 |
| Ilustración 24: Viscosímetro IQ | 34 |
| Ilustración 25: Utilización de los espesadores. | 38 |
| Ilustración 26: Histograma de frecuencia de torque para el TK 050 | 39 |
| Ilustración 27: Histograma de frecuencia de torque para el TK 051 | 40 |
| Ilustración 28: Histograma de frecuencia de torque para el TK 712 | 40 |
| Ilustración 29: Gráfico Ton Relave vs Dosis Floculante | 41 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 30: Histograma Dosificación Floculante | 41 |
| Ilustración 31: Sistema actual de dilución..... | 42 |
| Ilustración 32: funcionamiento del Sistema actual de dilución | 43 |
| Ilustración 33: Diferencia por turnos con respecto a %Sól. | 43 |
| Ilustración 34: Diferencia por turnos con respecto a %Tor..... | 44 |
| Ilustración 35: Diferencia por turnos con respecto a C.E. Floc. | 44 |
| Ilustración 36: Definición del FP. de la Oportunidad. | 46 |
| Ilustración 37: Velocidad de sedimentación - Fase 10 N | 48 |
| Ilustración 38: Sólido final (%) - Fase 10 N | 49 |
| Ilustración 39: <i>Yield stress</i> 50% de Sólido - Fase 10 N..... | 50 |
| Ilustración 40: Viscosidad 50% de Sólido - Fase 10 N | 50 |
| Ilustración 41: <i>Yield stress</i> 55% de Sólido - Fase 10 N..... | 51 |
| Ilustración 42: Viscosidad 55% de Sólido - Fase 10 N | 51 |
| Ilustración 43: <i>Yield stress</i> 60% de Sólido - Fase 10 N..... | 52 |
| Ilustración 44: Viscosidad 60% de sólido - Fase 10 N | 52 |
| Ilustración 45: Velocidad de sedimentación - Fase 7 R | 53 |
| Ilustración 46: Sólido final (%) - Fase 7 R..... | 53 |
| Ilustración 47: <i>Yield stress</i> 50% de Sólido - Fase 7 R..... | 54 |
| Ilustración 48: Viscosidad 50% de Sólido - Fase 7 R..... | 54 |
| Ilustración 49: <i>Yield stress</i> 55% de Sólido - Fase 7 R..... | 55 |
| Ilustración 50: Viscosidad 55% de Sólido - Fase 7 R..... | 55 |
| Ilustración 51: <i>Yield stress</i> 60% de Sólido - Fase 7 R..... | 56 |
| Ilustración 52: Viscosidad 60% de Sólido - Fase 7 R..... | 56 |
| Ilustración 53: Velocidad de sedimentación – Mezcla | 57 |
| Ilustración 54: Sólido Final (%) - Fase Mezcla..... | 57 |
| Ilustración 55: <i>Yield stress</i> 50% de sólido - Fase Mezcla | 58 |
| Ilustración 56: Viscosidad 50% de sólido - Fase Mezcla | 58 |
| Ilustración 57: <i>Yield stress</i> 55% de Sólido - Fase Mezcla | 59 |
| Ilustración 58: Viscosidad 55% de Sólido - Fase Mezcla | 59 |
| Ilustración 59: <i>Yield stress</i> 60% de sólido - Fase Mezcla | 59 |
| Ilustración 60: Viscosidad 60% de sólido - Fase Mezcla | 60 |
| Ilustración 14: Modelo físico de la sedimentación y consolidación (Concha, F., 2011) | 72 |
| Ilustración 15: Diagrama Interior de un Espesador | 75 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 16: Diagrama Espesador Convencional (Svarovsky, 2000)..... | 75 |
| Ilustración 17:Diagrama Espesador de Alta Capacidad (McKetta, 1992) | 76 |
| Ilustración 18: Espesador de alta densidad (Concha, 2011) | 77 |
| Ilustración 75: Respuesta reológica de un fluido pseudoplástico | 80 |
| Ilustración 76: Respuesta reológica de un fluido dilatante | 80 |
| Ilustración 77: Respuesta reológica de Fluidos pseudoplásticos con esfuerzo de cedencia | 81 |
| Ilustración 78: Respuesta reológica de Fluidos dilatantes con esfuerzo de cedencia .. | 81 |
| Ilustración 79:Comportamiento TK 050, 3500-7000 TPH | 84 |
| Ilustración 80: Comportamiento TK 051, 3500-7000 TPH | 84 |
| Ilustración 81: Comportamiento TK 712, 3500-7000 TPH | 85 |
| Ilustración 82: Comportamiento TK 050, 7000-9000 TPH | 85 |
| Ilustración 83: Comportamiento TK 051, 7000-9000 TPH | 85 |
| Ilustración 84: Comportamiento TK 712, 7000-9000 TPH | 86 |
| Ilustración 85: Variabilidad dosificación floculante durante 2018 | 89 |
| Ilustración 86: Histograma %Sól. TK 050 | 90 |
| Ilustración 87: Histograma %Sól. TK 051 | 91 |
| Ilustración 88: Histograma %Sól. TK 712 | 91 |
| Ilustración 89: Plataforma Shibumi..... | 92 |
| Ilustración 90: Avance iniciativas en Shibumi..... | 92 |
| Ilustración 91: Plan de implementación en Shibumi | 92 |
| Ilustración 92: Curva de sedimentación - Fase 10 N pH 8.2 | 94 |
| Ilustración 93:Curva de Sedimentación - Fase 10 N pH 8.7..... | 94 |
| Ilustración 94: Curva de Sedimentación - Fase 10 pH 9.3..... | 95 |
| Ilustración 95: Curvas de Sedimentación - Fase 7 R pH 8.2 | 95 |
| Ilustración 96: Curva de Sedimentación - Fase 7 R pH 8.7 | 96 |
| Ilustración 97: Curvas de Sedimentación - Fase 7 R pH 9.3 | 96 |
| Ilustración 98: Curvas de sedimentación - Fase Mezcla pH 8.2..... | 96 |
| Ilustración 99: Curvas de sedimentación - Fase Mezcla pH 8.7..... | 97 |
| Ilustración 100: Curva de sedimentación - Fase Mezcla pH 9.3 | 97 |
| Ilustración 43: Medidor de Turbidez..... | 97 |
| Ilustración 46: Turbidez - Fase 10 N..... | 98 |
| Ilustración 55: Turbidez - Fase 7 R..... | 99 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 64: Turbidez - Fase Mezcla | 99 |
| Ilustración 101: Evaluación de % Sólido inicial - Fase 10 N..... | 100 |
| Ilustración 102: Evaluación de % de sólido inicial - Fase 7 R..... | 100 |
| Ilustración 103: Evaluación de % sólido inicial - Fase Mezcla | 101 |
| Ilustración 104: Evaluación de dosis de floculante - Fase 10 N..... | 101 |
| Ilustración 105: Evaluación de dosis de floculante - Fase 7 R..... | 102 |
| Ilustración 106: Evaluación dosis de floculante - Fase Mezcla..... | 102 |

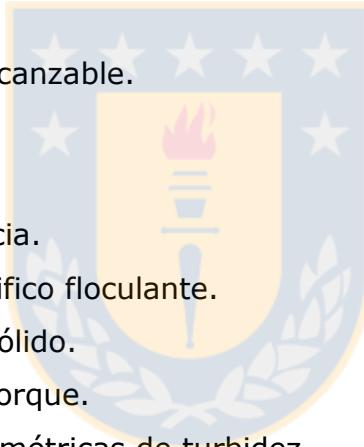
ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1: Características espesadores de relave | 9 |
| Tabla 2: Capacidad del STR y Parámetros operacionales | 13 |
| Tabla 3: Rangos de operacionales del STR..... | 14 |
| Tabla 4: Comparación de leyes Fase 7 (M4) Y Fase 10N..... | 16 |
| Tabla 5: Comparación de pH Natural Fase 7 (M4) y Fase 10N..... | 17 |
| Tabla 6: Requerimiento de agua MLP | 18 |
| Tabla 7: Recirculación de agua de MLP..... | 18 |
| Tabla 8: Detalle condición operacional para sedimentación estática | 30 |
| Tabla 9: Condiciones operacionales Sedimentación dinámica | 31 |
| Tabla 10: Variables operacionales Medición de reología método Vane | 33 |
| Tabla 11: Variables operacionales medición de reología método Cup..... | 34 |
| <i>Tabla 12: parámetros y variables por pruebas</i> | <i>36</i> |
| Tabla 13: Número de pruebas a realizar y sus variables | 37 |
| Tabla 14: Porcentaje tiempo utilización espesadores..... | 39 |
| Tabla 15: Condición Instrumentación Actual | 45 |
| Tabla 16: Condición Válvulas Actual..... | 45 |
| Tabla 17: Sedimentación dinámica 3 g/t - Fase 10N..... | 61 |
| Tabla 18: Sedimentación dinámica 5 g/t - Fase 10 N | 61 |
| Tabla 19: Sedimentación dinámica 6 g/t - Fase 10 N | 61 |
| Tabla 20: Resultados Reología Cup Fase 10 N..... | 62 |
| Tabla 21: Sedimentación dinámica 3 g/t - Fase 7 R | 62 |
| Tabla 22: Sedimentación dinámica 5 g/t - Fase 7 R | 63 |
| Tabla 23: Sedimentación dinámica 6 g/t - Fase 7 R | 63 |

| | |
|---|----|
| Tabla 24: Resultados Reología Cup - Fase 7 R..... | 64 |
| Tabla 25: Sedimentación dinámica 3 g/t - Fase Mezcla..... | 64 |
| Tabla 26: Sedimentación dinámica 5 g/t - Fase Mezcla..... | 64 |
| Tabla 27: Sedimentación dinámica 6 g/t - Fase Mezcla..... | 65 |
| Tabla 28: Resultados Reología Cup - Fase Mezcla | 65 |
| Tabla 29: Unidades Geo-metalúrgicas de Los Pelambres. | 78 |
| Tabla 30: Comparación de mineralogías Fase 7 (UGM M4) y Fase 10N. | 79 |
| Tabla 31: Planilla Extracción datos TK 050..... | 82 |
| Tabla 32: Planilla extracción de datos TK 051 | 82 |
| Tabla 33: Planilla extracción de datos TK 712 | 83 |
| Tabla 34: Porcentaje de tiempo utilizado por espesador | 83 |
| Tabla 35: Porcentaje de tiempo utilizado con 1, 2 o 3 Espesadores..... | 83 |
| Tabla 36: Número de espesadores en uso según el tratamiento y el porcentaje de utilización por espesador | 86 |
| Tabla 37: Frecuencia Torque TK 050..... | 87 |
| Tabla 38: Frecuencia de Torque TK 051 | 87 |
| Tabla 39: Frecuencia de Torque TK 712 | 87 |
| Tabla 40: Planilla control dosificación flocculante | 88 |
| Tabla 41: Frecuencia dosis de flocculante | 89 |
| Tabla 42: Frecuencia %Sól. TK 050 | 90 |
| Tabla 43: Frecuencia %Sól. TK 051 | 90 |
| Tabla 44: Frecuencia %Sól. TK 712 | 91 |
| Tabla 45: Detalle prueba sedimentación estática | 93 |

NOMENCLATURA

| | |
|--------------|--|
| AMSA: | Antofagasta Minerals Sociedad Anónima. |
| Msnm: | Metros sobre el nivel del mar. |
| UGM: | Unidad geometalúrgica. |
| MLP: | Minera Los Pelambres. |
| g/L: | Concentración en gramos por litro. |
| TK: | Tanque. |
| g/t: | Concentración en gramos por tonelada. |
| STR: | Sistema de transporte de relave. |
| STC: | Sistema de transporte de concentrado. |
| Ex. Op.: | Excelencia Operacional. |
| FP: | Full Potencial. |
| FPa: | Full Potencial Alcanzable. |
| NC: | No controlables. |
| YTD: | Year to day. |
| S. I.: | Super intendencia. |
| C. E. Floc.: | Consumo específico floculante. |
| %Sól.: | Porcentaje de Sólido. |
| %Tor.: | Porcentaje de Torque. |
| NTU: | Unidades nefelométricas de turbidez. |
| STMG: | Sistema transporte de mineral grueso |



1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos de la minería chilena, es el uso eficiente del agua, principalmente en las plantas de concentración que es donde hay mayor necesidad del recurso hídrico. El uso eficiente del agua involucra principalmente maximizar la reutilización de esta, lo que en el caso de las plantas de concentración se realiza en las operaciones de espesamiento, filtrado y disposición de relaves.

Minera Los Pelambres está inserta en el Valle del Choapa cuarta región en donde se tiene de vecinos a diferentes localidades, las cuales viven de la agricultura y ganadería. Es por esto que para Minera Los Pelambres es de suma importancia tener un respeto con sus vecinos y el medio ambiente.

La continuidad operacional depende fuertemente del abastecimiento de agua necesaria para los procesos de producción. Actualmente, el abastecimiento de agua fresca es proporcionado por los derechos de agua superficial consuntivos que posee MLP en distintas cuencas hidrográficas del distrito y agua recuperada de los mismos procesos mineros (relaves).

El espesamiento es la primera operación de separación sólido-líquido con posterioridad a la etapa de concentración, es el proceso en donde se recupera la mayor cantidad de agua de procesos, los productos de este proceso son, una pulpa con mayor concentración de sólidos (sobre 50%), y por la otra, un flujo de agua clara que se retorna al proceso productivo.

La importancia de espesar el relave es que permite ventajas, como disminuir la cantidad de agua en el depósito de relaves, además de disminuir los costos de recirculación, e incluso disminuir la cantidad de agua fresca requerida.

El método más usado para aumentar la velocidad de sedimentación es provocar la unión entre partículas utilizando floculantes, estos reactivos son polímeros de cadena larga y alta masa molecular, solubles en agua, que al establecer puentes entre partículas forman una partícula con un mayor tamaño aparente.

En este contexto es de suma importancia mejorar (optimizar) el proceso de espesamiento ya que los beneficios asociados a la mayor recuperación de agua de proceso disminuirán la cantidad de agua fresca necesaria para la operación.

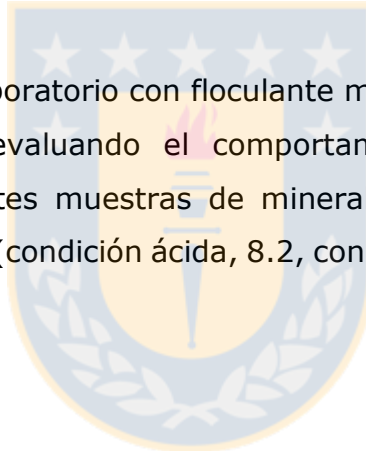
1.1. **Objetivos**

Objetivo General

- Identificar una oportunidad de mejora en los espesadores de relave de Minera Los Pelambres, y proponer iniciativas que potencien el aumento de porcentaje de sólido de descarga de los espesadores.

Objetivos Específicos.

- Identificar problemas que afecten la operación de los espesadores con la finalidad de proponer proyectos de mejora. La metodología empleada es la de Full Potencial y se analiza el comportamiento histórico del proceso con la extracción de datos de PI System.
- Realizar pruebas de laboratorio con floculante modificador reológico con distintos tipos de floculante, evaluando el comportamiento en distintas condiciones operacionales: diferentes muestras de mineral (Fase 7, Fase 10 y mezcla) y distintos rangos de pH (condición ácida, 8.2, condición intermedia, 8.7 y condición normal 9.3).



2 ANTECEDENTES

Minera los Pelambres es una compañía minera perteneciente en un 60% al Grupo Minero Antofagasta Minerals S.A. (AMSA) y un 40% a un consorcio de empresas japonesas compuesto por Nippon LP Investment (25%) y Maruberi & Mitsubichi LP Holding BV (15%).

La compañía opera desde fines del año 1999 en la provincia del Choapa en la región de Coquimbo con una capacidad de procesamiento de 210 mil toneladas diarias de mineral, y el producto es concentrado de cobre y molibdeno.

En la Ilustración 1 se muestra el mapa de ubicación de Minera Los Pelambres.



Ilustración 1: Mapa ubicación Minera Los Pelambres. [15]

Se encuentra localizada a 250 km al noreste de Santiago de Chile en la comuna de Salamanca, Provincia del Choapa, IV Región de Coquimbo.

El yacimiento se encuentra a 3.200 m.s.n.m., las instalaciones de procesamiento de minerales y depósitos de relaves a una altura de 1.600 m.s.n.m.

2.1. Línea de proceso Minera Los Pelambres

El proceso productivo de minera Los Pelambres esta descrito en la Ilustración 2.

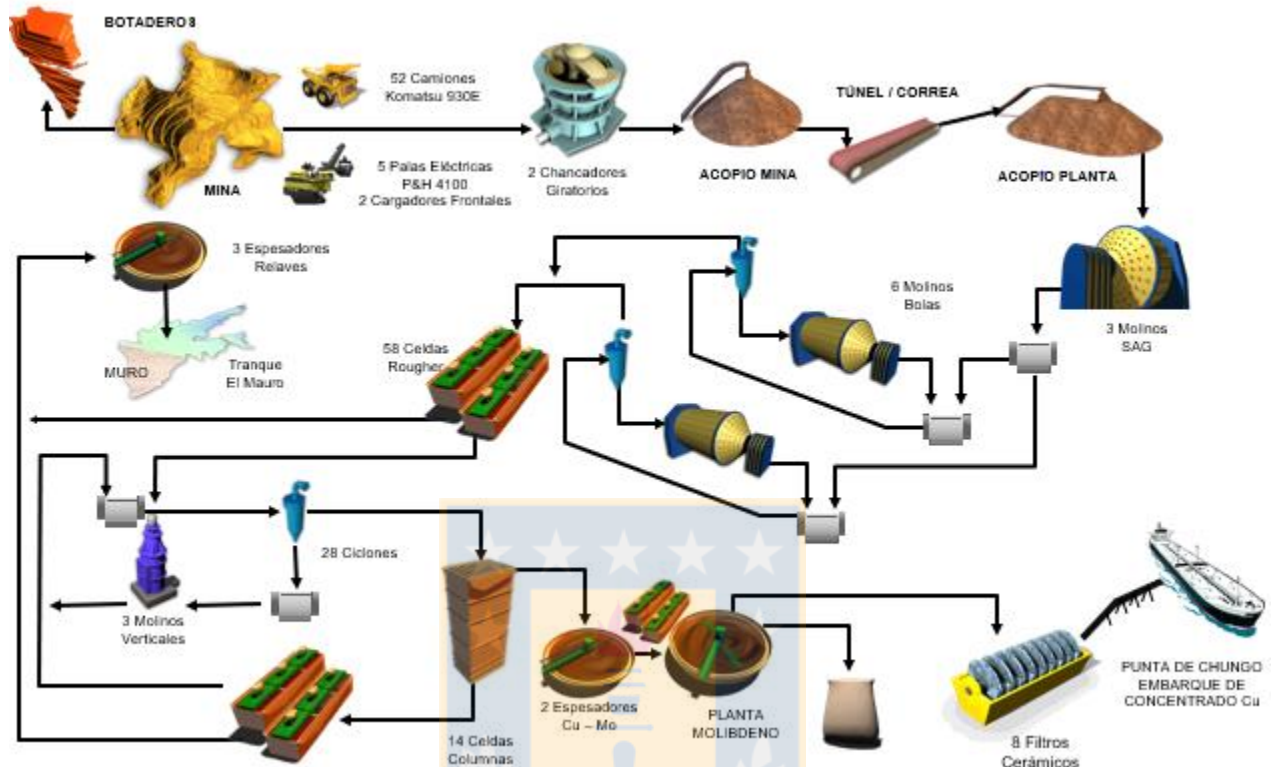


Ilustración 2: Línea productiva MLP [15]

El proceso comienza en las labores asociados en la mina, yacimiento que se encuentra en la cordillera de Los Andes a 3.600 m.s.n.m. desde el cual es obtenido el material mediante los siguientes procesos:

- Perforación y tronadura.
- Carguío y transporte.
- Chancado y sistema de transporte de material grueso (STMG).

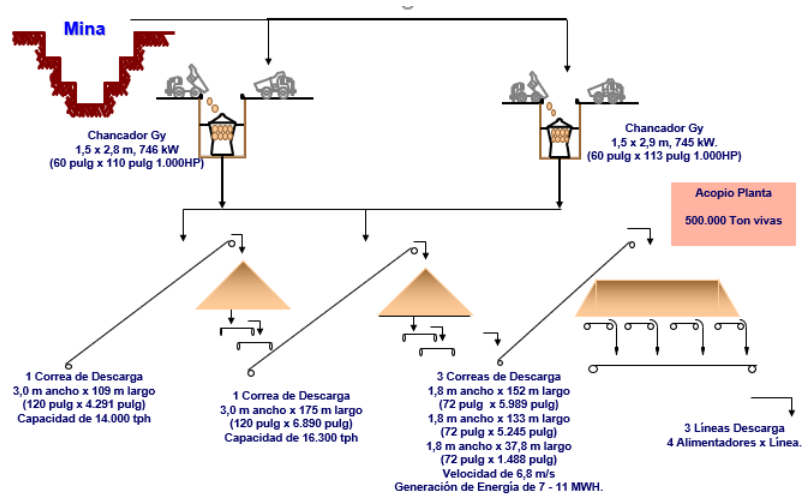


Ilustración 3: Diagrama flujo mina-chancado [14].

Posterior al proceso de chancado y transporte por correas transportadoras, el material ingresa a la planta concentradora, donde éste es sometido a un nuevo proceso de conminución para lograr la óptima liberación de las partículas de mineral de cobre y molibdeno. La Ilustración 3 muestra el diagrama de flujo mina chancado.

En la Ilustración 4 se muestra el diagrama de flujo del circuito de molienda que consta de 3 molinos SAG y 6 molinos de bolas, el producto de es clasificado en hidrociclones donde el material fino ingresa al proceso de concentración por flotación y el grueso regresa al proceso de molienda como carga circulante.

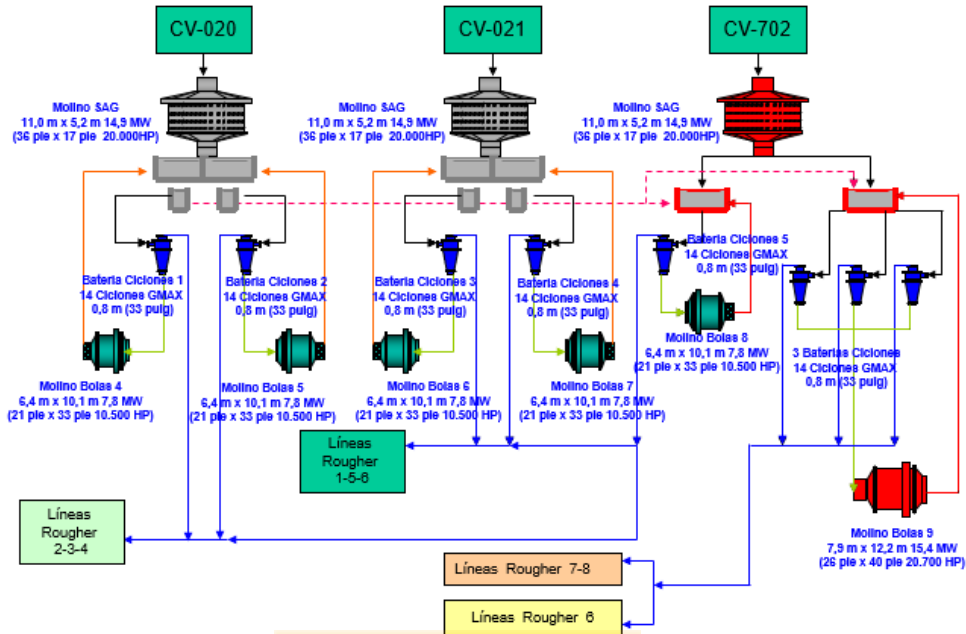


Ilustración 4: Diagrama de flujo de molienda [14].

Del proceso de flotación, se obtiene concentrado colectivo este es sometido a un nuevo proceso de flotación, en el cual las partículas de mineral sulfurado de cobre son depresadas mediante la adición de NaHS (Sulfhidrato de sodio), obteniéndose un relave con bajo contenido de molibdeno que es enviado a través del concentrado de 120 km hasta el puerto Chungo, donde es filtrado hasta alcanzar aproximadamente un 9% de humedad y cargado en barcos mediante correas transportadoras encapsuladas. Por otro lado, el concentrado rico en molibdeno alimenta la planta de lixiviación férrica, proceso mediante el cual se reduce el contenido de cobre de 4 a 0,4% aproximadamente.

En la Ilustración 5 se muestra el diagrama de flujo de la flotación colectiva.

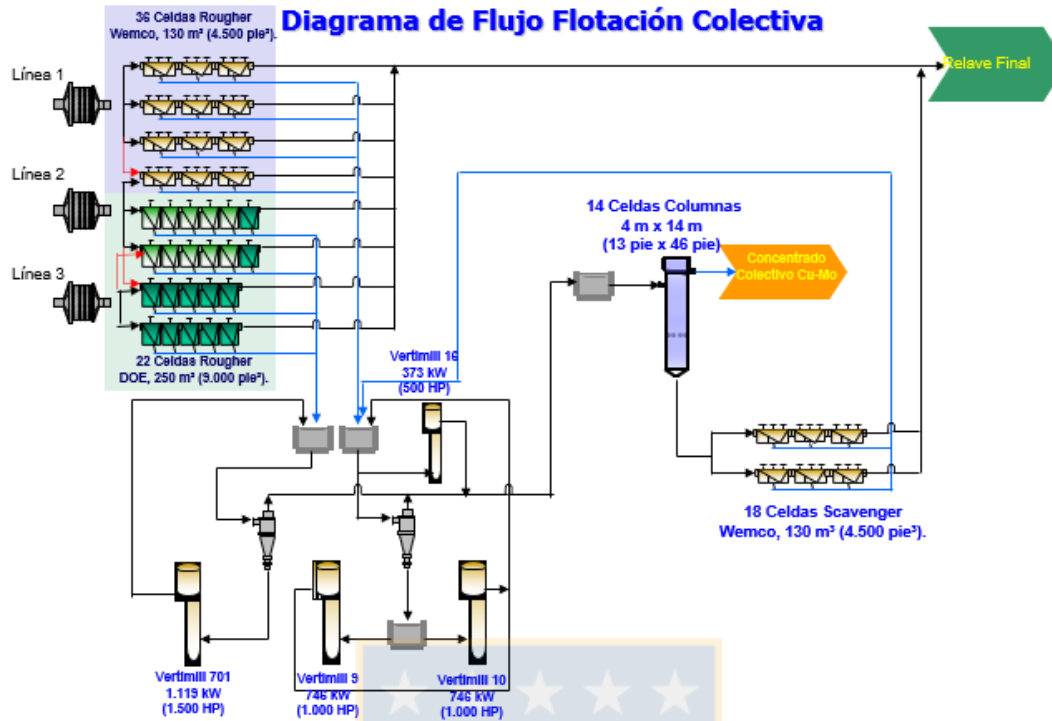


Ilustración 5: Diagrama flujo flotación colectiva [14].

2.2. Descripción proceso de espesamiento de relave en MLP

El relave proveniente de las líneas de flotación *Rougher* y *Scavenger*, se mezcla en el cajón *TK-077* a este cajón llega con aproximadamente entre un 30% y un 35% de sólido, permanece en constante agitación previo a ser distribuido a los espesadores de relave, *TK-050*, *TK-051* y *TK-712*.

El agua que se recupera de los espesadores es enviada al *TK-052*, para posteriormente ser distribuido entre la piscina Norte *TK-102*, piscina Sur *TK-103* y piscina Norte-Norte *TK-743*, agua que posteriormente se reutiliza en la planta concentradora.

Cada espesador posee 4 descargas, 2 principales que poseen un diámetro de 13" y 14" que son capaces de transportar un caudal de relave entre 2500 a 3000 m³/h, y 2 descargas auxiliares con un diámetro de 12" que transportan entre 1200 a 1300 m³/h, la elección de que descargas a usar lo decide el operador de la sala de control según las necesidades que presente el sistema de transporte de relave.

El relave ya espesado es enviado por una canaleta de relave hacia estación cabecera, donde es clasificado, el sobre tamaño se devuelve al stock pile, y las partículas que cumplen los requerimientos de tamaño son transportados hacia el Tranque el Mauro.

En la Ilustración 6 se ve el diagrama de flujo del espesamiento de relave.

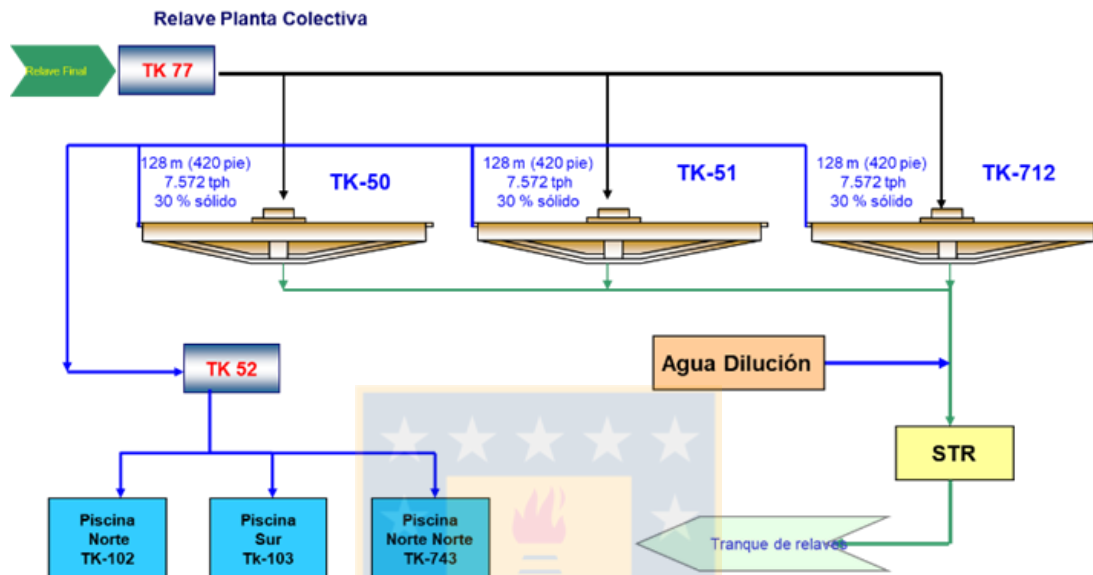


Ilustración 6: Diagrama flujo espesamiento de relave [14].

2.2.1. Detalles de equipo: Espesador

Minera los Pelambre posee tres espesadores *High Rate* FLSmidth de 128,0 metros de diámetro. Los criterios de diseño que se muestra en este punto representan aquellos valores considerados como alcanzables al momento de diseñar la planta, de acuerdo con las capacidades de los equipos.

Cada espesador permite obtener por diseño una descarga en el *underflow* de un 65% de sólido. Lo anterior, a partir de una alimentación con un 35% de sólidos provenientes de los relaves de las líneas Rougher y Scavenger de la planta de Flotación.

Los valores de diseño en las líneas del espesador de relaves se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características espesadores de relave

| | Espesador TK 050, TK 051 | Espesador TK 712 |
|--|---|--|
| Diámetro, m | 128 | |
| Torque Instalado, lb _f ft | 4.000.000 | 4.800.000 |
| Factor de Torque K, lb _f ft/ft ² | 22,7 | 27,2 |
| Sistema E-DUC | Diseño original, con Drop Box, Canaleta - Nozzle - Tuberías | Diseño Actual, sin Drop Box, Tubería - Nozzle - Canaleta |
| Diámetro Feedwell, m | 10,0 | 12,192 |
| Profundidad Feedwell, m | 2,5 | 1,4 |
| Altura Liquido Pared Lateral, m | 2,896 | |
| Altura Liquido Centro, m | 10,363 | |
| Volumen Estanque, m ³ | 60.670,90 | |
| %Sólido Alimentación, % (Nominal) | 28 | 30 |
| %Sólido Alimentación, % (Diseño) | 35 | 30 |
| Tratamiento Relaves, tph (Nominal) | 1.871 | 2.839,3 |
| Tratamiento Relaves, tph (Diseño) | 2.350 | 2.839,3 |
| %Sólido Descarga, % (Nominal) | 55 | 55 |
| %Sólido Descarga, % (Diseño) | 65 | 65 |

Cada espesador posee un sistema de auto dilución llamado "EIMCO E-DUC" su función es que el relave ingrese al espesador con un 17% de sólido, ya que, al diluir el relave se maximiza la tasa de sedimentación y aumenta la capacidad de tratamiento de un espesador.

2.2.2. Planta floculante

El espesamiento de los relaves requiere de la dosificación continua de floculante al espesador, por lo que se dispone de una planta de preparación compacta en un edificio independiente ubicado a un costado de los espesadores, en el área de espesamiento.

En la Ilustración 7 se ve el diagrama de flujo de la preparación de floculante.

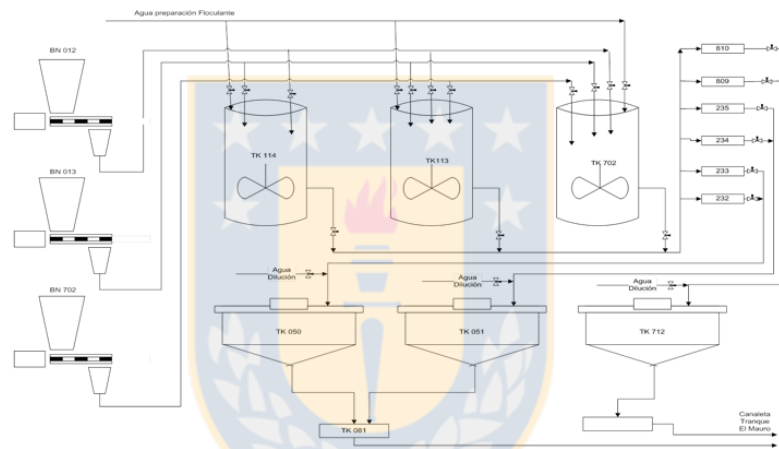


Ilustración 7: Diagrama de flujo de la preparación de floculante [8]

La preparación del floculante consta de dos etapas:

Etapas 1: Preparación y humectación:

La preparación de compuesto se inicia en el TK de preparación donde se hace recepción el floculante en polvo. Esta etapa de preparación de floculante es manual y opera en ciclos discontinuos de aproximadamente 90-180 min. La tolva se alimenta manualmente por el operador, con la ayuda de grúas que le permiten descargar el polvo almacenado en sacos. La tolva posee un agitador horizontal para el polvo accionado por un motor eléctrico, que evita la aglomeración en el cono de descarga y cuyo funcionamiento está enlazado con la operación del tornillo dosificador. El ciclo de preparación se inicia con un llenado rápido de agua hasta alcanzar un nivel sobre las paletas del agitador, en caso

de ser necesario. Luego de ello se detiene el llenado rápido y se inicia la preparación de la mezcla del polvo seco con agua en el humectador, con la respectiva activación del tornillo, hasta alcanzar la carga de floculante suficiente por *batch*. Un minuto después de iniciar el ingreso de polvo humectado, se abre la válvula de llenado rápido hasta alcanzar el nivel alto, tiempo que dura aproximadamente 40 minutos. Una vez que se termina el proceso de mezcla de polvo con agua y se ha alcanzado el nivel alto en el estanque, se inicia la etapa denominada de humectación, durante la cual se mantiene encendido el agitador y tiene una duración aproximada de 60-120 minutos. Durante el período de humectación se logra alcanzar una preparación completa del floculante, obteniendo una mezcla homogénea a la concentración recomendada de 3 g/L para su almacenamiento, que posteriormente será diluida a 0,2 g/L para su adición en el espesador de relaves.

La Ilustración 8 muestra la etapa de preparación y humectación del floculante.



Ilustración 8: Etapa de preparación y humectación [9]

Etapa 2: Dosificación

Una vez terminada la preparación del floculante en el estanque de mezcla, se inicia la transferencia hacia el estanque de almacenamiento o dosificación, ya en este lugar se dispone de floculante en el estanque de almacenamiento, se inicia la etapa de dosificación de acuerdo con los requerimientos de la planta. Para ello, existen las bombas de dosificación, diseñada para alimentar los espesadores de cobre y de relaves. Cada bomba dispone de su respectivo motor eléctrico con variadores de frecuencia, que permite ajustar el flujo de floculante alimentado dependiendo de las condiciones de operación. Finalmente, y antes de ser ingresado al espesador de relaves, el flujo

suministrado por las bombas de distribución es diluido mediante la adición de agua en un mezclador en línea, que permite alcanzar una concentración de floculante de 0,02 g/L. La adición de agua en este mezclador se lleva a cabo de forma automática mediante un lazo de control independiente, que ajusta el flujo de agua ingresado de acuerdo con el flujo distribuido por las bombas.

La Ilustración 9 muestra la etapa de dosificación de floculante.

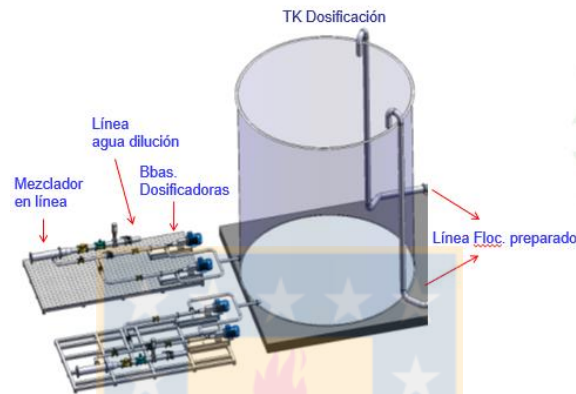


Ilustración 9: Etapa de Dosificación [9]

2.2.3. Sistema de transporte de relaves

La descarga de los espesadores pasa por un proceso de clasificación por harneros de donde el sobre tamaño (partículas sobre 1,3 mm) es descargado a la zona de acopio, esto se retorna a el stock, y el relave con partículas de tamaño óptimo es enviado a los ductos del sistema de transporte de relave hacia el tranque El Mauro.

La Ilustración 10 muestra el diagrama de flujo del sistema de transporte de relave.

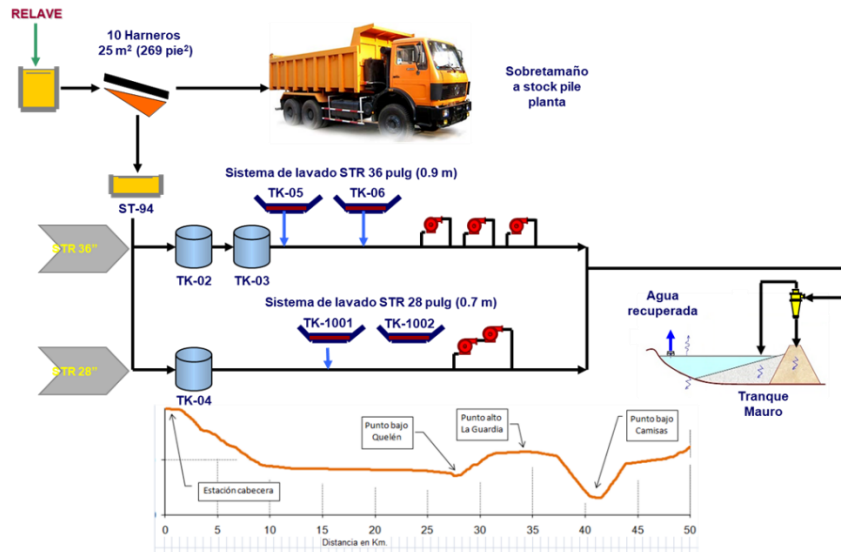


Ilustración 10: Diagrama de flujo del sistema de transporte de relave [14].

La capacidad del sistema y los parámetros operacionales del sistema de transporte de relave se presentan en la *Tabla 2*.

Tabla 2: Capacidad del STR y Parámetros operacionales

| Sistema | Condición | Tonelaje (tph) | Cp (%) | Flujo | |
|---------|-----------|-------------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | m ³ /h | l/s |
| STR 36" | Máxima | 8.930 | 64 | 8.410 | 2.336 |
| | Mínima | 4.184 | 50 | 5.770 | 1.603 |
| STR 28" | Máxima | 4.320 | 64 | 4.070 | 1.130 |
| | Mínima | 2.462 | 50 | 3.350 | 931 |

Los rangos de operación de los STR 36 y STR 28 están definidos por: flujo mínimo, concentración en peso máximo y mínimo, flujo gravitacional, flujos máximos de bombeo. Es de suma importancia asegurar el cumplimiento de los parámetros operacionales para asegurar la continuidad operacional.

El objetivo de la operación de los STR es transportar hasta el Tranque Mauro el total del relave producido por la planta concentradora, sin rebosar hacia el Tranque Quillayes. La Tabla 3 muestra los rangos operacionales del sistema de transporte de relave.

Tabla 3: Rangos de operacionales del STR

| Parámetro | Valor | |
|-------------------------|--|--|
| | STR 36" | STR 28" |
| Flujo mínimo de relaves | Para $C_p \geq 57\%$: $Q_{\min} = 5.800 \text{ m}^3/\text{h}$ Para $C_p < 57\%$: Q_{\min} sube linealmente desde $5.800 \text{ m}^3/\text{h}$, hasta llegar a $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$ para $C_p = 50\%$ | $3.350 \text{ m}^3/\text{h}$ si $C_p > 57\%$ $3.400 \text{ m}^3/\text{h}$ si $55\% < C_p < 57\%$ $3.500 \text{ m}^3/\text{h}$ si $50\% < C_p < 55\%$ |
| Flujo máximo de relaves | Dado por 3 bombas al 100 % | Dado por 2 bombas al 100% |
| Concentración en peso | $50\% < C_p < 64\%$ | $50\% \leq C_p \leq 64\%$ |

La velocidad mínima se calcula con la fórmula de Durand Modificada

$$V_D = 1,25 * F_L (2gD_i \left(\frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} \right))^{0,25} \quad (1)$$

Donde,

F_L : Factor de Durand dependiente de la concentración en volumen y el tamaño de partículas

V_D : Velocidad de depósito, m/s

D_i : Diámetro interno de la tubería, m

g : Aceleración de gravedad, $9,81 \text{ m/s}^2$

ρ_s : Densidad de Partículas sólidas, Kg/m^3

ρ_L : Densidad del agua, kg/m^3

En la Ilustración 11 se muestran las distintas zonas de operación, en donde se describe la capacidad de sólido a transportar, según la condición de porcentaje de sólido y esto asociado al flujo de relave [1].

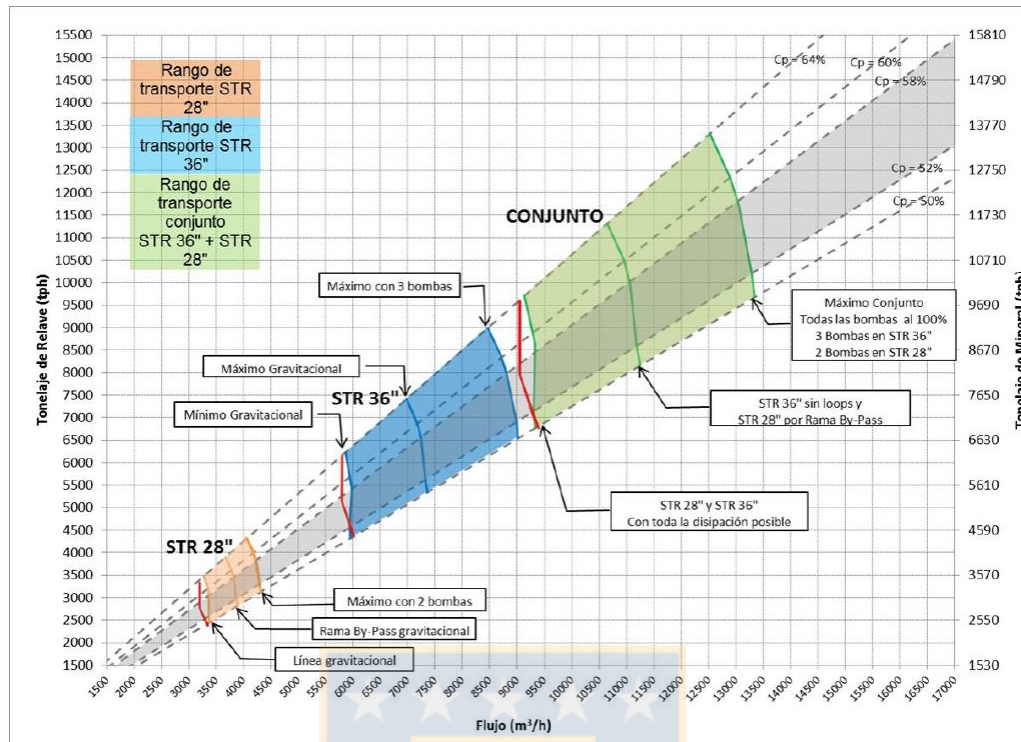


Ilustración 11: Configuración actual sistema transporte de relave. [1]

Las zonas del gráfico que están entre el color naranja y el azul, y entre el azul y el verde son zonas de operación en las que los criterios de operación no son seguros por lo que es necesario descargar el relave a el tranque Quillayes esto se considera como una situación de emergencia.

Esta situación ocurre por motivos operacionales: En condiciones transientes (alto flujo/bajo flujo) por fuera del límite operacional de los ductos del STR, es decir, en situaciones que los flujos puntuales de relave producido estén por fuera del rango de diseño del relaveducto, situación que podrá generarse por flujos altos que excedan la capacidad máxima de transporte, o bien, por flujos menores a la capacidad mínima de transporte del diseño, en cuyo caso no se alcanzarían las velocidades mínimas que garantizan la suspensión de los sólidos dentro de las tuberías.

Cuando se rebosa al tranque Quillayes como se mencionó es una situación de emergencia, este tranque se encuentra en proceso de cierre por estar cerca de su capacidad de diseño. Por lo que, cuando ocurre esto es necesario repulpear este relave nuevamente a estación Cabecera, para ser enviado a el tranque el Mauro, lo que genera un costo extra para la compañía.

2.2.4. Geología y caracterización de unidades Geo-Metalúrgicas

Las unidades geometalúrgicas (M) provenientes del modelo geometalúrgico y definidas a partir de las Unidades Geológicas (UG) en el yacimiento de Los Pelambres, comprenden varias Unidades Geológicas, con respuestas metalúrgicas similares (descripción en *Tabla 29*) . Comprenden desde M1 hasta M8.

La FASE 7 corresponde a M4, mientras que la FASE 10N a M8. Mayor descripción en el *Anexo B*: Unidades Geo Metalúrgicas de MLP y comparación de fases 7 y 10.

Se establece una comparación entre la información de UGM M4 (Fase 7) y las muestras de sondajes pertenecientes a Fase 10N (promedio de sondajes). Los minerales de la Fase 7 y Fase 10 son geológicamente diferentes. Partiendo por la alteración, siendo potásica en el caso de la Fase 7, y clorita-sericita-epidota en la Fase 10N.

Mineralógicamente también son distintas las especies de mena, aunque en ambas Fases predomina calcopirita, la Fase 7 contiene más bornita y menor proporción de especies secundarias, del tipo calcosina/digenita; y, además, menos pirita, que la Fase 10 (*Tabla 4*). Sin embargo, las especies de ganga hacen también una gran diferencia. El mineral Fase 10 presenta un mayor contenido de filosilicatos (muscovita-sericita, albita), que el mineral Fase 7 [2]. La *Tabla 5* hace una comparación entre el pH natural de cada fase.

Tabla 4: Comparación de leyes Fase 7 Y Fase 10N.

| Elemento | Fase 7 Ley Prom (%) | Fase 10N Ley Prom (%) |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|
| CuT | 0,680 | 0,694 |
| CuS | 0,040 | 0,035 |
| Fe | 1,480 | 1,930 |
| Mo | 0,064 | 0,015 |
| S | 1,850 | 1,436 |
| Ca | 2,400 | 0,538 |

Tabla 5: Comparación de pH Natural Fase 7 (M4) y Fase 10N.

| Fase | pH Natural |
|-----------------|------------|
| Fase 7 (UGM M4) | 7,7 |
| Fase 10N | 6,2 |

En la Ilustración 12 se puede ver la ubicación espacial de la Fase 7 y la Fase 10

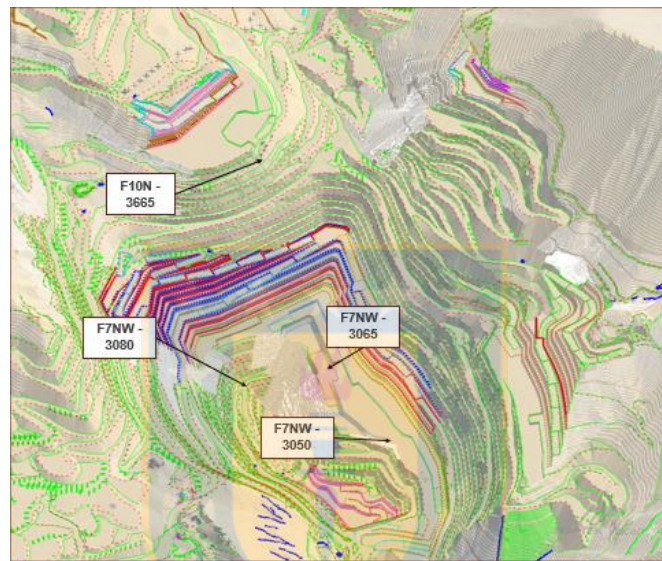


Ilustración 12: Ubicación espacial Fase 7 y Fase 10

2.2.5. Condición Hídrica MLP

El balance integral de agua de MLP se basa en el agua que se requiere en la planta para el procesamiento de un determinado tonelaje de mineral. El agua requerida es satisfecha a través de recuperaciones de agua en el mismo proceso de producción de la planta y aportes desde fuentes externas.

Durante el 2018 el Balance Hídrico (Budget de agua, S.I. Recursos Hídricos) mostró que el requerimiento de agua de MLP es de 4995 L/s, siendo de este, el 86,7 % agua de proceso.

Tabla 6: Requerimiento de agua MLP

| | | L/s |
|---------------------------|---|--------------|
| Requerimientos MLP | Consumo Interior Mina | 77 |
| | Agua demandada en planta | 4.141 |
| | Agua demandada en planta Moly y STC | 62 |
| | Agua Choapa 3 a reservorios STRy repulpeo | 425 |
| | Agua total dilución ciclónaje (1ra y 2da) | 265 |
| | Campamentos y Aljibes | 24 |
| | Rebose Quillayes control de polvo | 37 |
| | Total agua requerida | 4.995 |

La cantidad de agua que se recircula es de 4.331 L/s, por lo que el agua fresca corresponde a 664 L/s. Del agua de procesos el 65% proviene de los espesadores de relave. La información es extraída de la Tabla 6.

La Tabla 7 muestra las fuentes de agua recirculada en Minera Los Pelambres.

Tabla 7: Recirculación de agua de MLP

| | | L/s |
|-------------------------------|--|--------------|
| Recirculación Agua MLP | Agua recirculada drenes Tranque Mauro | 203 |
| | Agua recirculada laguna Tranque Mauro Total | 937 |
| | ▪ Agua recirculada laguna Tranque Mauro a Planta | 875 |
| | ▪ Agua recirculada laguna Tranque Mauro a ciclones | 63 |
| | Agua recirculada Planta | 2.930 |
| | ▪ Agua recirculada espesadores de relave | 2.809 |
| | ▪ Agua Recirculada clarificador | 121 |
| | Agua recirculada consumo humano | 16 |
| | Total, agua recirculada desde Tranque Quillayes | 245 |
| | Total agua recirculación | 4.331 |

En el siguiente gráfico torta muestra la distribución porcentual y la fuente de agua que es recirculada en la industria, es necesario destacar que el 68% del agua recirculada proviene de la planta, mientras que un 21% es proveniente del tranque El Mauro, siendo esta agua la que se transporta en el relave. La distribución de agua se muestra en la Ilustración 13.

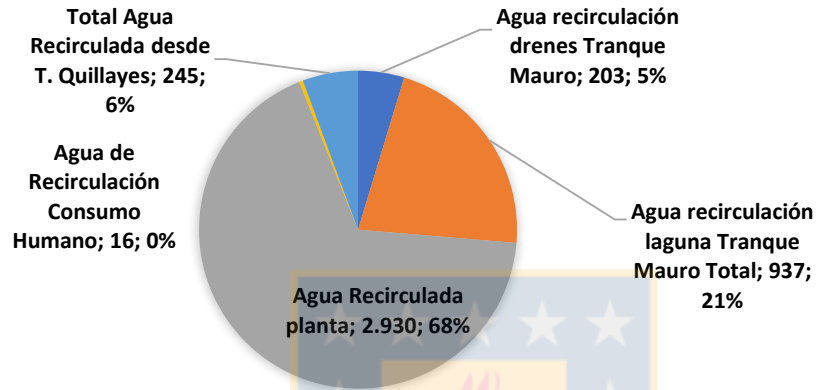


Ilustración 13: Distribución de agua reutilizada en MLP

3 Marco Teórico

3.1. Floculantes

Los floculantes son reactivos que forman aglomeraciones de partículas, actuando como puente entre ellas y permitiendo así que sedimenten más rápido. Los compuestos que se utilizan como floculante son generalmente, polímeros de un alto peso molecular que poseen cargas eléctricas opuestas a las partículas en suspensión que se quiere sedimentar.

La floculación es la agregación de partículas mediante la adsorción de largas cadenas de polímeros en varias partículas. De acuerdo con la forma en que el polímero actúa sobre las partículas se pueden distinguir diferentes formas de floculación. Los rangos de partículas aglomeradas varían entre los tamaños de 1–10 μm hasta 100–10.000 μm . Dado que la floculación ocurre relativamente rápido, existe una gran cantidad de agua que queda atrapada en la macroestructura que forman los flóculos, lo que produce que se formen partículas de baja densidad. El efecto de la floculación se muestra en la Ilustración 14.



Ilustración 14: Efecto de la floculación [18]

Con el objetivo de favorecer el efecto del floculante sobre las partículas, generalmente se diluye en agua antes de ingresar a la bandeja de alimentación del espesador, para mejorar la distribución del compuesto y aglomerar la mayor cantidad de partículas posible (Sistema E-Duc).

El diseño de la bandeja de alimentación de un espesador debe considerar que los floculantes son largas cadenas que se pueden destruir fácilmente, por la presencia de flujos turbulentos o agitación. Cuando las cadenas del compuesto se rompen, el

floculante pierde la capacidad de aglomerar partículas, lo que perjudica la sedimentación en el equipo.

Los floculantes se pueden clasificar según su:

- Naturaleza: Sintéticos (policrilamidas) o Naturales (almidón, goma, etc.).
- Carga: Catiónicos, Aniónicos y No iónicos.
- Carácter Hidrófobo o Hidrofílico (mayoría).

La cinética de formación de flóculos sigue las siguientes etapas:

- Difusión de las moléculas poliméricas bajo condiciones hidrodinámicas turbulentas, seguida de adsorción de éstas en la interfase mineral / solución, formando lazos (*loops*), colas (*tails*) y trenes (*trains*).
- Formación de puentes poliméricos por adsorción de los lazos y colas.
- Formación de flóculos – crecimiento bajo agitación lenta.

Si se agregan mayores concentraciones de floculante que las necesarias para el proceso de floculación, el floculante se adsorbe completamente en una partícula dejando poca oportunidad para adsorberse en otras partículas, por lo cual no se produce un efecto de agregación de partículas deseado.

Uno de los riesgos asociados a una mala dosificación es la formación de islas, la cual es definida como una masa de sólidos que posee una alta concentración de sólidos y se ubica en un medio de menor densidad, las islas se forman sólo en espesadores que usan floculantes y esto debido a una mala dosificación de floculante. Cuando alcanzan un gran tamaño, por lo general producen grandes problemas de torque o el embancamiento del espesador, pueden estar ubicadas en un punto en particular del espesador y/o se depositan sobre las rastras.

3.1.1. Tipos de floculante

Dependiendo del mineral a tratar y de los objetivos buscados, va a variar el floculante adicionado. En las plantas de procesamiento de mineral se encuentran de dos tipos.

Floculante convencional: Generalmente son copolímeros de acrilamida y acrilato de sodio. La estructura Amida y carboxílico son los que intervienen en el proceso de floculación, estableciendo enlaces hidrógeno para el caso de la Amida y enlaces electroestáticos para el grupo carboxílico.

Modificador reológico: Son distintos a los convencionales debido a que se sintetizan a partir de acrilamida y el grupo AMPS, por lo tanto, la carga iónica del floculante es determinado por este grupo. La ventaja de los terpolímeros en comparación con los floculantes convencionales es su estructura macromolecular dado que las partículas formadas poseen menos peso molecular y baja viscosidad logrando captar más eficientemente el sólido grueso, fino y ultra fino logrando así una pulpa más compacta, agua más clara limpia y sin modificaciones importantes para la reología.

3.1.2. Modificadores reológicos.

Los modificadores reológicos afectan el estado de agregación y dispersión de los sistemas particulados, una de las principales ventajas de estos modificadores es que en el proceso logran recuperar más agua y de mejor calidad con respecto a los floculantes convencionales.

La viscosidad y el yield stress pueden ser reducidos mediante la adición de reactivos que generan mayor dispersión del sistema particulado, esto genera que el sólido de descarga de los espesadores sea mayor, y con mejores propiedades reológicas.

El yield stress y la estabilidad de la suspensión se pueden aumentar mediante la adición de reactivos que conducen a la agregación. La variación del esfuerzo de cedencia frente a un floculante convencional o modificador reológico se muestra en la Ilustración 15.

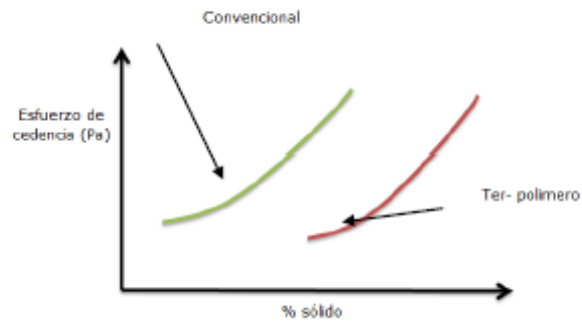


Ilustración 15: Variación del esfuerzo de cedencia frente a la aplicación de un floculante convencional y un modificador reológico [7].

Los modificadores reológicos se pueden clasificar como inorgánicos (iones disueltos, especies poliméricas) u orgánicos (bajo, medio y alto MW).

Modificadores reológicos inorgánicos:

- Electrolitos promueven la agregación mediante la compresión de la doble capa eléctrica (CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl , KCl).
- Iones que se adsorben en forma específica son capaces de reducir, o incluso cambiar el signo de la carga superficial que provoca la agregación (por ejemplo, cationes polivalentes y aniones).
- Iones que determinan el potencial afectan la magnitud de la carga superficial y con ello el estado de agregación/dispersión (por ejemplo, modificadores de pH).

Modificadores reológicos orgánicos:

- Polímeros de bajo peso molecular actúan como dispersantes dado que aumentan la carga repulsiva de las partículas (CMC).
- Polímeros de alto peso molecular actúan como floculantes adsorbiéndose sobre varias partículas para formar flóculos (PAM).
- Polímeros de peso molecular intermedio exhiben una gama de respuestas intermedias (polisacáridos, floculantes catiónicos).

3.1.3. Velocidad de sedimentación

La forma más simple de evaluar un floculante con respecto a otro es realizar un test de velocidad de sedimentación y discriminar entre el reactivo que más rápido induce la sedimentación a la pulpa en cuestión. Este ensayo se realiza también para distintas dosis de floculante. Con esto encontramos la dilución óptima a la cual se debiera tratar la pulpa. Una alta concentración produce que no se utilice de manera óptima el floculante y una muy alta dilución disminuye demasiado la viscosidad del floculante actuando también de manera incorrecta.

3.2. Reología

La reología es una rama de la física que estudia el comportamiento de los materiales que son capaces de fluir al ser expuestos a una fuerza. En la industria minera es de suma importancia estudiar cómo se comportan las pulpas y darles una caracterización adecuada para saber las condiciones de trabajo necesarias y realizar un óptimo transporte de los fluidos [7].

La reología es la ciencia que estudia la deformación de los fluidos provocados por esfuerzos aplicados sobre ellos. Esta ciencia fue desarrollada desde Newton, hasta Bingham quien finalmente nombro este término.

Las propiedades mecánicas estudiadas por la reología se pueden medir mediante reómetros, aparatos que permiten someter al material a diferentes tipos de deformaciones controladas y medir los esfuerzos o viceversa. Algunas de las propiedades reológicas más importantes son:

- Viscosidad aparente (relación entre esfuerzo de corte y velocidad de corte).
- Coeficientes de esfuerzos normales.
- Viscosidad compleja (respuesta ante esfuerzos de corte oscilatorio).
- Módulo de almacenamiento y módulo de perdidas (comportamiento visco elástico lineal).
- Funciones complejas de visco elasticidad no lineal.

3.2.1. Yield stress, tipos de fluidos.

Es una propiedad muy importante en la descarga de los relaves y los concentrados ya espesados, especialmente en el caso que se busque una descarga con una alta concentración en sólidos. Esta propiedad expresa la energía por unidad de volumen necesaria para deformar relaves. Se entiende como el mínimo esfuerzo de corte (yield stress) necesario para que empiece a fluir el relave y/o pulpa de concentrado. Físicamente el esfuerzo de corte de un fluido puede modelarse en términos de la tasa de corte y la viscosidad. Algunos modelos típicos reológicos se grafican en la Ilustración 16:

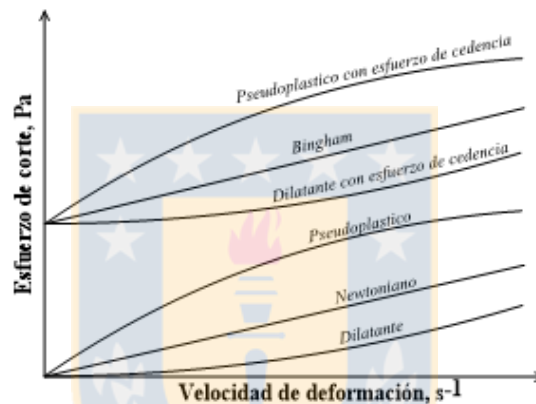


Ilustración 16: Comportamiento de la viscosidad de los fluidos al verse sometidos a distintos esfuerzos y velocidades de corte [13].

3.2.2. Respuestas Reológicas típicas.

Fluidos Newtonianos

El tipo más sencillo de comportamiento se describe por la ley de la viscosidad de la Newton. En este caso la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación es una línea recta que parte de cero (presenta un esfuerzo de corte proporcional a la velocidad de corte a la cual se ven sometidos), donde la pendiente **m** es el coeficiente de viscosidad. Fluidos newtonianos se caracterizan por este único parámetro que es independiente de la velocidad de deformación. Ejemplos de comportamiento newtoniano son líquidos orgánicos de bajo peso molecular, agua, soluciones acuosas, metales líquidos, y suspensiones diluidas de partículas esféricas y que no interactúan [17]. La Ilustración 17 muestra la respuesta reológica de un fluido newtoniano.

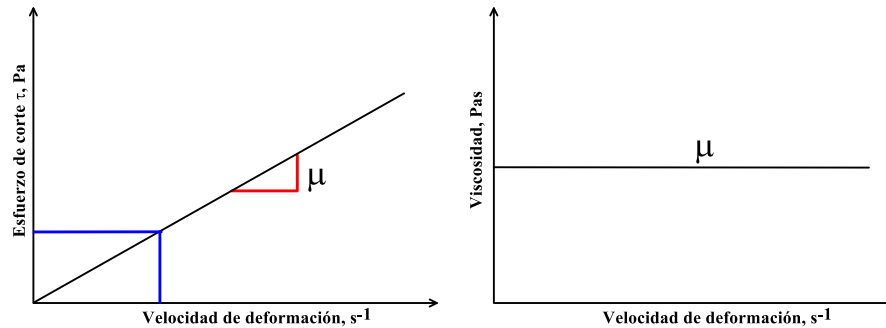


Ilustración 17: Respuesta reológica de un fluido newtoniano [13]

Los fluidos no newtonianos presentan un esfuerzo de corte que varía de manera no lineal con la velocidad de corte. Los fluidos pseudoplásticos disminuyen su viscosidad cuando se ven bajo la acción de un aumento en la velocidad o esfuerzo de corte percibido, por el contrario, los fluidos dilatantes aumentan su viscosidad cuando se ven sometidos a un aumento de la velocidad y el esfuerzo de corte.

Fluidos Bingham

Este tipo de fluidos muestran esfuerzo de cedencia, después de lo cual la relación entre esfuerzo de corte y velocidad de deformación de cizalle es una línea recta. En algunos casos las suspensiones floculadas tienen comportamientos tipo Bingham. La Ilustración 18 muestra la respuesta reológica de un fluido de bingham.

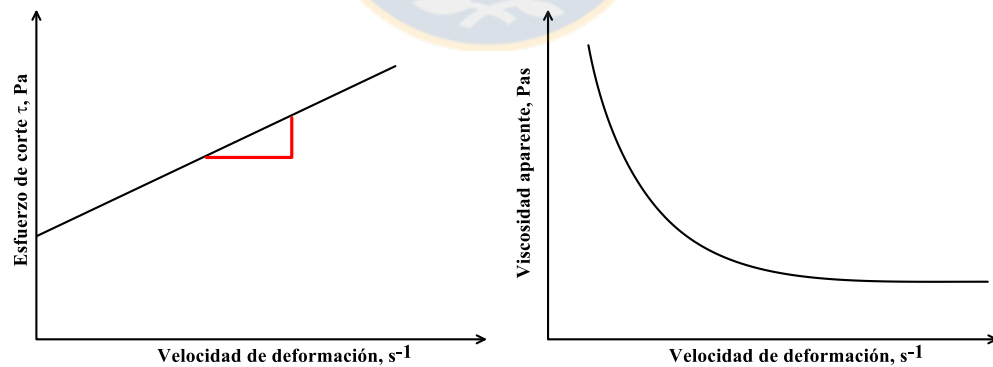


Ilustración 18: Respuesta reológica de un fluido de Bingham [13].

Más antecedentes sobre el comportamiento los fluidos no Newtonianos están descritos en el Anexo C: Comportamientos de los fluidos No Newtonianos.

Más antecedentes sobre espesamiento en Anexo A: Conceptos generales de espesamiento.

4 METODOLOGÍAS

La presente memoria de título comprende dos vías de estudio, la primera al análisis de la data recolectada mediante la metodología *Full Potencial* y la segunda en función de pruebas de laboratorio con floculante modificador reológico.

A continuación, se proporciona la información necesaria para la comprensión de la metodología empleada.

4.1. Metodología *Full Potencial*

La metodología empleada está dada por la Gerencia de Excelencia Operacional y se denomina *Full Potencial*. La forma de abordar una oportunidad está dada por la identificación de brechas, y la propuesta de mejora de estas brechas para poder lograr un objetivo propuesto. La Ilustración 19 muestra de forma esquemática como se aborda una oportunidad de mejora.



Ilustración 19: Desarrollo oportunidades Excelencia Operacional.

Para identificar si existen brechas en algún proceso particular, Excelencia operacional trabaja como línea base el rendimiento real de algún proceso específico que se desee mejorar, esto basado en data histórica.

Es necesario definir un *full potencial* en base al mejor desempeño interno que se haya presentado en el pasado o bien mediante algún benchmark de la industria. Adicionalmente es importante sincerar los parámetros no controlables para así obtener un *full potencial* alcanzable. Para lograr este full potencial alcanzable se deben identificar y cuantificar el impacto de las palancas que se van a transformar en iniciativas que van

a dar valor a la oportunidad. En la *Ilustración 20* se muestra de forma esquemática la metodología de la definición del *Full Potencial* y el *Full potencial* alcanzable.

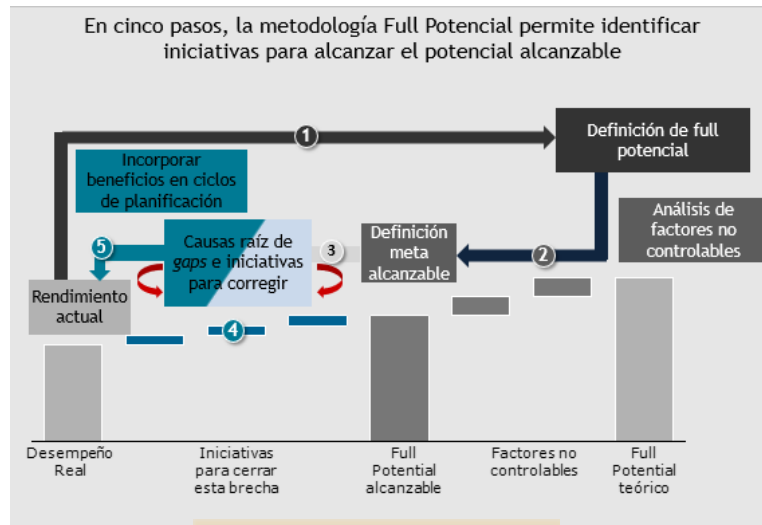


Ilustración 20: Definición Full Potencial – Full Potencial alcanzable.

El diseño de una iniciativa consta de 5 etapas (*Ilustración 21*). Las primeras tres etapas están relacionadas con el potencial identificado en la oportunidad, en el diagnóstico de brechas y el diseño de las soluciones, la etapa cuatro es la ejecución de las soluciones / plan de trabajo y la etapa cinco es el monitoreo de la iniciativa y ver como aporta el valor. Esta Memoria de Título desarrolla hasta la etapa 3 diseño de soluciones, y describe en profundidad la etapa 1 y 2.

Es necesario conocer las siguientes definiciones previo a entender la metodología de la gobernanza del programa de estructuras en 5 Etapas;

Potencial identificado: Es el valor esperado de ahorro de las oportunidades identificadas

Captura: Corresponde a la estimación de ahorros, medido contra línea base definida, es la proyección de la materialización de ahorros/beneficios al cierre de año calendario

Materialización: Corresponde al ahorro real efectivo/efectivo a la fecha, medido contra línea base definida.

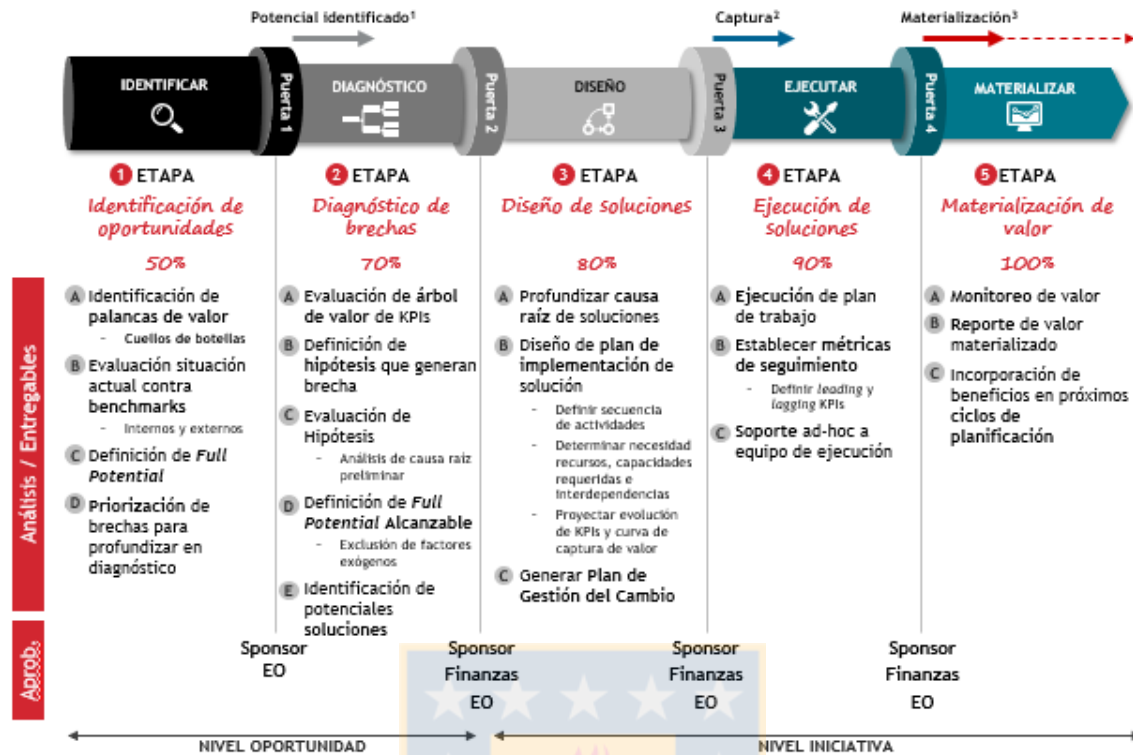


Ilustración 21: Gobernanza del programa de estructuras en 5 Etapas con entregables y aprobaciones.

4.1.1. Determinación de los parámetros a evaluar

El análisis de la data histórica tiene por objetivo encontrar posibles oportunidades de mejora para el objetivo propuesto, el aumento de porcentaje de sólido descarga de los espesadores de relave, así mismo permitirá conocer el rendimiento actual de la planta, para proponer proyectos de mejora.

Dentro de las variables estudiadas en este ítem se destacan:

- Porcentaje de torque de los espesadores.
- Dosis de floculante adicionada.
- Tonelaje de relave producido
- Porcentaje de tiempo de utilización de los espesadores.
- Análisis de la condición actual de la instrumentación y de los equipos.
- Comportamiento operacional por turno.

Estos datos fueron obtenidos desde el PI process Book. Cabe recalcar que la data empleada corresponde a los periodos 2017, 2018

4.2. Desarrollo Experimental Pruebas de laboratorio

4.2.1. Equipos y Procedimiento

A continuación, se presentan las condiciones operaciones, equipos y procedimientos involucrados en las pruebas de laboratorio.

4.2.1.1. Sedimentación Estática

Se realizan 36 pruebas de sedimentación estática, con la finalidad de evaluar cuál es el reactivo idóneo, en la Tabla 45 se detallan las condiciones de cada prueba.

Se realizan 9 pruebas para determinar cuál es el porcentaje de sólido óptimo de ingreso al espesador, y se realizan 9 pruebas para evaluar la dosis de floculante, además del correspondiente análisis reológico.

Las variables asociadas a las pruebas son se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8: Detalle condición operacional para sedimentación estática

| Variables Operacional | | |
|------------------------------|-------|----------------|
| Condición | | Con floculante |
| Muestras | | 3 |
| Cp inicial | % | 17 |
| Dosis | g/ton | 6 |

Las pruebas de sedimentación estática se realizan en un equipo llamado *Sedirack*, este tiene por principal objetivo la medición automática de parámetros de espesamiento, el equipo se muestra en la Ilustración 22.



Ilustración 22: *Sedirack*

Es un instrumento que permite hacer cinco ensayos simultáneos a diferentes o iguales concentraciones. Consiste en un marco que contiene cinco tubos desmontables de 1200 ml transparentes con tapones de goma donde se coloca suspensiones. El marco puede rotar en torno a un eje central de forma tal que las suspensiones en todas las columnas son homogenizadas simultáneamente. Una vez conseguido ese efecto, se introduce floculante mediante agujas que atraviesan pequeños agujeros en los tapones de goma y se rota el marco por un número adecuado de giros, con suavidad para no romper los flóculos formados.

Finalizado el acondicionamiento del floculante, la medición de la velocidad de asentamiento de la interfaz agua-suspensión se hace automáticamente en todas las columnas mediante una cámara de video incluida en un Notebook.

El registro de estos datos permitirá posteriormente el estudio de las curvas de sedimentación y cálculo de velocidad de sedimentación. Terminado el tiempo de sedimentación se procede a desmontar el vaso para posteriormente colocarlo directamente en el viscosímetro, para su correspondiente análisis.

4.2.1.2. Sedimentación Dinámica

Se realizan 9 pruebas de sedimentación dinámica, con el reactivo que se consideró más idóneo para las condiciones actuales se evalúa a los diferentes pH, y con las 3 muestras.

Las condiciones de las pruebas se describen en la Tabla 9:

Tabla 9: Condiciones operacionales Sedimentación dinámica

| Variables Operacional | | |
|------------------------------|-------|----------------|
| Condición | | Con floculante |
| Muestras | | 3 |
| Cp inicial | % | 17 |
| Dosis | g/ton | 6 |

Las pruebas se realizan en un equipo continuo de laboratorio, de 94 mm de diámetro en su interior, el equipo se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 23: Equipo Sedimentación Dinámica

La utilización de este equipo tiene por principal objetivo la medición automática de parámetros de espesamiento, entregando lo siguiente:

- ✓ Velocidad de sedimentación.
- ✓ Dosificación de floculante.
- ✓ Muestras representativas de underflow.
- ✓ Muestras representativas de overflow.

Los elementos del Espesador Continuo son:

- ✓ Cilindro acrílico de 50x10 cm.
- ✓ Bomba peristáltica alimentación.
- ✓ Bomba peristáltica descarga de lodos.
- ✓ Rastra.
- ✓ Cilindro simulador de feedwell.
- ✓ Bomba hospira (dosificación floculante).
- ✓ Sistema de mangueras para el rebose.
- ✓ Mini motor - reductor eléctrico para el accionamiento de la rastra de la unidad.

El procedimiento operacional de este equipo es el siguiente:

1. Mediante Agitación la muestra se mantiene homogénea.
2. Se ajusta la pulpa a las condiciones de % sólidos, pH, temperatura (si aplica), establecidas por el cliente.
3. A través de una bomba peristáltica pequeña se ajusta el flujo de pulpa, cuyo valor es determinado previamente en pruebas de sedimentación estática.

4. Antes de que la pulpa ingrese al espesador se dosifica el floculante a través de una bomba clínica para asegurar que la dosis sea exacta, esta ingresa al torrente de pulpa y se mezcla antes de llegar a la parte superior del espesador.
5. La pulpa ingresa a la unidad de laboratorio con la rastra en funcionamiento, se llena el espesador y se comienza a medir la interfase solido- líquido en la parte inferior del cilindro.
6. Cuando la interfase llega al nivel deseado (15 cm) se abre la válvula inferior de descarga del espesador y se ajusta el flujo para mantener la operación en forma continua.
7. Después de 10 min de operación en forma continua se toman muestras de overflow y underflow para los análisis correspondientes.

4.2.1.3. Medición de reología

Los ensayos de reología se realizan por dos métodos:

Por el método de Vane [16], donde las muestras utilizadas corresponden a el underflow obtenidos de los ensayos de sedimentación dinámica. Las variables operacionales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Variables operacionales Medición de reología método Vane

| Variables Operacional | | |
|-----------------------|----|--------------------------|
| Condición muestra | | Con Floculante |
| Cp evaluación | % | Resultante Sedimentación |
| Temperatura | °C | Ambiente |
| Equipo | | Viscosímetro VTIQ |
| Rotor | | FL - 22 |

Además, se realizan ensayos de reología por el método Cup, y las muestras utilizadas corresponden a los underflow obtenidos en los resultados de sedimentación estática. Las variables operacionales se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11: Variables operacionales medición de reología método Cup

| Variables Operacional | |
|-----------------------|-------------------|
| Condición muestra | Con Floculante |
| Cp evaluación % | 50 % - 55% - 60% |
| Temperatura °C | Ambiente |
| Equipo | Viscosímetro VTIQ |
| Rotor | 38 Ti SE |

El análisis de la reología de descarga se utiliza para medir y evaluar las características de las tensiones de fluencia a muestras de pulpa espesada, para un apropiado dimensionamiento de rastras y un correcto proceso de transporte y depositación.

Como se presenta en Ilustración 24, el equipo para llevar a cabo el programa de pruebas es el Haake Viscotester IQ.



Ilustración 24: Viscosímetro IQ

Las pruebas se realizan ejecutando ensayos para un rango dado de contenido de sólidos, determinando así el comportamiento del material en términos de yield point unshear, yield point fully shear, viscosidad y yield stress.

Las mediciones de yield point unshear y fully shear, se realizan a través del *método Vane* (inmersión rotor FL). Este método permite la obtención de un valor de tensión de fluencia (Yield Point), identificado como el punto máximo en una gráfica de tensión de corte versus tiempo. Se realizan dos tipos de mediciones una sin agitación (Unshear) y

una con agitación (Fully shear). Dichas mediciones son de carácter relativo, utilizándose principalmente para fines comparativos.

Las mediciones de yield stress y viscosidad, se realizan a través del *método Cup* (cilindro – copa Ti). Este método permite la obtención de valores de tensión de fluencia (yield stress) y viscosidad, a través de graficas de tensión de corte vs velocidad de deformación con la utilización de un modelo matemático (Bingham). Dichas mediciones son de carácter absolutas, debido a que se cuenta con el total de sus mediciones (cilindro – copa).

4.2.2. Muestras, Variables y descripción de las pruebas a realizar

Las pruebas se realizaron con 3 muestras provenientes del laboratorio de flotación, con muestras extraídas de la mina.

La muestra de mineral fue tomada desde mina específicamente la fase 7 y la fase 10, su ubicación espacial en el rajo se muestra en la Ilustración 12.

La elección de las fases con las que se realizaron las pruebas fue en función de la planificación a largo plazo de extracción, por lo que serán las fases que se procesarán durante el 2019 y 2020, esto según el Caso Base elaborado por la Super Intendencia de Planificación y Desarrollo. Las pruebas se realizaron bajo los parámetros que se muestran en la Tabla 12.

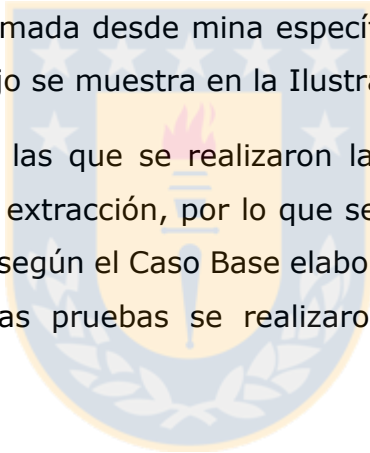


Tabla 12: parámetros y variables por pruebas

| Parámetro | Número | Variable |
|---|---------------|--|
| Reactivo | 4 | SNF 2350 (Floculante actual) SNF 804 (Floculante modificador reológico) RF 510 (Floculante modificador reológico) RHEOMAX 1050 (Floculante modificador reológico) |
| pH | 3 | 8,2 8,7 9,3 |
| Muestra | 3 | FASE 10 FASE 7 MEZCLA (50% Fase 7 y 50% Fase 10) |
| Porcentaje de Sólido dilución inicial | 4 | 15 % 17 % 20 % 25 % |
| Dosis | 3 | 3 g/t 5 g/t 6 g/t |
| Porcentaje de Sólido para Análisis reológico | 3 | 50% 55% 60% |

El número de pruebas a realizar y las variables a controlar se describen en la *Tabla 13*.

Tabla 13: Número de pruebas a realizar y sus variables

| Prueba | Número de Ensayos | Variables | | | | | | Parámetro de control |
|--------------------------------|-------------------|---------------|---------|----------------|--------------------------|--------------|-----------|---|
| | | Nro. reactivo | pH | % Sól. Inicial | % Sól. reología | Nro. Muestra | Dosis | |
| Sedimentación Estática | 36 | 4 | 3 | 1 (17%) | - | 3 | 1 (6 g/t) | Velocidad de sedimentación y % Sól. final |
| Reología (Prod. sed. Estática) | 108 | 4 | 3 | - | 3 | 3 | - | Yield stress y viscosidad |
| Evaluación % Sólido Inicial | 12 | 1 (SNF 804) | 1 (8,7) | 4 | - | 3 | 1 (6 g/t) | Velocidad de sedimentación y Sól. final |
| Evaluación Dosis Óptima | 9 | 1 (SNF 804) | 1 (8,7) | 1 (17%) | - | 3 | 3 | Velocidad de sedimentación y Sólido final |
| Sedimentación Dinámica | 36 | 1 (SNF 804) | 1 (8,7) | 1 | Resultado Sed. Dina. (4) | 3 | 3 | NTU, Sól. final, yield point |
| Reología (Prod. sed. Dinámica) | 27 | 1 (SNF 804) | 1 (8,7) | - | 3 | 3 | 3 | Viscosidad y yield stress |

Es saber que las pruebas se realizaron por SGS Minerals Services en el Laboratorio de Separación Sólido – Líquido & Reología, Quilicura, Santiago

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados análisis metodología full potencial.

A continuación, se describe los hallazgos encontrados al analizar la data histórica para la identificación de la oportunidad (Etapa 1 del desarrollo de la oportunidad)

5.1.1. Hallazgos en los parámetros evaluados

5.1.1.1. Porcentaje de Utilización de los espesadores

El número de espesadores de relave en utilización se define según el tratamiento de la planta, en condiciones normales se utilizan 2 espesadores y cuando aumenta el tratamiento se utilizan 3.

Durante el 2018, un 2% del tiempo se estuvo operando solo con un espesador, el 63% del tiempo con 2 espesadores y un 35% del tiempo con 3 espesadores. Esto se aprecia en la Ilustración 25.

La decisión de operar con 2 o 3 espesadores es del ingeniero de la sala de control, ya que cuando aumenta el tratamiento de la planta, es necesario distribuir la carga en más equipos para aliviar el torque en la rastra de los espesadores y evitar situaciones de riesgo operacional como, por ejemplo, un embanque.

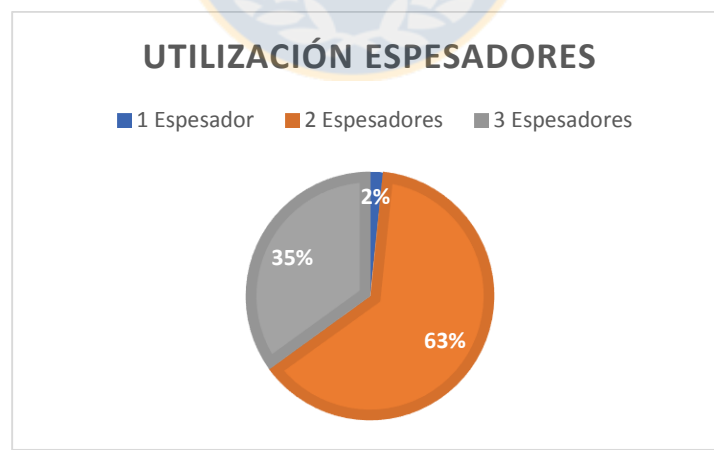


Ilustración 25: Utilización de los espesadores.

El equipo que tiene mayor instrumentación es el TK 712, es por eso por lo que es el equipo con más porcentaje de utilización (Tabla 14).

Tabla 14: Porcentaje tiempo utilización espesadores

| % Tiempo Utilización espesares | |
|--------------------------------|---------|
| TK 050 | 85,96 % |
| TK 051 | 51,6 % |
| TK 712 | 95,6 % |

5.1.1.2. Torque de los espesadores

El Torque operacional de los espesadores está dado por la capacidad de torque del equipo, para el espesador TK 050 y TK 051, este dato está dado por 4.000.000 lb_f ft y para el TK 712 es de 4.800.000 lb_f ft. La medición en la sala es en porcentaje de la capacidad de torque. Un parámetro de alerta es cuando el torque es del 50% de su capacidad.

Para el espesador TK 050, se ve que la mayor frecuencia de datos se concentra en valores de torque entre el 10-15%, esto informa que se puede operar a torque más alto sin poner en riesgo la operación, el motivo por el que la actual operación se concentra en valores tan bajos es porque al no tener muchos la cantidad suficiente de parámetros de control se opta por operar en una zona de operación segura. Esto se muestra en la Ilustración 26.

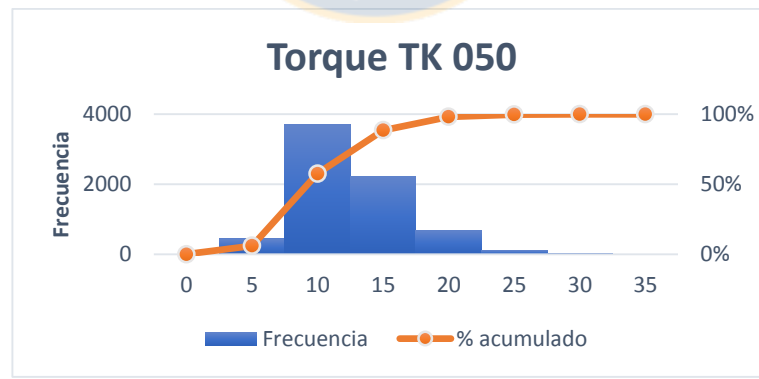


Ilustración 26: Histograma de frecuencia de torque para el TK 050

Para el TK 051 la mayor cantidad de frecuencia de datos se concentra entre 10% y el 15% de la capacidad de torque del espesador, esto demuestra nuevamente para este caso que aún se puede aumentar el torque del espesador sin salir de los rangos de operación normales. Esto se describe en la ilustración Ilustración 27.

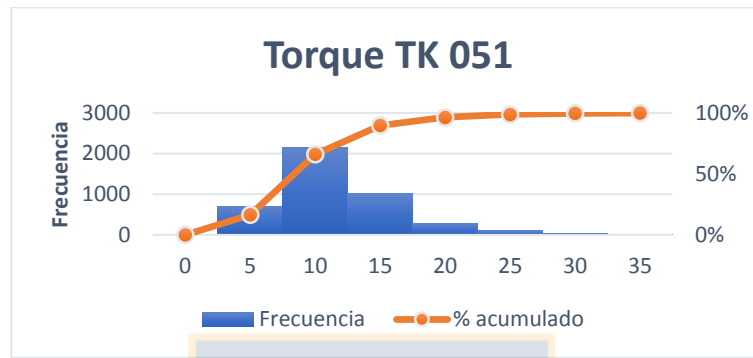


Ilustración 27: Histograma de frecuencia de torque para el TK 051

El espesador TK 712 tiene una curva con comportamiento normal donde el mayor porcentaje de los datos se concentra en torque entre el 10% y el 30% de Torque, es necesario destacar que este equipo alcanza torque con valores más alto que los otros incluso alcanzando el 45%, este espesador posee mayor cantidad de parámetros operacionales, por lo que tiene mayor porcentaje de utilización. Esto se describe en la Ilustración 28.

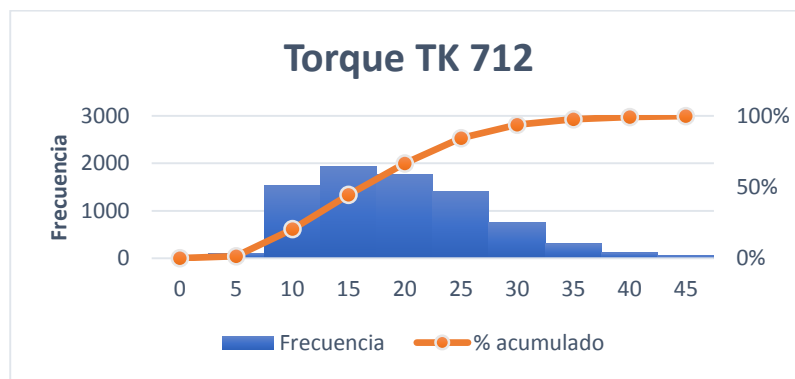


Ilustración 28: Histograma de frecuencia de torque para el TK 712

5.1.1.3. Dosificación de floculante

En este momento no se tiene control del tonelaje que ingresa a cada espesador, por lo que no hay control sobre la dosificación que se está adicionando al espesador. En tiempo real se tiene control del flujo de floculante adicionado al espesador, pero no hay conocimiento si es la dosificación óptima.

La Ilustración 29 muestra un gráfico de dispersión que evidencia la poca/nula relación entre la dosificación de floculante (gpt) vs la cantidad de relave tratado, donde el coeficiente de determinación corresponde a 0,0031.

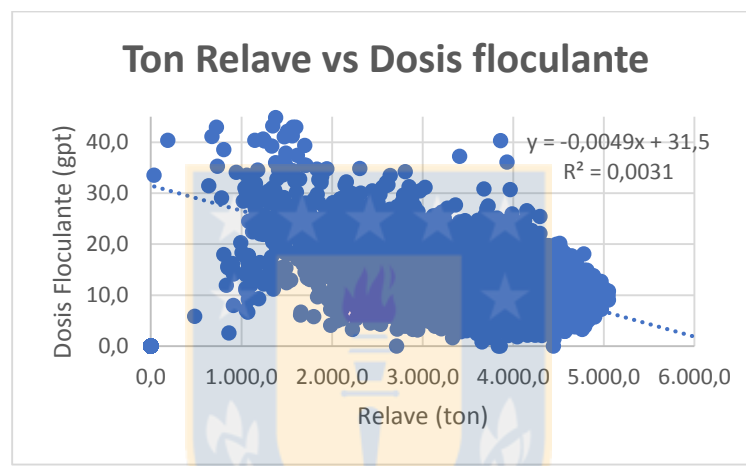


Ilustración 29: Gráfico Ton Relave vs Dosis Floculante

El histograma de la Ilustración 30 muestra la variabilidad en la dosificación del reactivo, concentrándose el mayor número de datos entre 12 y 16 gpt, a pesar de que el Kpi del área son 6 gpt, esto comprueba que generalmente se sobre dosifica reactivo, generando un costo extra y arriesgando la operación con la generación de islas en el espesador.

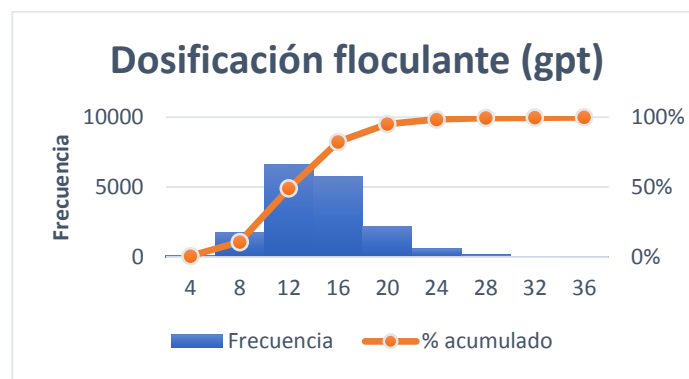


Ilustración 30: Histograma Dosificación Floculante

5.1.1.4. Problemas en planta de Floculante

Durante Abril 2014 se realizó un diagnóstico de la condición actual de la planta de preparación de floculante y su respectiva distribución hacia los espesadores de relaves (TK 712, TK 050 y TK 051), bajo las actuales condiciones de operación.

Actualmente la preparación de floculante se realiza en forma manual, coordinando entre operador, sala de control y operador en terreno. Los tres tanques de preparación de floculante (tornillos) están habilitados. Ninguna línea de dosificación hacia los espesadores cuenta con instrumentación. El mezclador (conexión línea de floculante y agua) no permite una adecuada mezcla del floculante para ser adicionado a los espesadores (relación óptima 1:10).

El actual sistema de dilución de floculante se muestra en la Ilustración 31 y en la Ilustración 32 presenta grandes problemas de mezcla, lo anterior debido a que el flujo de agua no permite la salida del flujo de floculante. Por lo anteriormente dicho se genera una contrapresión en las bombas dosificadoras de adición de floculante a la línea, causando que el reactivo no se mezcle adecuadamente con el agua según lo establecido por diseño (90% flujo de agua + 10% flujo de floculante).

El sistema considera una línea de agua de 6" a la cual ingresa el floculante preparado con una línea de 4" de manera perpendicular. Al aumentar el caudal de dilución se bloquea la salida por una sobre presión, disminuyendo el floculante.



Ilustración 31: Sistema actual de dilución

La Ilustración 32 muestra el funcionamiento del sistema actual de dilución.

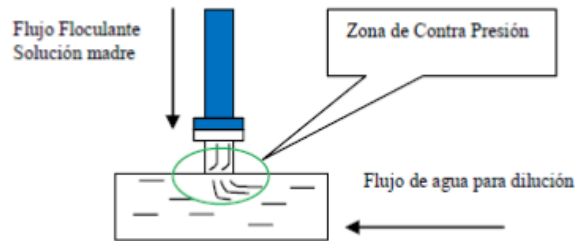


Ilustración 32: funcionamiento del Sistema actual de dilución

5.1.1.5. Homologación de Operadores.

El análisis de la variabilidad por turnos se realizó durante el 2 mayo al 14 de agosto del 2018, lo que evidencia diferencias de conductas operacionales bajo las mismas condiciones. Lo anterior se comprueba en las siguientes ilustraciones (El análisis se realizó sólo con los datos operacionales del espesador TK 712).

Para el análisis de porcentaje de sólido de descarga del relave hay una diferencia hasta un 0,5 % de sólido, solo por diferencia en la forma de operar en los diferentes turnos que se denotan por A, B, C y D (distintos operadores).

La gráfica se muestra a en la Ilustración 33:

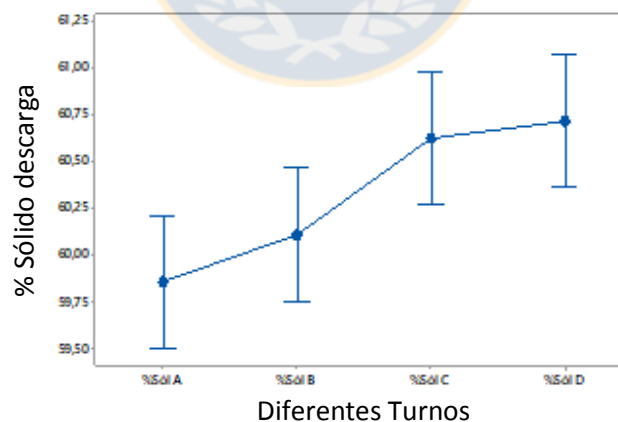


Ilustración 33: Diferencia por turnos con respecto a %Sólido.

Para el caso del porcentaje de torque utilizado, hay una diferencia de un 2% entre los turnos, la gráfica se muestra en la Ilustración 34:

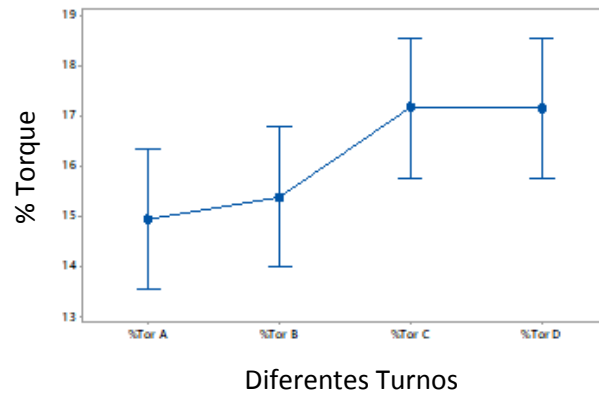


Ilustración 34: Diferencia por turnos con respecto a %Tor.

Para el caso del consumo específico de floculante, hay diferencia de 2 gpt de diferencia en las mismas condiciones de operación. La gráfica se muestra en la *Ilustración 35*:

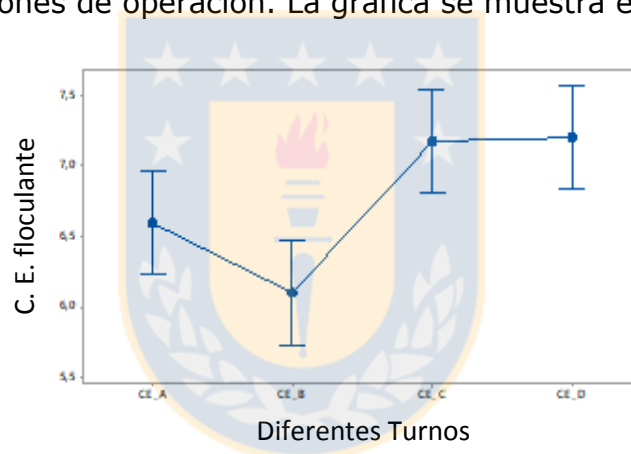


Ilustración 35: Diferencia por turnos con respecto a C.E. Floc.

5.1.1.6. Instrumentación actual en los Espesadores

La condición actual de los equipos de MLP es deficiente en lo que se refiere a instrumentación por lo que los parámetros que controla el ingeniero de la sala de control son mínimos, esto hace que se cumplan los parámetros de diseño de los espesadores, considerando que lo más importante es priorizar la continuidad operacional.

En la Tabla 15 se aprecia la cantidad de instrumentación por espesador, es necesario mencionar que en este momento no hay calibración periódica de los equipos, lo que genera que no todas las mediciones sean confiables.

El número de equipos con mediciones confiables por espesador es uno para el caso de los flujómetros y densímetros en la descarga. La siguiente tabla muestra la actual condición de instrumentación de los espesadores.

Tabla 15: Condición Instrumentación Actual

| Instrumentación | TK 050 | TK 051 | TK 712 |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| Flujómetros en alimentación | ✗ | ✗ | ✗ |
| Flujómetros en descarga | 1/4 | 1/4 | 1/4 |
| Densímetros en alimentación | ✗ | ✗ | ✗ |
| Densímetros en descarga | 1/4 | 1/4 | 1/4 |
| Nivel de Interfaz | ✗ | ✗ | ✗ |
| Turbidez del agua recuperada | ✗ | ✗ | ✗ |
| Presión de cama | ✗ | ✗ | ✓ |
| Torquímetro | ✓ | ✓ | ✓ |
| Altura rastras | ✓ | ✓ | ✓ |
| Velocidad de sedimentación | ✗ | ✗ | ✗ |
| Dosis de Floculante | ✗ | ✗ | ✗ |

5.1.1.7. Condición de las válvulas

En este momento las válvulas que se utilizan en MLP son de control de flujo, *on-off*. Cada espesador posee 4 descargas, 2 principales y 2 auxiliares. En la actualidad no todas las descargas se encuentran operativas tal como se muestra en la Tabla 16.

Se busca a mediano plazo tener operativas todas las descargas de los equipos, y a largo plazo comenzar a utilizar válvulas de control de flujo.

Tabla 16: Condición Válvulas Actual

| Válvulas | TK 050 | TK 051 | TK 712 |
|--|--------|--------|--------|
| Válvula control de flujo (Pinch / Musculo) | ✗ | ✗ | ✗ |
| Control abierto/cerrado | ✓ | ✓ | ✓ |

5.1.2. Propuesta de valor del análisis *Full Potencial*.

Para la definición del *full potencial*, se analizan los datos entregados la medición del porcentaje de sólido de descarga de los espesadores se toma desde los tubos del STR, esto posterior al sistema de clasificación.

En febrero del 2018, los espesadores cambiaron de gerencia por lo que la metodología operacional también sufrió cambios, exigiendo más a los equipos aún en rangos de operación normal, a esto se debe el promedio del aumento de porcentaje de sólido de descarga de los espesadores.

Como brechas se identifican 3:

1. Aprovechamiento de la capacidad de Torque para lo cual se requiere optimizar el reactivo con floculante modificador reológico.
2. Homologación de operadores.
3. La implementación de lazos de control (asociado a implementar nueva instrumentación y mejorar la condición de los equipos).

La Ilustración 36 muestra de forma gráfica el potencial asociado a cada palanca / iniciativa.

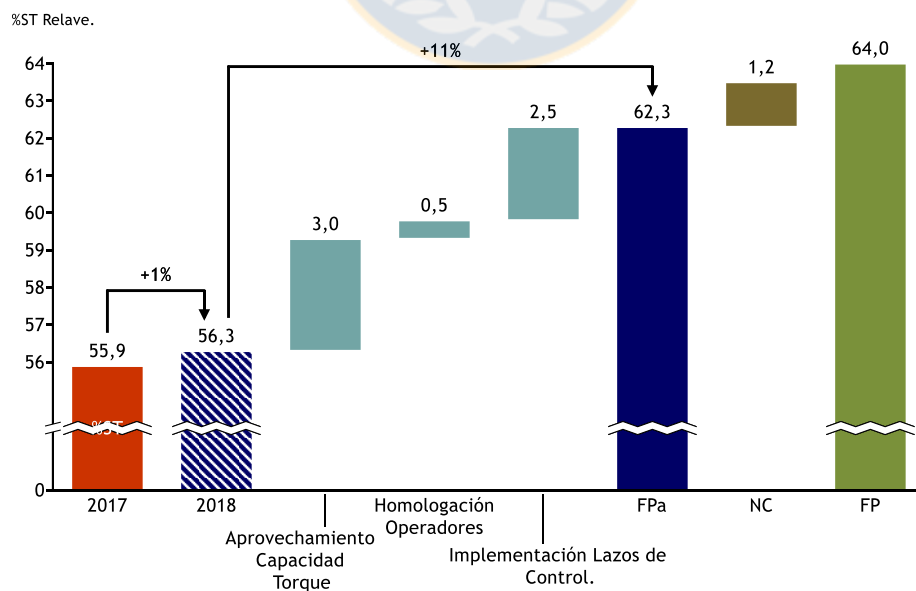


Ilustración 36: Definición del FP. de la Oportunidad.

Para estimar el aporte a la captura de valor se hace por medio de análisis de datos; para el caso de la homologación de operadores, se utilizó la gráfica de la Ilustración 33: Diferencia por turnos con respecto a %Sólido., que muestra que sólo por concepto de operación, hay diferencia en el sólido de descarga. Esta palanca tiene un potencial valorizado de un 0,5%.

El aprovechamiento de la capacidad de torque está asociado a aumentar el porcentaje de torque de los espesadores permaneciendo en una condición segura de operación, esto aumentando el flujo de alimentación a los espesadores, generando una mayor zona de compactación, lo que generará un mayor sólido de descarga, lo que es el objetivo buscado; esta palanca tiene un potencial valorizado de un 3,0%.

La implementación de lazos de control, se cuantificó en un 2,5% de potencial, esto en base a la experiencia de Las Tórtolas, debido a que obtuvieron como resultados el aumento del porcentaje de sólido de descarga en un 3% y disminuyeron su consumo de floculante [6].

Con estos antecedentes se logra un Full Potencial alcanzable de un 62,3 % y se tiene como restricción operacional un máximo de un 64% de sólido en el transporte en los ductos del STR, y el Full Potencial está dado por aquel valor.

Dentro de los beneficios esperados están:

- Disminución de la recirculación de agua desde el tranque el Mauro a la planta concentradora (aumentar 1%ST se traduce en transportar aproximadamente menos 90 m³/h).
- Optimización del consumo de floculante.
- Disminución de reboces al tranque Quillayes (Tranque que se encuentra en proceso de cierre).
- Mayor control operacional.

Aporte a la captura de valor:

- Disminución del costo de energía eléctrica por recirculación de agua desde tranque El Mauro (valor agua recirculada 0,44 USD/m³).
- Disminución de consumo de floculante.

El análisis de la situación actual da conocer que hay una gran cantidad de oportunidades de mejora en el área. Las variables que se estudiaron fue los distintos resultados en los diferentes turnos, esto en igualdad de condiciones, la condición actual de los equipos en función de la instrumentación para posterior implementar lazos de control y la propuesta de mejora del aprovechamiento de la capacidad de torque, y se sugiere un cambio de reactivo.

Mas antecedentes sobre el comportamiento de los datos se presentan en los anexos D, E, F, G, H, I y J.

5.2. Resultados pruebas de laboratorio

En este ítem se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio con distintos floculantes modificador reológico, y van a dar el valor de la brecha de aprovechamiento de la capacidad de torque (Etapa 2).

5.2.1. Evaluación Floculante

Fase 10 N

En la Ilustración 37, Ilustración 38, Ilustración 93, presentan los resultados de velocidad de sedimentación, Cp final y resultados de turbidez. Las probetas se encontraban ajustadas al 17% de sólido con una dosis fija de 6 g/t.

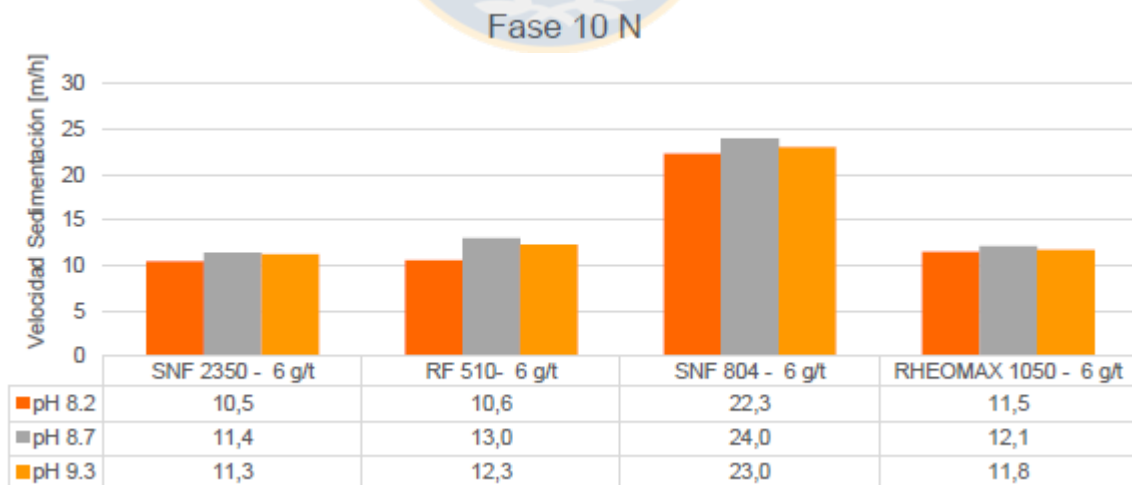


Ilustración 37: Velocidad de sedimentación - Fase 10 N

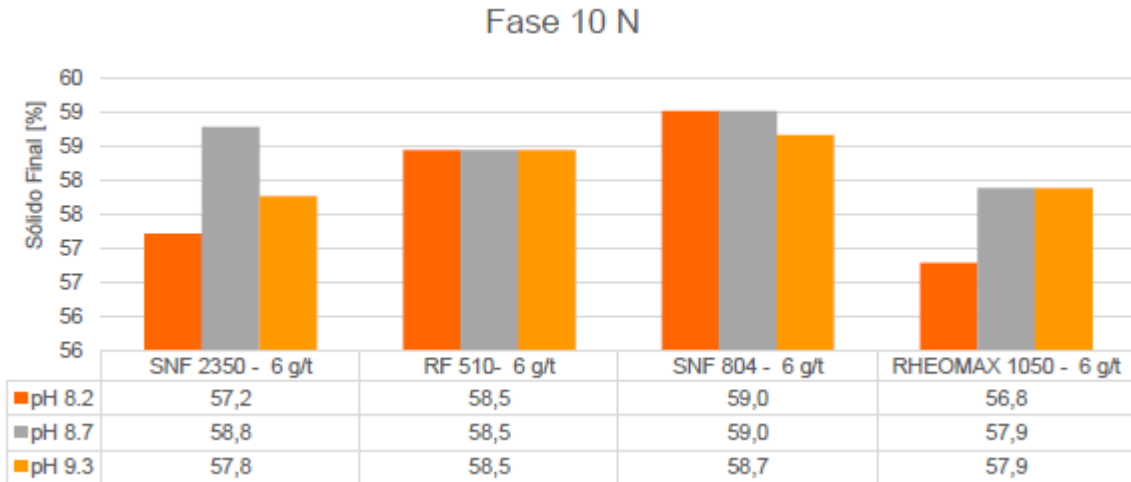


Ilustración 38: Sólido final (%) - Fase 10 N

En base a los resultados obtenidos para el caso de sedimentación, se puede apreciar que el floculante con mayor rendimiento fue el SNF 804, considerando como criterio de selección el reactivo que obtuvo mayor compactación y velocidad de sedimentación, alcanzando valores máximos de velocidad de sedimentación de 24 [m/h] y un máximo de compactación del 59 % de sólido a un pH de 8.7 a las 24 horas. Por otra parte, a los pH 8.7 y pH 9.3, se visualiza una tendencia de aumento en los valores de velocidad de sedimentación.

Con respecto a las mediciones de reología fueron tomadas a las muestras provenientes de los ensayos estáticos de sedimentación. Dicha medición permitió la obtención de un valor de tensión de fluencia (*Yield Stress*) y viscosidad por el modelo matemático de Bingham. La evaluación fue realizada a los porcentajes de 50%, 55%, 60% de sólido. En la Ilustración 39 y en la Ilustración 40, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 50% de sólido:

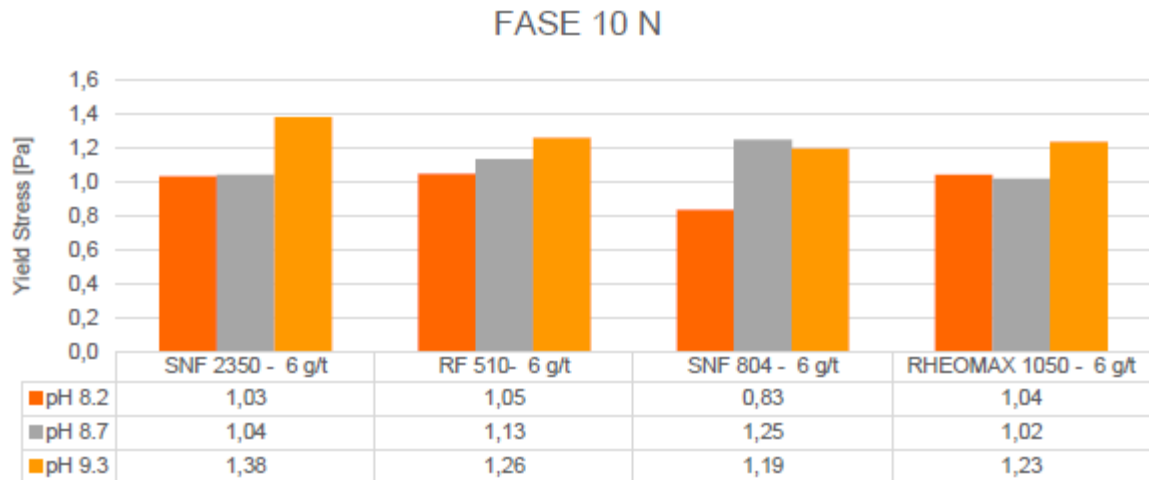


Ilustración 39: Yield stress 50% de Sólido - Fase 10 N

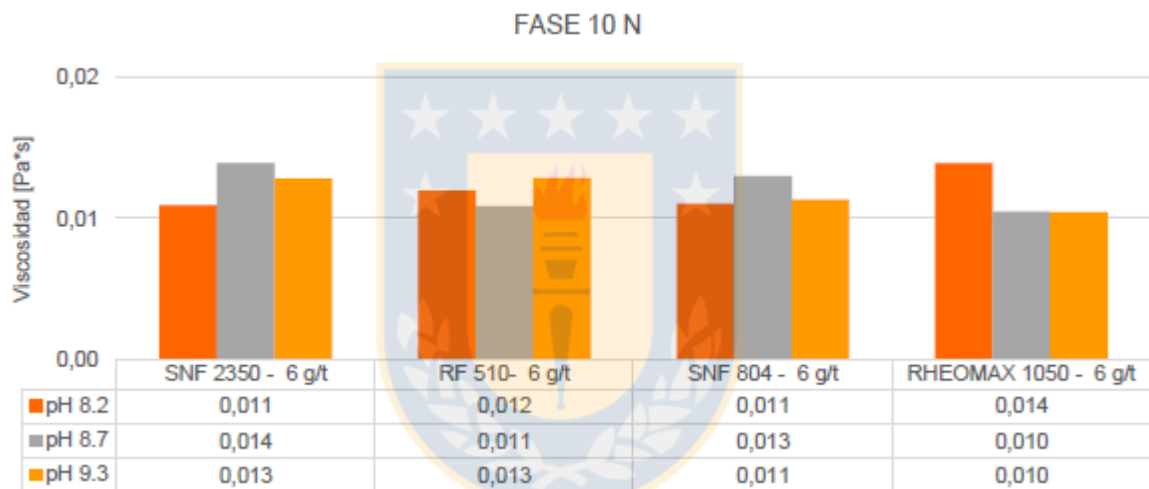


Ilustración 40: Viscosidad 50% de Sólido - Fase 10 N

En la Ilustración 41 y en la Ilustración 42, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 55% de sólido:

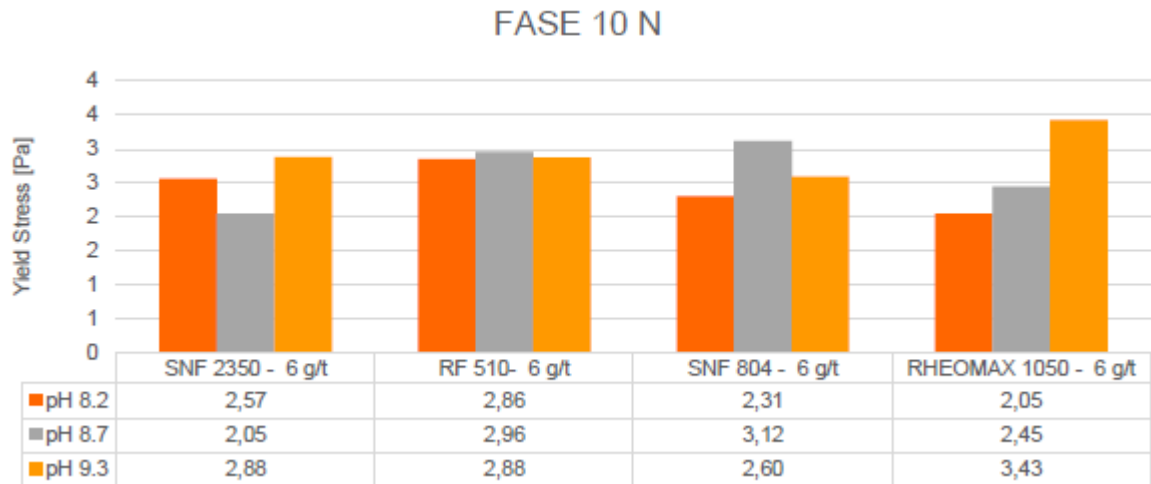


Ilustración 41: Yield stress 55% de Sólido - Fase 10 N

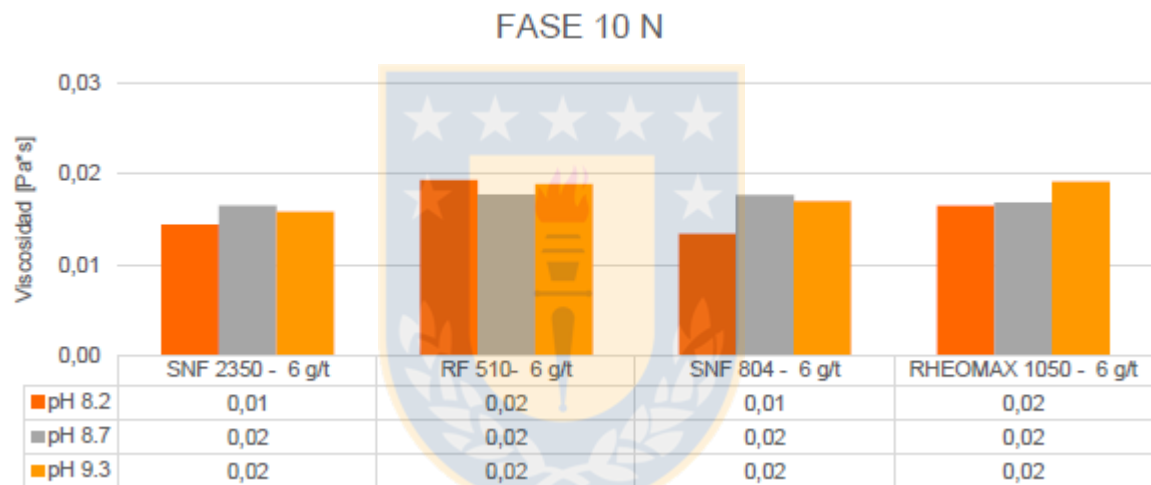


Ilustración 42: Viscosidad 55% de Sólido - Fase 10 N

En la Ilustración 43 y en la Ilustración 44, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 60% de sólido:

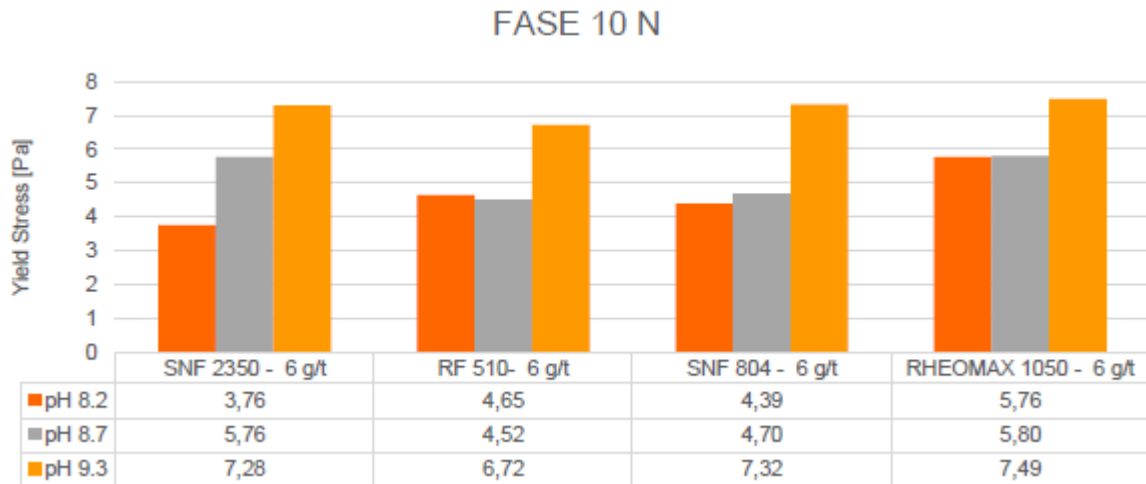


Ilustración 43: Yield stress 60% de Sólido - Fase 10 N

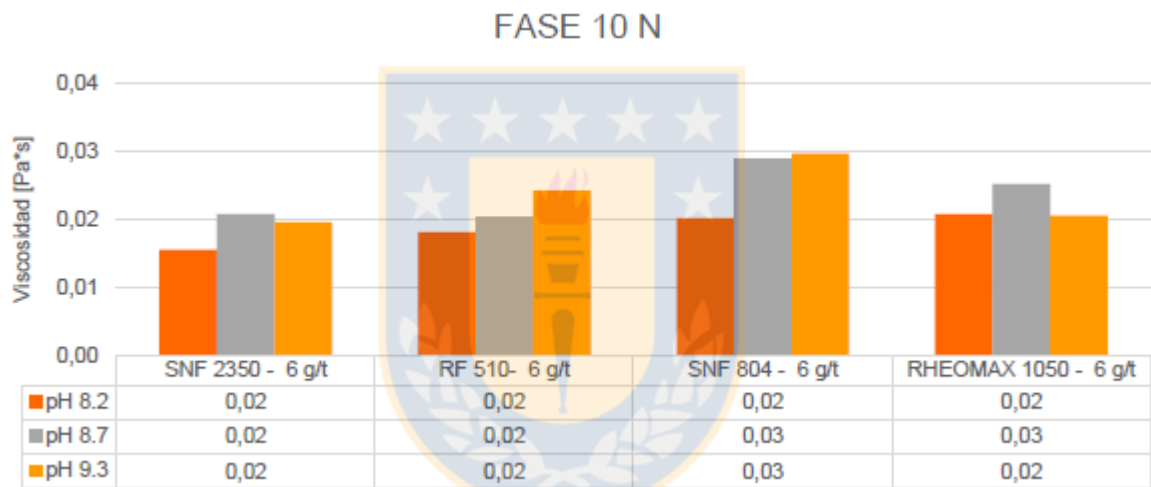


Ilustración 44: Viscosidad 60% de sólido - Fase 10 N

En términos generales, se visualiza que a mayor pH existe una leve tendencia de aumento de los valores de yield stress a un pH 9.3, principalmente a un 60% de sólido.

Fase 7 R

En la Ilustración 45, Ilustración 46, Ilustración 94, presentan los resultados de velocidad de sedimentación, Cp final y resultados de turbidez. Las probetas se encontraban ajustadas al 17% de sólido con una dosis fija de 6 g/t.

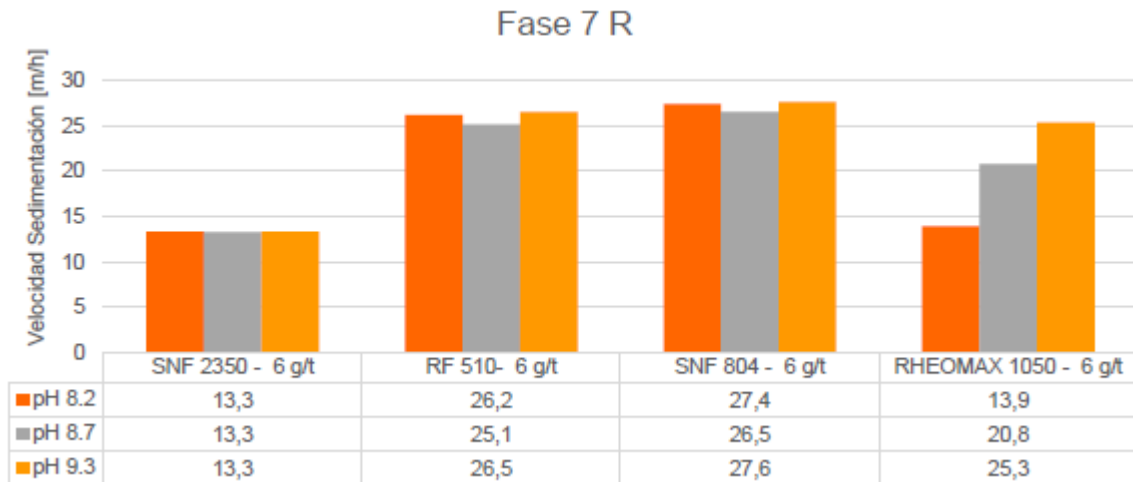


Ilustración 45: Velocidad de sedimentación - Fase 7 R

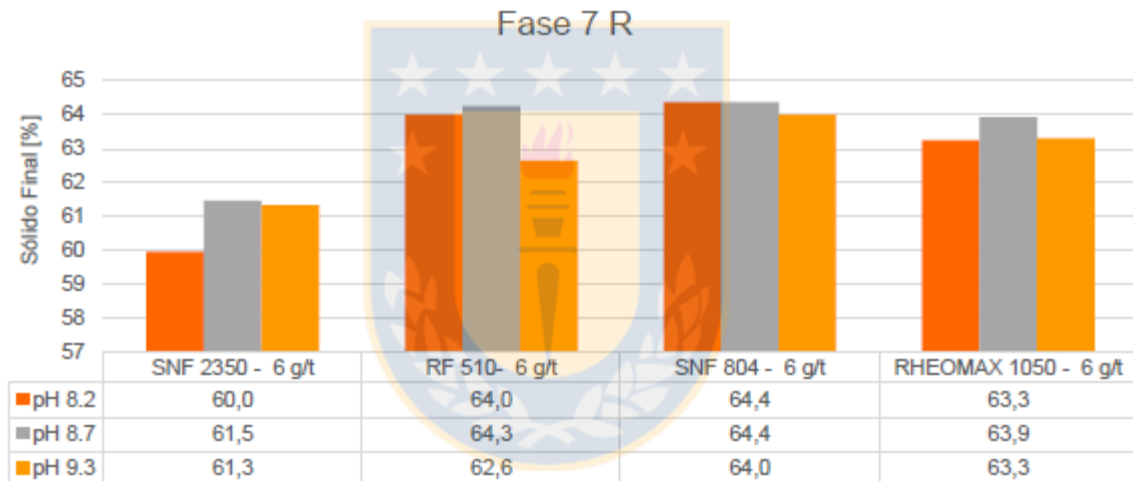


Ilustración 46: Sólido final (%) - Fase 7 R

En base a los resultados obtenidos para el caso de sedimentación, se puede apreciar que el floculante con mayor rendimiento en términos de velocidad de sedimentación al igual que la muestra Fase 10N fue el floculante SNF 804, alcanzando valores máximos de velocidad de sedimentación de 27.6 (m/h) a un pH 9.3 y un máximo de compactación del 64.4% de sólido a un pH de 8.7.

Con respecto a las mediciones de reología fueron tomadas a las muestras provenientes de los ensayos estáticos de sedimentación. Dicha medición permitió la obtención de un valor de tensión de fluencia (*Yield Stress*) y viscosidad por el modelo matemático de Bingham. La evaluación fue realiza a los porcentajes de 50%, 55%, 60% de sólido.

En la Ilustración 47 y en la Ilustración 48, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 50% de sólido:

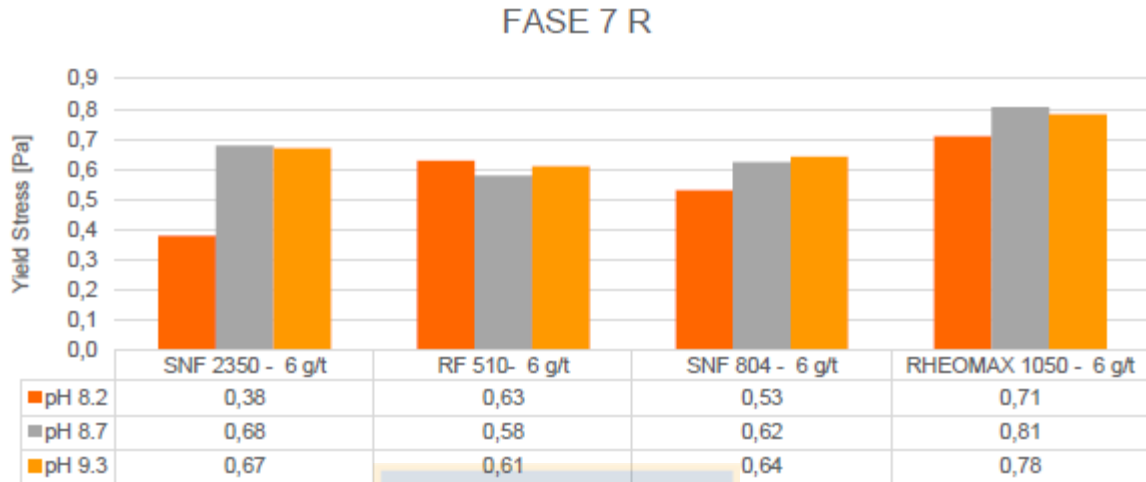


Ilustración 47: *Yield stress* 50% de Sólido - Fase 7 R

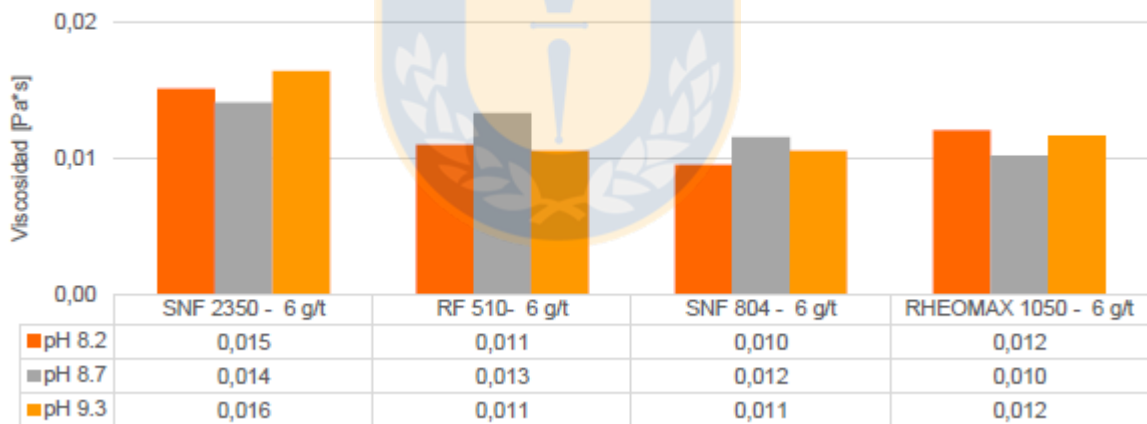


Ilustración 48: Viscosidad 50% de Sólido - Fase 7 R

En la Ilustración 49 y en la Ilustración 50, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 55% de sólido:

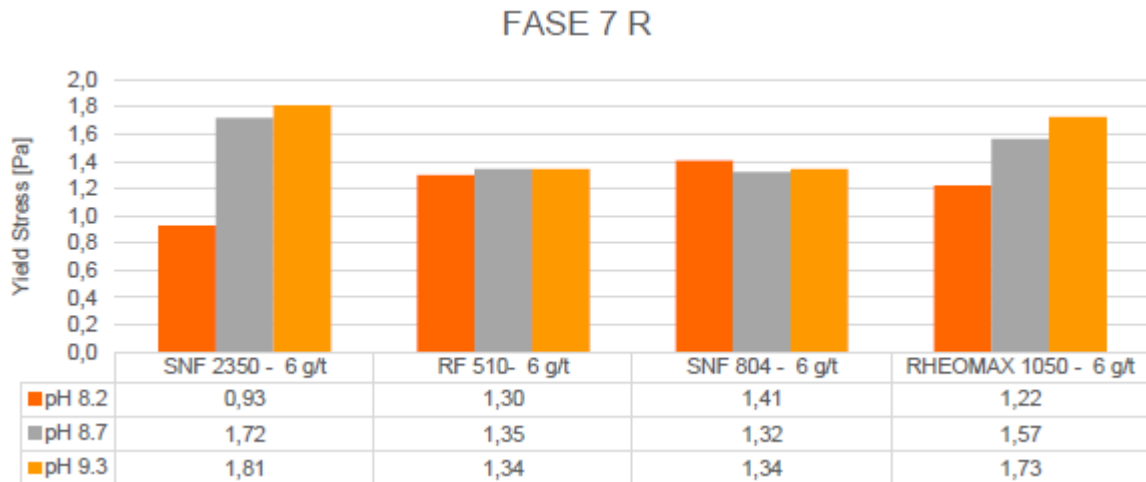


Ilustración 49: Yield stress 55% de Sólido - Fase 7 R

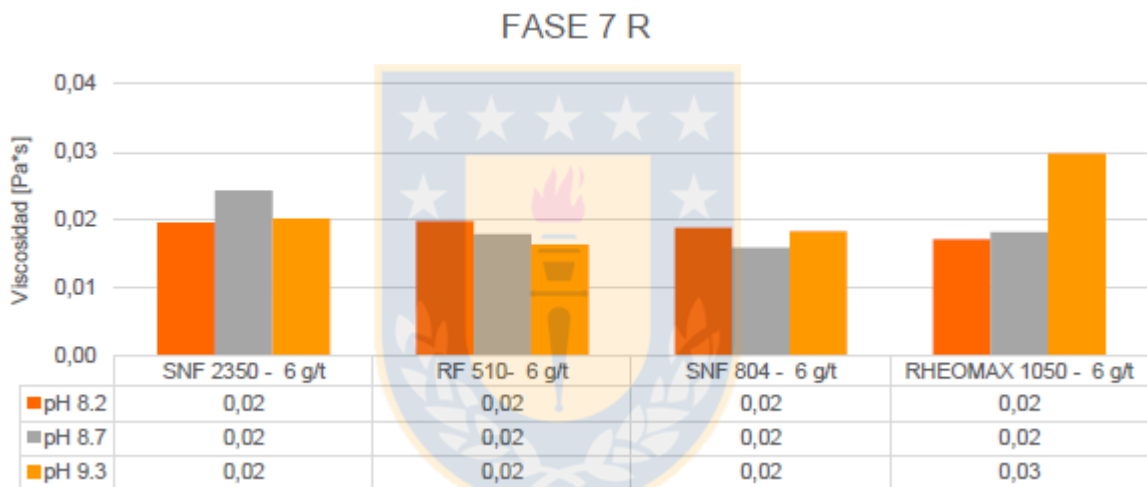


Ilustración 50: Viscosidad 55% de Sólido - Fase 7 R

A en la Ilustración 51 y en la Ilustración 52, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 60% de sólido:

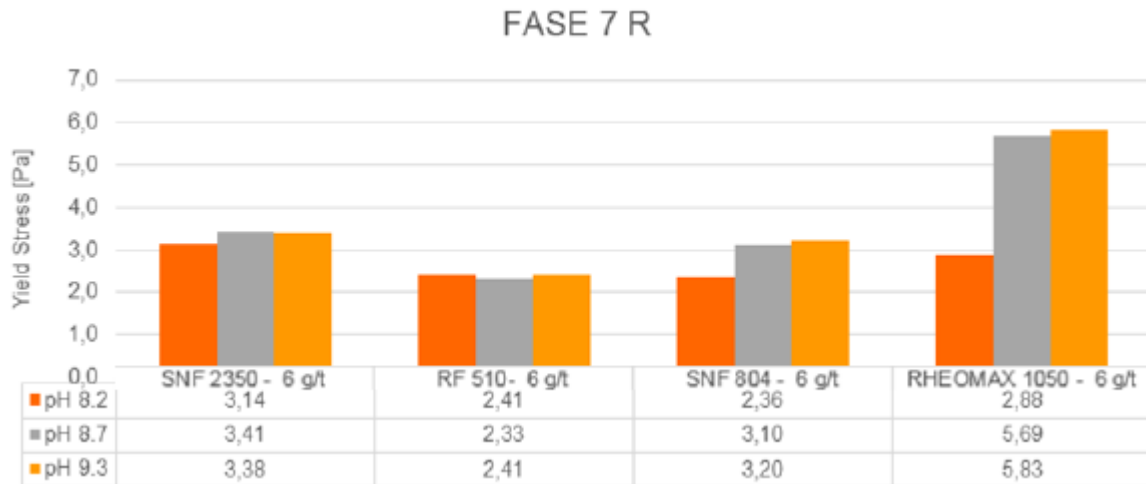


Ilustración 51: Yield stress 60% de Sólido - Fase 7 R

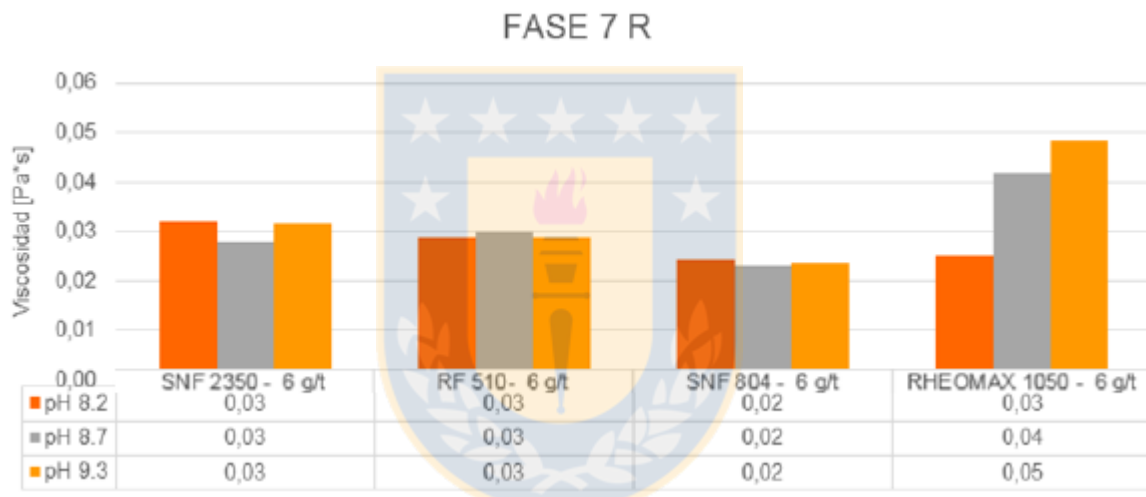


Ilustración 52: Viscosidad 60% de Sólido - Fase 7 R

En términos generales, se visualiza que a mayor pH existe una leve tendencia de aumento de los valores de yield stress a un pH 9.3, principalmente a un 60% de sólido.

Fase Mezcla

La Ilustración 53, Ilustración 54, Ilustración 95, presentan los resultados de velocidad de sedimentación, Cp final y resultados de turbidez. Las probetas se encontraban ajustadas al 17% de sólido con una dosis fija de 6 g/t.

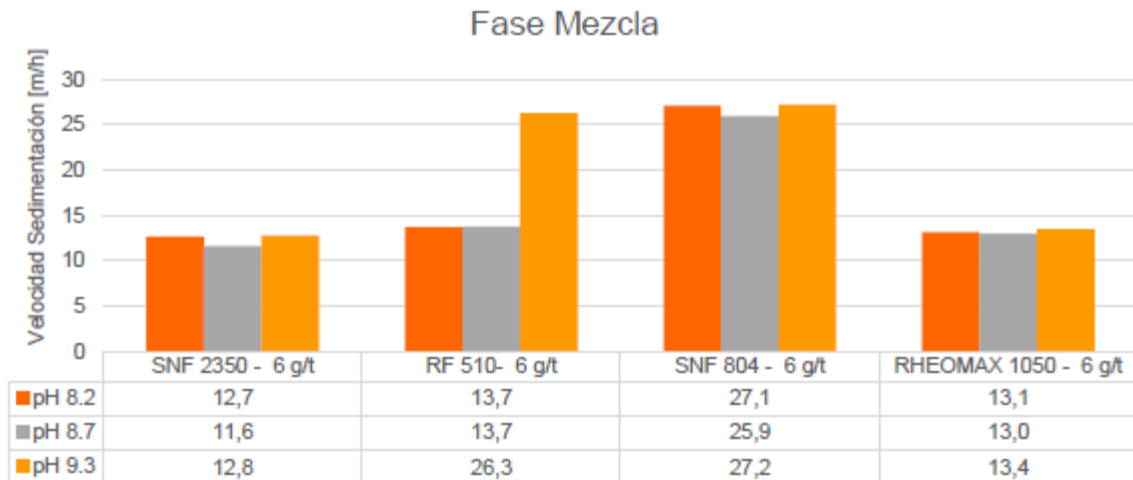


Ilustración 53: Velocidad de sedimentación – Mezcla

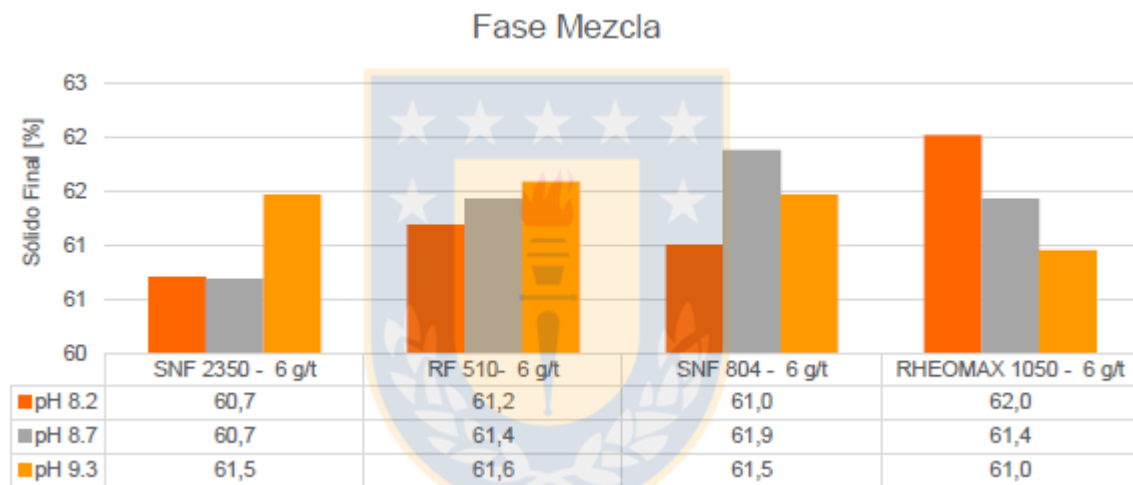


Ilustración 54: Sólido Final (%) - Fase Mezcla

En base a los resultados obtenidos para el caso de sedimentación, se puede apreciar que el floculante con mayor rendimiento en términos de velocidad de sedimentación fue el SNF 804, alcanzando valores máximos de velocidad de sedimentación de 27.2 m/h a un pH 9.3 y un máximo de compactación del 62% de sólido.

Con respecto a las mediciones de reología fueron tomadas a las muestras provenientes de los ensayos estáticos de sedimentación. Dicha medición permitió la obtención de un valor de tensión de fluencia (*Yield Stress*) y viscosidad por el modelo matemático de Bingham. La evaluación fue realizada a los porcentajes de 50%, 55%, 60% de sólido.

En la Ilustración 55 y en la Ilustración 56, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 50% de sólido:

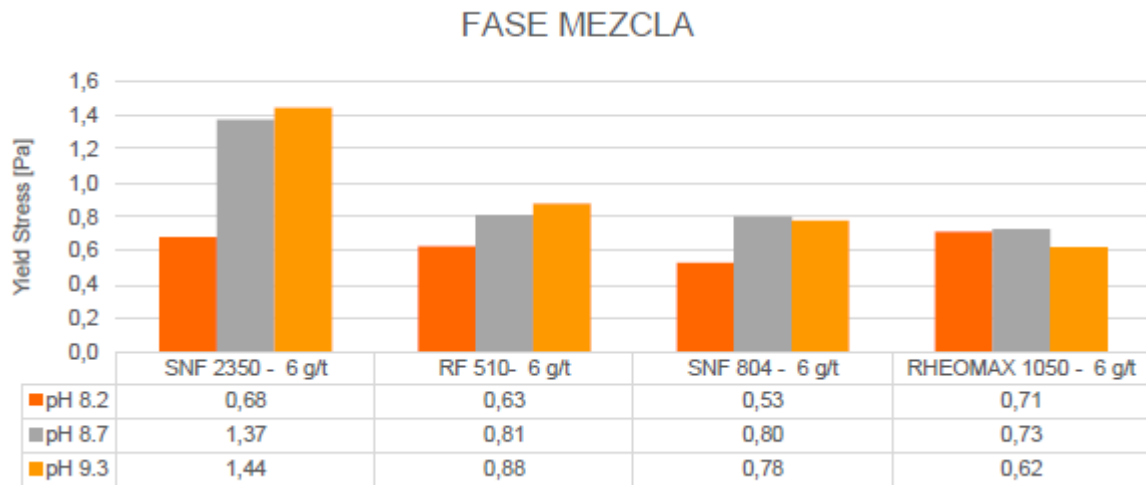


Ilustración 55: Yield stress 50% de sólido - Fase Mezcla

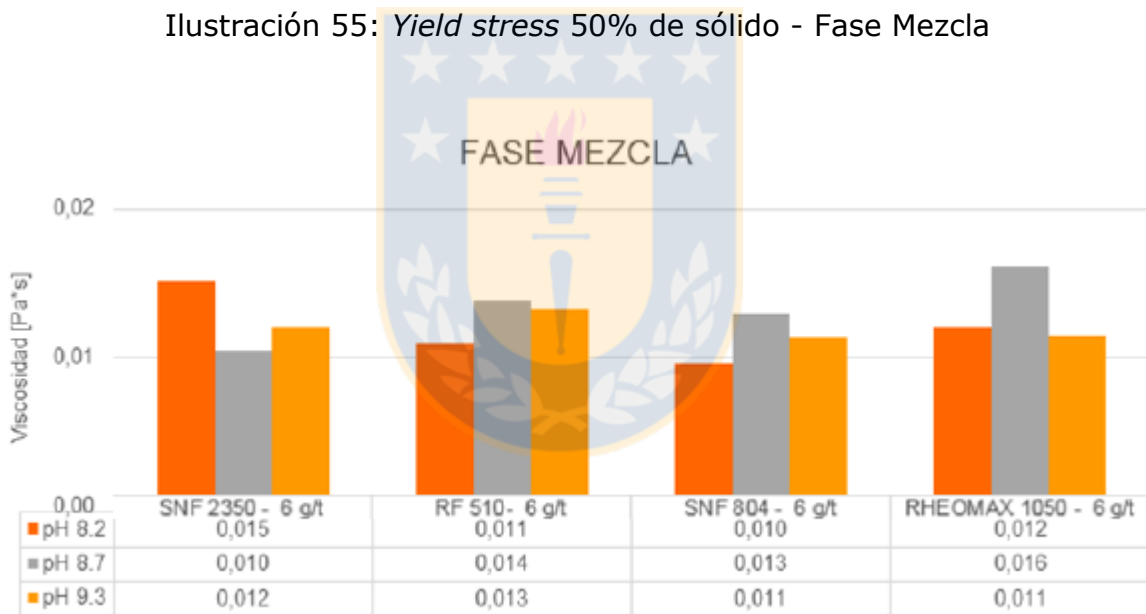


Ilustración 56: Viscosidad 50% de sólido - Fase Mezcla

En la Ilustración 57 y en Ilustración 58, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 55% de sólido:

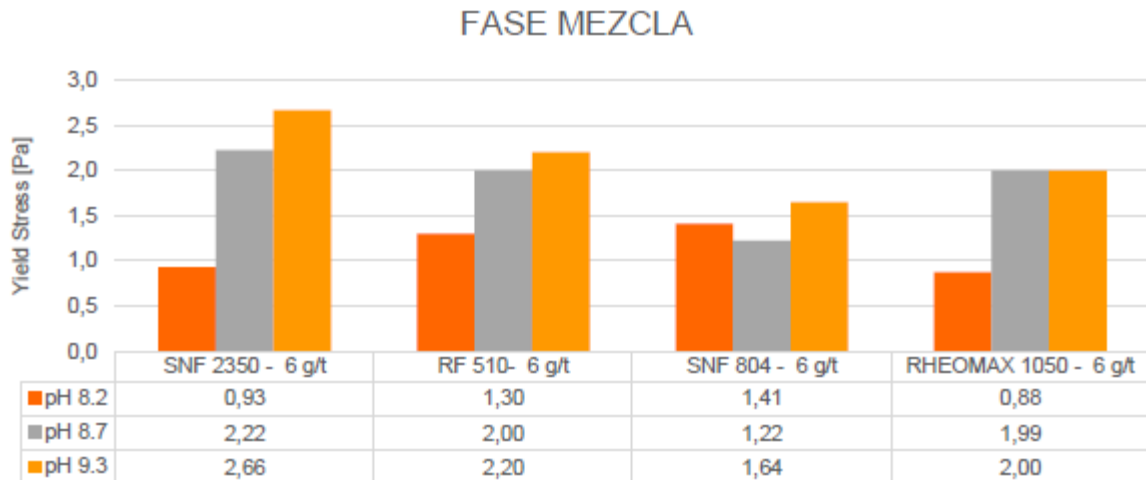


Ilustración 57: *Yield stress* 55% de Sólido - Fase Mezcla

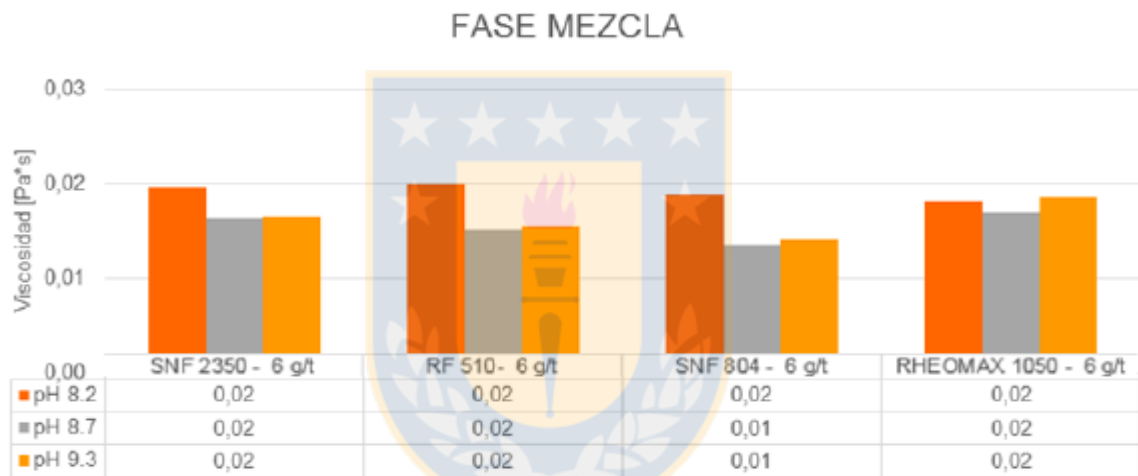


Ilustración 58: Viscosidad 55% de Sólido - Fase Mezcla

En la Ilustración 59 y en la Ilustración 60, se detalla los resultados obtenidos para un sólido del 60%:

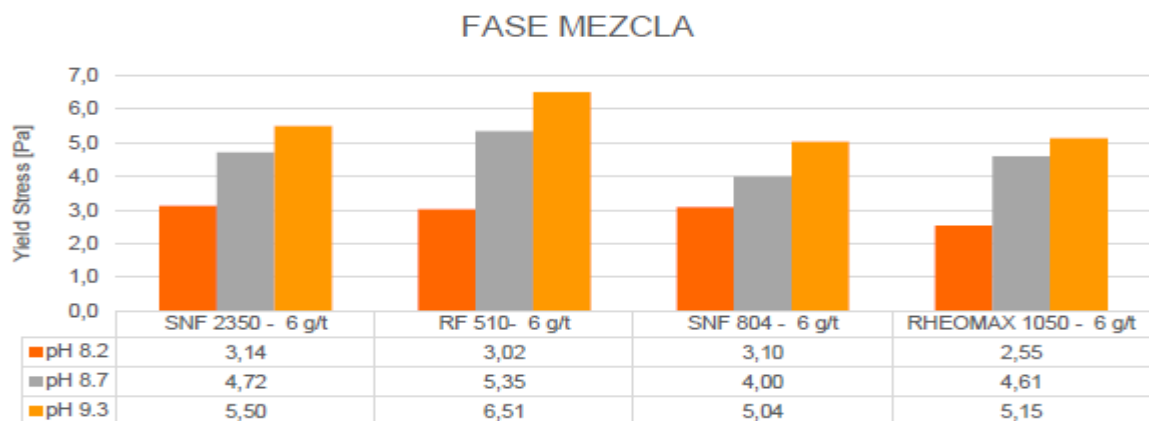


Ilustración 59: *Yield stress* 60% de sólido - Fase Mezcla

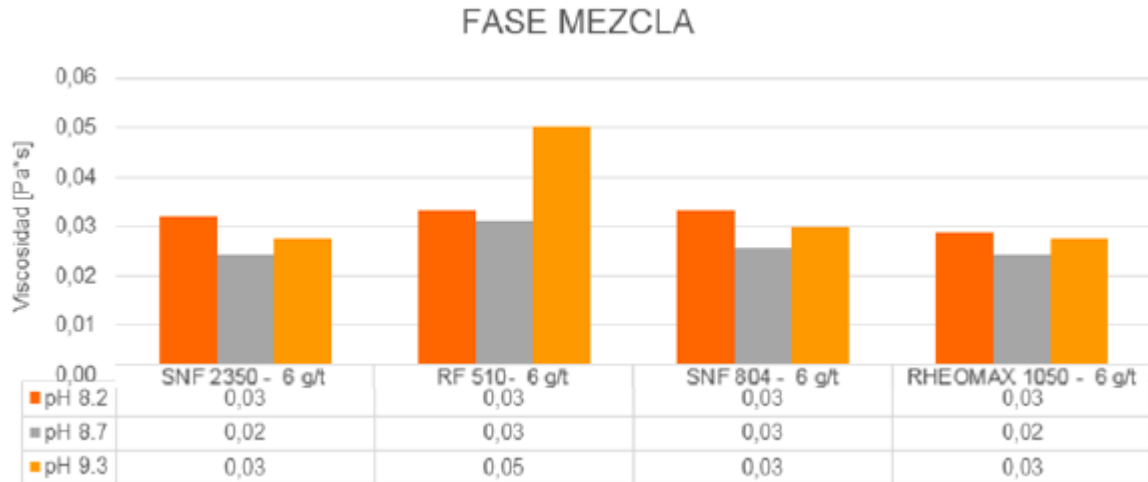


Ilustración 60: Viscosidad 60% de sólido - Fase Mezcla

En términos generales, se visualiza que a mayor pH existe una leve tendencia de aumento de los valores de yield stress a un pH 9.3.

5.2.2. Sedimentación Dinámica

A partir de muestras relaves obtenidas de flotación se realizaron ensayos dinámicos de sedimentación para confirmar y evaluar cambio de dosis, Para esto se calculó un flujo de alimentación de pulpa para cada muestra, con una concentración de sólido inicial de 17%, utilizando el reactivo SNF 804 a una dosificación de 3 g/t, 5 g/t y 6 g/t.

Para ejecutar ensayos dinámicos de sedimentación, previamente se debe contar con un ensayo estático, el cual dará el acondicionamiento de los flujos de alimentación de estas, en base a la velocidad y área unitaria obtenida. Referente al valor de área unitaria, es importante mencionar que se trata de un área unitaria estimativa la cual se calcula en base a la utilización del método Coe- Clevenger, el cual tiende subestimar los valores obtenidos.

Se realizaron muestreos de underflow y overflow, obteniendo los siguientes resultados para cada muestra.

Fase 10 N

En la Tabla 17 Tabla 18 y Tabla 19, se encuentran los resultados obtenidos en términos de % de sólido final y reología vane al material sedimentado.

Tabla 17: Sedimentación dinámica 3 g/t - Fase 10N

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|-----|--------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Fase 10N | 2,7 | 17 | 388,8 | 3 | 43,5 | SNF 804 | 56,8 | 20,13 | 9,269 | 541,3 |
| | | | | | | | 57,0 | 21,90 | 8,22 | 479,3 |
| | | | | | | | 57,1 | 28,56 | 10,760 | 588,0 |
| | | | | | | | 57,2 | 28,02 | 8,625 | 593,7 |

Tabla 18: Sedimentación dinámica 5 g/t - Fase 10 N

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|-----|--------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Fase 10N | 2,7 | 17 | 388,8 | 5 | 72,58 | SNF 804 | 57,3 | 25,58 | 8,764 | 180,7 |
| | | | | | | | 58,9 | 37,54 | 9,528 | 165,7 |
| | | | | | | | 59,2 | 41,85 | 10,740 | 162,0 |
| | | | | | | | 59,6 | 49,73 | 8,478 | 152,0 |

Tabla 19: Sedimentación dinámica 6 g/t - Fase 10 N

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|-----|--------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Fase 10N | 2,7 | 17 | 388,8 | 6 | 87,1 | SNF 804 | 57,9 | 31,78 | 9,724 | 98,1 |
| | | | | | | | 59,7 | 56,81 | 10,29 | 87,3 |
| | | | | | | | 60,1 | 50,24 | 16,78 | 95,3 |
| | | | | | | | 59,6 | 47,29 | 7,514 | 91,1 |

Con respecto a los resultados obtenidos en sedimentación dinámica, tanto con el uso de 5 g/t o 6 g/t logró compactar un máximo de 59 a 60 % de sólido final, pero con una diferencia en la claridad del agua sobrenadante siendo menor a una dosis de 6 g/t. Bajo las mismas condiciones operacionales de alimentación y floculante, a una dosis de 3 g/t, alcanzó menores valores de compactación y mayores valores de turbidez en un rango de 500 – 600 NTU medidos sobre el agua sobrenadante.

Las mediciones de reología vanen obtenidas (yield point unshear y fullshear) alcanzaron valores máximos de 56 (Pa) para un 60% de sólido sin agitación.

Las mediciones reológicas por el método Cup fueron tomadas a las muestras provenientes de los ensayos de sedimentación dinámica. Dicha medición permitió la obtención de un valor de tensión de fluencia (*Yield Stress*) y viscosidad por el modelo matemático de Bingham. La evaluación fue realizada a los porcentajes de 55%, 60%, 65% de sólido. En la Tabla 20, se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 20: Resultados Reología Cup Fase 10 N

| Resultados Reología Cup – Fase 10 N | | | |
|--|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Muestra | % Sólido | Yield Stress (Pa) | Viscosidad (Pa*s) |
| 3 g/t | 55 | 0,9834 | 0,009555 |
| | 60 | 3,01 | 0,2924 |
| | 65 | 29,68 | 0,05105 |
| 5 g/t | 55 | 1,059 | 0,00917 |
| | 60 | 4,737 | 0,03278 |
| | 65 | 30,78 | 0,5567 |
| 6 g/t | 55 | 1,037 | 0,008804 |
| | 60 | 3,77 | 0,02966 |
| | 65 | 22,06 | 0,04233 |

Fase 7 R

En la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23, se encuentran los resultados obtenidos en términos de % de sólido final y reología vane al material sedimentado.

Tabla 21: Sedimentación dinámica 3 g/t - Fase 7 R

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------------|--------------|--------------------------|--------------------------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Fase 7 R | 2,7 | 17 | 469,9 | 3 | 52,63 | SNF 804 | 62,5 | 31,97 | 8,222 | 738 |
| | | | | | | | 63,1 | 39,93 | 4,41 | 742 |
| | | | | | | | 63,6 | 33,58 | 6,944 | 746 |
| | | | | | | | 63,4 | 38,22 | 7,31 | 734 |

Tabla 22: Sedimentación dinámica 5 g/t - Fase 7 R

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|-----|--------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Fase 7 R | 2,7 | 17 | 469,9 | 5 | 87,72 | SNF 804 | 63,4 | 36,75 | 6,602 | 338 |
| | | | | | | | 64,1 | 57,3 | 9,819 | 342 |
| | | | | | | | 63,3 | 38,23 | 8,081 | 331 |
| | | | | | | | 63,7 | 42,40 | 7,761 | 356 |

Tabla 23: Sedimentación dinámica 6 g/t - Fase 7 R

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|-----|--------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Fase 7 R | 2,7 | 17 | 469,9 | 6 | 105,26 | SNF 804 | 64,3 | 68,89 | 2,146 | 199 |
| | | | | | | | 63,3 | 46,29 | 4,008 | 202 |
| | | | | | | | 64,4 | 64,53 | 6,258 | 208 |
| | | | | | | | 64,3 | 63,07 | 8,519 | 211 |

Con respecto a los resultados obtenidos en sedimentación dinámica, tanto con el uso de 3 g/t, 5 g/t y 6 g/t lograron compactar un máximo de 63 a 64% de sólido final, pero con una diferencia en la claridad del agua sobrenadante siendo menor a una dosis de 6 g/t. Sin embargo, a una dosis de 3 g/t, alcanzó mayores valores de turbidez en un rango de 700 NTU medidos sobre el agua sobrenadante.

Las mediciones de reología vane obtenidas (yield point unshear y fullshear) alcanzaron valores máximos de 68 [Pa] para un 64% de sólido sin agitación.

Las mediciones reológicas por el método Cup fueron tomadas a las muestras provenientes de los ensayos de sedimentación dinámica. Dicha medición permitió la obtención de un valor de tensión de fluencia (*Yield Stress*) y viscosidad por el modelo matemático de Bingham. La evaluación fue realiza a los porcentajes de 55%, 60%, 65% de sólido. En la Tabla 24, se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 24: Resultados Reología Cup - Fase 7 R

| Resultados Reología Cup – Fase 7 R | | | |
|---|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Muestra | % Sólido | Yield Stress (Pa) | Viscosidad (Pa*s) |
| 3 g/t | 55 | 1,321 | 0,01199 |
| | 60 | 2,723 | 0,02352 |
| | 65 | 13,88 | 0,03505 |
| 5 g/t | 55 | 1,544 | 0,01221 |
| | 60 | 3,152 | 0,02301 |
| | 65 | 14,55 | 0,03812 |
| 6 g/t | 55 | 1,399 | 0,01283 |
| | 60 | 2,833 | 0,02065 |
| | 65 | 16,80 | 0,03442 |

Fase Mezcla

En la Tabla 25, la Tabla 26 y Tabla 27, se encuentran los resultados obtenidos en términos de % de sólido final y reología vane al material sedimentado.

Tabla 25: Sedimentación dinámica 3 g/t - Fase Mezcla

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------------|--------------|--------------------------|--------------------------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Fase Mezcla | 2,7 | 17 | 458,1 | 3 | 51,3 | SNF 804 | 60,8 | 38,41 | 4,554 | 274 |
| | | | | | | | 59,8 | 16,13 | 13,32 | 269 |
| | | | | | | | 60,1 | 34,92 | 14,74 | 263 |
| | | | | | | | 61,5 | 40,85 | 14,46 | 272 |

Tabla 26: Sedimentación dinámica 5 g/t - Fase Mezcla

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|----------------|--------------|--------------------------|--------------------------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Fase Mezcla | 2,7 | 17 | 458,1 | 5 | 85,5 | SNF 804 | 61 | 41,53 | 10,1 | 174 |
| | | | | | | | 60,3 | 36,56 | 18,39 | 169 |
| | | | | | | | 61,3 | 46,18 | 19,6 | 163 |
| | | | | | | | 61,6 | 49,16 | 14,63 | 172 |

Tabla 27: Sedimentación dinámica 6 g/t - Fase Mezcla

| Muestra | G. E. | % Sólido en pulpa | Alim. De pulpa (ml/min) | g/t | Floc. (ml/h) | Floculante | % Sólido U/F | Yield Point unshear (Pa) | Yield point Fullshear (Pa) | NTU O/F |
|-------------|-------|-------------------|-------------------------|-----|--------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Fase Mezcla | 2,7 | 17 | 458,1 | 6 | 102,6 | SNF 804 | 62,4 | 62,17 | 16,11 | 121 |
| | | | | | | | 61,3 | 45,50 | 18,48 | 110 |
| | | | | | | | 62,1 | 50,12 | 23,71 | 124 |
| | | | | | | | 62,5 | 55,66 | 18,31 | 135 |

Con respecto a los resultados obtenidos en sedimentación dinámica, el uso de 6 g/t de floculante lograron compactar un máximo de 62% de sólido final, mientras que al utilizar una dosis de 3 g/t, alcanzó a compactar un máximo de 61% de sólido final, pero presentó mayores valores de turbidez en un rango de 215 NTU medidos sobre el agua sobrenadante.

Las mediciones de reología vane obtenidas (yield point unshear y fullshear) alcanzaron valores máximos de 62 (Pa) para un 62% de sólido sin agitación.

Las mediciones reológicas por el método Cup fueron tomadas a las muestras provenientes de los ensayos de sedimentación dinámica. Dicha medición permitió la obtención de un valor de tensión de fluencia (*Yield Stress*) y viscosidad por el modelo matemático de Bingham. La evaluación fue realiza a los porcentajes de 55%, 60%, 65% de sólido. En la Tabla 28, se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 28: Resultados Reología Cup - Fase Mezcla

| Resultados Reología Cup – Fase Mezcla | | | |
|--|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Muestra | % Sólido | Yield Stress (Pa) | Viscosidad (Pa*s) |
| 3 g/t | 55 | 1,09 | 0,01483 |
| | 60 | 4,12 | 0,02309 |
| | 65 | 12,11 | 0,03306 |
| 5 g/t | 55 | 1,192 | 0,01024 |
| | 60 | 3,324 | 0,02544 |
| | 65 | 11,08 | 0,03606 |
| 6 g/t | 55 | 1,186 | 0,01257 |
| | 60 | 3,213 | 0,02470 |
| | 65 | 11,22 | 0,04028 |

Los resultados de las pruebas de turbidez del agua recuperada se presentan en el Anexo N, los resultados de la dilución inicial y dosis óptima de floculante se presentan en el Anexo O, los resultados del porcentaje óptimo de porcentaje de sólido de pulpa que ingresa al espesador se presentan en el Anexo P.

Los resultados del estudio de sedimentación a nivel de laboratorio, ejecutado a 3 muestras de pulpas de relave rougher, considerando un programa de evaluación de 4 floculantes a 3 pH, se observa que la gran mayoría presentó resultados favorables de sedimentación y compactación al uso del floculante SNF 804 a una dosis de 6 g/t.

Por otro parte, los valores de velocidad de sedimentación obtenidos son mayores para la muestra F7 que para las muestras F10 y Fase Mezcla, la muestra F10 fue la que presentó los menores valores de sedimentación y compactación final.

En general los resultados de reología para la Muestra F10 tienden a ser mayores que los presentados en las muestras F7 y fase Mezcla.

Con respecto a los resultados obtenidos en sedimentación dinámica, el uso de 5 g/t de floculante obtuvo resultados levemente inferiores que al uso de 6 g/t. Los resultados de dichos ensayos confirmaron los valores obtenidos en los ensayos estáticos en términos de sólidos compactados y reología, diferenciándose principalmente en la claridad de agua sobrenadante, esto se explica debido que como se trata de una alimentación continua con descarga simultánea el tiempo de residencia es inferior saliendo por el overflow una mayor cantidad de partículas que no pudieron sedimentar.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

De acuerdo con la evaluación realizada a los espesadores de relave, se generó una serie de propuestas de optimización que van enfocadas a mejorar el rendimiento y la operación de estos equipos.

La realización de estas propuestas podría aumentar el porcentaje de sólido de descarga en un 6%, las principales palancas asociadas y aporte a la captura de valor son:

La homologación de operadores (0,5 %), la implementación de una lógica de control (2,5%) (Implementar y mejorar la instrumentación, mejorar la condición actual de los equipos) y el aprovechamiento de la capacidad de torque (3%) (Cambio de reactivo). El análisis completo de cada una de estas propuestas se explica con detalles en el capítulo correspondiente.

A continuación, se presentan las principales conclusiones que se pueden extraer de las pruebas de laboratorio realizadas, con distintos proveedores de floculante en distintas condiciones de pH y muestras de mineral.

El mejor reactivo bajo las condiciones de mezcla y pH analizadas es el SNF 804 con una dosis de 6 g/t, alcanzando mayores valores de velocidad de sedimentación, y de sólido final para los ensayos de sedimentación estática en todos los casos presentados.

La fase 10 alcanza valores de velocidad de sedimentación de 24 (m/h) y un máximo de compactación del 59 % de sólido a un pH de 8.7. La fase 7 alcanza valores máximos de velocidad de sedimentación de 27.6 [m/h] a un pH 9.3 y un máximo de compactación del 64.4% de sólido a un pH de 8.7. La fase Mezcla presenta un valor máximo de velocidad de sedimentación de 27.2 a un pH 9.3 y un máximo de compactación de un 62%. Una conducta repetitiva para las 3 fases en la evaluación es que a mayor pH hay una tendencia al aumento en los valores de yield stress para un mayor porcentaje de sólido. Los resultados arrojados por la sedimentación dinámica comprueban que a mayor dosificación de floculante es mejor calidad del agua recuperada en términos de turbidez. En la Fase 10 el rendimiento del reactivo es menor, con menor velocidad de sedimentación, menos sólido de compactación y mayor yield stress.

Los resultados obtenidos a nivel laboratorio validan la hipótesis de un aumento de porcentaje de sólido de descarga en un 3% si se cambia el reactivo actual por SNF 804.

6.2. Recomendaciones (Propuestas de mejora)

A continuación, se presentan propuestas de Proyectos para dar solución a las brechas identificadas

Homologación de Operadores

Para responder al requerimiento de la homologación operacional la propuesta es realizar capacitaciones a los operadores en terreno y al ingeniero sala de control, tal de profundizar tópicos necesarios para la operación

Los tópicos propuestos son:

- ✓ General de los espesadores de relave de MLP, refiriéndose a diseño, capacidad, modelo.
- ✓ Preparación Floculante (correcta forma de preparación).
- ✓ Importancia una buena dosificación floculante (Dilución).
- ✓ Importancia del % Sól. del floculante (Preparación).
- ✓ Explicación sistema E-DUC y su importancia.
- ✓ Modo de operar en condición normal.
- ✓ Modo de operar en estado de emergencia.

Condiciones Operacionales

Planta de floculante

En el levantamiento realizado en Abril del 2014, se proponen 3 alternativas para dar solución al problema actual de la dilución y dosificación de floculante, estas alternativas son:

Actualmente hay 3 tanques en la preparación de floculante

- ✓ Utilizar 2 tanque de preparación y un 1 tanque de Dilución
- ✓ Considerar 2 tanque de preparación y 2 tanque de dilución, para así disminuir la probabilidad de falla
- ✓ Mejorar el sistema de dilución en la actual línea. Se recomienda que la adición de floculante sea al interior de la línea de agua y en el seno del líquido (flujo de floculante en dirección del flujo de agua). Esto implica el cambio de un tramo de línea.

La alternativa que se considera más apropiada es la tercera.

Condición válvulas

La recomendación es cambiar las válvulas de los espesadores a válvulas de control de flujo, ya sea Pinch o de músculo.

En este momento se está realizando el levantamiento por la empresa Dypro para evaluar que válvula de control es la óptima para las condiciones de MLP en base al estudio hidráulico y posteriormente se busca implementar estos nuevos equipos.

Falta de instrumentación

La recomendación es realizar el levantamiento del área por una empresa externa, lo que se busca es que entreguen la cantidad de equipos que se encuentran en terreno y su condición. Con esto se va a poder priorizar la instrumentación a implementar para poder crear una propuesta de para crear lazos de control.

Aprovechamiento Capacidad de torque

Cambiar de reactivo al SNF 804



7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Madariaga, P (2017) *Manual de operación sistema de transporte relaves 2017-2018*. Minera Los Pelambres
- [2] Castro, S (2019). *Diagnóstico y mitigación del incremento de consumo de cal en MLP*. Minera Los Pelambres
- [3] Shammas, N. K., Wang, L. K., & Hung, Y. *Handbook of Environmental Engineering, Volume 6: Biosolids Treatment Processes*. New York, Humana Press Inc., 2007. 820 p.
- [4] Schoenbrunn, F., & Toronto, T. *Advanced Thickener Control*. En: *Advanced Process Control Applications for Industry Workshop (1999, Vancouver)*. Vancouver, IEEE Industry Applications Society, 1999, pp. 83-86.
- [5] Betancourt, F. & Concha, F. *Unveiling the myth of High Capacity Thickeners*. [Presentación] En: *International Mineral Processing Seminar (8º, 2011, Santiago)*. Concepción, Dpto. Ingeniería Metalúrgica UDEC, 2011. 22 diapositivas, col.
- [6] Ojeda, P. (2014) *Diseño e implementación lógica de control experto en espesador de relaves-planta las tórtolas* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
- [7] Acevedo, H. (2011) *Evaluación y mejora de prácticas de control operacional, en espesadores de concentrado y relave* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chile
- [8] Reyes, F. (Enero, 2014) *Planta preparación floculante* [Diapositivas de Powerpoint]
- [9] Gracés,R & Castro,P. (Julio 2018) *Curso de espesadores* [Diapositivas de Powerpoint]
- [10] Reyes, F (2018) *Operación espesador EIMCO High Rate con sistema EIMCO E-DUC*. Minera Los Pelambres
- [11] Concha, F. (2001). *Manual de filtración y separación*, Centro de tecnología mineral, CETTEM. Universidad de Concepción.
- [12] Gutiérrez, L. (Semestre 1-2015) *Reología de suspensiones: Introducción a la reología de suspensiones* [Diapositivas de Powerpoint]

- [13] Gutiérrez, L. (Semestre 1-2015) *Reología de suspensiones: Modificadores reológicos* [Diapositivas de Powerpoint]
- [14] Contreras, F. (2012) *Concentrador 2012* [Diapositivas Powerpoint]
- [15] Vicencio, M. (2015) *Introducción Minera Los Pelambres* [Diapositivas Powerpoint]
- [16] Vidal, C. (Junio, 2013) *Estudios reofísicos de relaves chilenos*, tesis de pregrado. Universidad de Chile, pp. 77-79
- [17] Whorlow, 1980; Van Wazer et al, 1963.
- [18] Stellos Project Management, 2010



8 ANEXOS

8.1. Anexo A: Conceptos generales de espesamiento.

Espesamiento

El concepto de espesamiento hace referencia en la remoción de agua desde lodos o pulpas, con el objetivo de lograr una reducción en el contenido de humedad presente en ellas.

Este proceso lleva asociado someter a la pulpa que se desea espesar a dos procesos consecutivos: la sedimentación y consolidación.

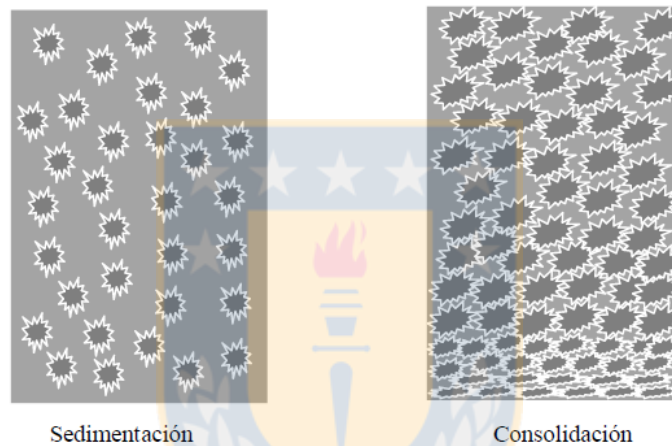


Ilustración 61: Modelo físico de la sedimentación y consolidación (Concha, F., 2011)

Sedimentación

En particular, el espesamiento continuo por sedimentación es la separación de partículas sólidas en suspensión de una corriente líquida por asentamiento a causa de la gravedad, teniendo como propósito principal, aumentar la concentración de sólidos de la corriente de alimentación [6.3]. La velocidad a la cual se depositan las partículas en el agua se denomina velocidad o tasa de sedimentación y se expresa como la tasa de flujo por unidad de área superficial en la zona de sedimentación.

Los procesos de espesamiento, junto con incrementar el contenido de sólidos en una pulpa, permiten la obtención de agua clara, como producto del proceso. En muchos casos, se agregan compuestos floculantes, que favorecen la velocidad con que sedimentan las partículas sólidas a través de su aglomeración y al mismo tiempo, mejoran la claridad del agua recuperada [6.4]. Dependiendo de la aplicación en la cual se lleva a cabo el espesamiento, y basado en la importancia que tenga para ésta, la

concentración de sólidos o la recuperación de agua clara, se definen los tipos de equipos necesarios y las filosofías de operación para ellos.

Consolidación

Se denomina consolidación al fenómeno de eliminación de agua a causa de un efecto de compresión originado por las partículas. En otras palabras, es una transmisión del esfuerzo aplicado desde el agua que llena los poros de las partículas en conjunto

Cuando termina el proceso de espesamiento, el sedimento floculado soporta el peso del material que yace sobre él. Por ello, la ecuación constitutiva del esfuerzo efectivo del sólido se puede calcular midiendo las variables que influyen en el peso.

Factores que influyen en la separación sólido líquido

➤ Distribución de tamaño de partículas

Son importantes los tamaños menores a 74 μm , por el hecho de que las partículas finas sedimentan más lentamente. El aumento del porcentaje bajo estos tamaños hace aumentar el área superficial requerida para las etapas de separación sólido - líquido, lo que genera que la productividad disminuya por área unitaria y el contenido de humedad aumente.

➤ Superficie química de las partículas

Este factor es importante cuando se utilizan floculantes en el proceso de espesamiento, debido a que la superficie química de las partículas indica el tipo de floculante a utilizar: aniónico, catiónico y no iónico. Esto influye directamente en los costos de operación y en el sistema de floculación a emplear.

➤ Forma de las partículas

Cuando la forma de las partículas varía mucho de la esfericidad, ésta influye en el funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, la bentonita coloidal (tipo de arcilla) es difícil de filtrar, a pesar de que no tiene problemas con la floculación, debido a su forma aplanada, lo que hace que las partículas se acomoden en forma de infinitas láminas que obstaculizan el paso del líquido y reducen la razón de filtración. En este caso la sedimentación también es lenta y se requieren unidades de mayor tamaño (área).

➤ Concentración de sólidos coloidales

Los sólidos coloidales corresponden a partículas de tamaños menores a 10 micrones. Estas partículas poseen una gran superficie específica, por lo cual se dispersan en el líquido y no sedimentan. Si hay un significativo porcentaje de coloides presente, es necesario utilizar floculantes para ayudar a las etapas de sedimentación.

Zonas dentro de un espesador

El método de operación de un espesador consiste en que, a medida que una corriente de alimentación con sólidos ingresa al equipo, estos comenzarán a depositarse en la parte inferior. Al mismo tiempo que esto sucede, el líquido clarificado se desborda por la parte superior, mientras que la corriente de descarga inferior será una pulpa con un contenido de sólidos más alto con respecto a la alimentación.

Para que lo anterior ocurra de forma correcta, deberán cumplirse ciertas condiciones de operación en el equipo, las que además permitirán la formación de tres zonas o capas características, tal como se observa en la Ilustración 62 donde se muestra una sección transversal de un espesador típico.

La zona superior, conocida como zona de agua clara, corresponde aquella sección que está libre de sólidos o con un contenido muy bajo de ellos y que además corresponde al agua que se recupera por el desbordamiento en la parte superior del espesador.

La zona media, denominada zona de sedimentación, consiste en una pulpa con características muy similares al flujo de alimentación respecto a la concentración de sólidos, la cual a su vez comienzan a aumentar a medida que se desciende dentro del equipo, por efecto del asentamiento gravitacional de las partículas sólidas.

Finalmente, la capa más profunda conocida como zona de compactación, contiene la pulpa más concentrada y con un porcentaje de sólidos similar al que se obtiene en la descarga del equipo, producido por la deshidratación lograda por el desbordamiento de agua en la parte superior.

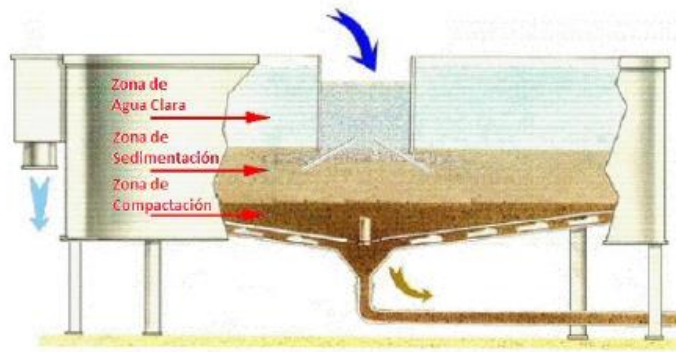


Ilustración 62: Diagrama Interior de un Espesador
(Stelios Project Management, 2010)

Tipos de espesadores

Hay 3 tipos de espesadores, el espesador convencional, el de alta capacidad y el de alta densidad.

Espesador Convencional.

Los espesadores convencionales (Ilustración 63), se caracterizan porque la bandeja de alimentación se ubica en la parte superior del equipo, donde desemboca la tubería o canaleta abierta por donde circula la pulpa. Este flujo alimentado se mezcla en parte con la primera capa de agua clara, diluyéndose progresivamente hasta alcanzar la concentración de la segunda zona o de sedimentación. Esta suspensión diluida sedimenta a velocidad constante formando un manto de altura variable, para transformarse en sedimento en la parte inferior del equipo.

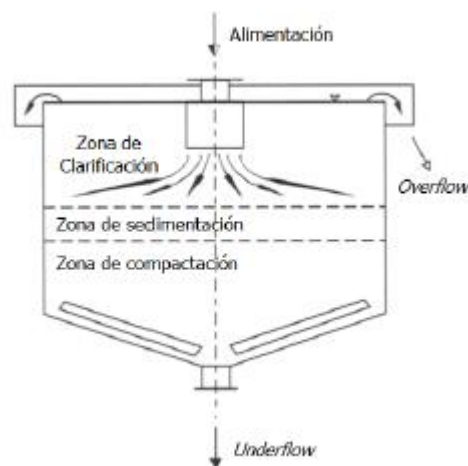


Ilustración 63: Diagrama Espesador Convencional (Svarovsky, 2000)

Los espesadores convencionales pueden ser utilizados con aplicación de floculante o sin ella, dependiendo de la aplicación y las características de la pulpa. En aquellos casos en que se emplea floculante, su adición generalmente se lleva a cabo directamente en el ducto de alimentación de pulpa, aprovechando así la turbulencia de la corriente para un correcto mezclado.

Espesador de Alta Capacidad

Los espesadores de Alta Capacidad difieren principalmente en poseer una bandeja de alimentación más profunda, la cual descarga el flujo de alimentación bajo la capa de sedimentación (Ilustración 64). Con ello se busca maximizar la eficiencia de sedimentación por efecto del floculante, por lo que se espera que un espesador de alta capacidad generalmente incluya la adición de este compuesto.

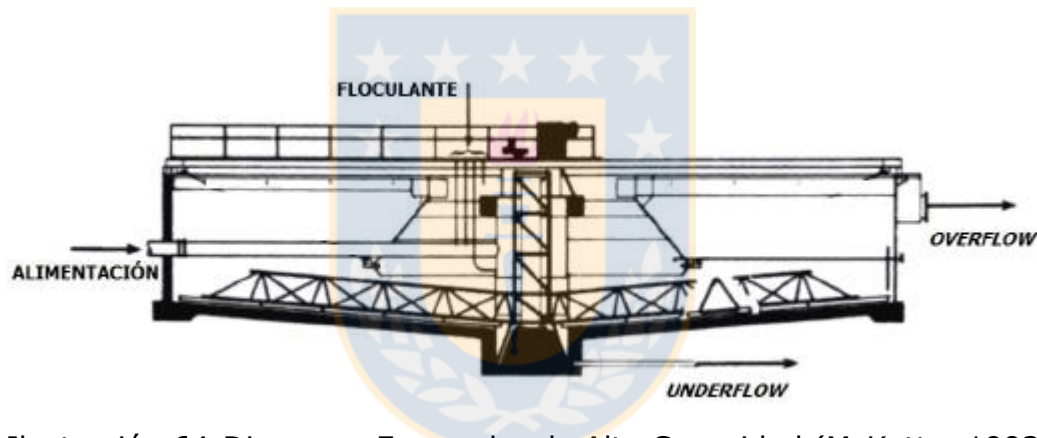


Ilustración 64: Diagrama Espesador de Alta Capacidad (McKetta, 1992)

La adición de floculante en estos espesadores se realiza de forma cuidadosa, de modo tal que la pulpa de alimentación no dañe el trabajo de sedimentación por parte del floculante, por lo que el compuesto se agrega en el extremo de la tubería que alimenta la pulpa.

Adicionalmente, un aumento en la velocidad de sedimentación, generado principalmente por la eficiencia en la adición de floculante para el caso de espesadores de alta capacidad, favorece la utilización de equipos más pequeños con respecto a un espesador convencional. Sin embargo, esto mismo hace que los cambios en la velocidad, o las características del sólido en el flujo de alimentación, generen cambios operacionales importantes en las zonas al interior del equipo, lo que puede significar a su vez, una mayor inestabilidad por lo tanto difícil de operar y controlar.

Lo anterior, de acuerdo con el concepto original de equipos de Alta Capacidad, puesto que en la actualidad la definición de espesadores *High Rate* o Alta Capacidad, es usada para describir aquellos equipos donde la pulpa de mineral es mezclada con el floculante en la bandeja de alimentación y se inyecta uniformemente en la zona de sedimentación [6.5]. Estos nuevos diseños que han sido patentados por distintas compañías dedicadas a su fabricación, además de inyectar la pulpa de alimentación en una zona diferente al concepto original, han desarrollado equipos de gran dimensión que superan los 100 metros de diámetro y cuyo esfuerzo en mejorar el rendimiento apunta al diseño de la bandeja de alimentación y la combinación con el floculante.

Espesador de Alta Densidad

El espesador de alta densidad es un espesador convencional o de alta capacidad, pero de mucho mayor altura. Esta altura adicional permite obtener una gran presión sobre el sedimento que descarga del equipo y, por lo tanto, obtener una concentración de descarga muy grande. En muchos casos, estos espesadores tienen un cono pequeño, de modo de ayudar a evacuar la descarga.

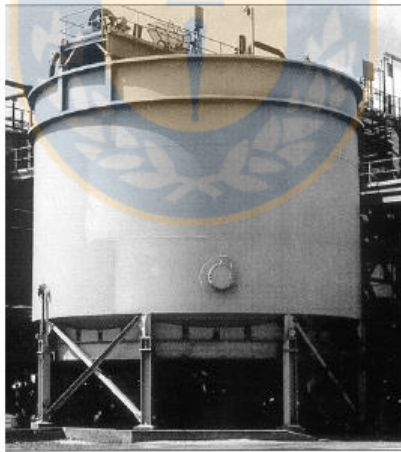


Ilustración 65: Espesador de alta densidad (Concha, 2011)

8.2. Anexo B: Unidades Geo Metalúrgicas de MLP y comparación de fases 7 y 10

Tabla 29: Unidades Geo-metalúrgicas de Los Pelambres.

| Unidades Geometalúrgicas (M) de Los Pelambres | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| UNIDADES GEOMETALURGICAS | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M7 | M8 |
| LITOLOGIA | | | | | | | |
| Diques Andesíticos | | | | | | | |
| Pórfidos Tardíos (Diques) | | | | | | | |
| Brecha Ígnea | | | | | | | |
| Brecha Hidrotermal | | | | | | | |
| Diorita Porfídica | | | | | | | |
| Diorita | | | | | | | |
| Pórfidos PQF | | | | | | | |
| Andesitas | | | | | | | |
| ZONA MINERAL | | | | | | | |
| Lixiviado Total | | | | | | | |
| Lixiviado Parcial | | | | | | | |
| Zona Secundaria | | | | | | | |
| Zona Primaria sin Anhidrita | | | | | | | |
| Zona Primaria con Anhidrita | | | | | | | |
| ZONA ALTERACION | | | | | | | |
| Potásica (K) | | | | | | | |
| Cuarzo-Sericita (QS) | | | | | | | |
| Clorita-Sericita (CS) | | | | | | | |
| Epidota (EP) | | | | | | | |

Tabla 30: Comparación de mineralogías Fase 7 (UGM M4) y Fase 10N.

| Mineral | Fase7 (M4) % Vol. Prom | Fase 10N % Masa Prom |
|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| Chalcopyrite | 1,06 | 1,12 |
| Chalcocite-Digenite | 0,02 | 0,31 |
| Covellite | 0,01 | 0,03 |
| Bornite | 0,47 | 0,04 |
| Enargite-Tennantite | 0,00 | 0,02 |
| Pyrite | 0,08 | 2,15 |
| Molybdenite | 0,04 | 0,03 |
| Sphalerite | - | 0,00 |
| Galena | - | 0,01 |
| Quartz | 27,30 | 33,18 |
| Anorthite | 0,16 | 0,10 |
| Other Plagioclase | 16,20 | 4,93 |
| K-Feldspar | 17,80 | 4,87 |
| Biotite-Phogopite | 6,60 | 3,38 |
| Amphibole | - | 0,00 |
| Pyroxene | - | 0,00 |
| Others Silicates | - | 0,32 |
| Muscovite-Sericite | 3,27 | 18,75 |
| Chlorite | 1,30 | 1,36 |
| Epidote | - | 0,00 |
| Clays | 0,38 | 0,52 |
| Albite | 19,30 | 26,74 |
| Calcite | 0,09 | 0,02 |
| Ankerite/Dolomite | 0,07 | 0,01 |
| Gypsum/Anhydrite | 4,40 | 0,56 |
| Sulphates | - | 0,01 |
| Fe Oxides | 0,35 | 0,52 |
| Corundum | - | 0,01 |
| Apatite | 0,35 | 0,16 |
| Ilmenite | 0,13 | 0,21 |
| Rutile | 0,42 | 0,53 |
| Sphene | 0,06 | 0,01 |
| Zircon | 0,04 | 0,03 |

8.3. Anexo C: Comportamientos de los fluidos No Newtonianos

Fluidos pseudoplásticos (shear thinning)

Existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, donde la viscosidad aparente disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación. Ejemplos de comportamiento pseudoplástico son suspensiones donde las partículas tienen cierto grado de agregación inicial.

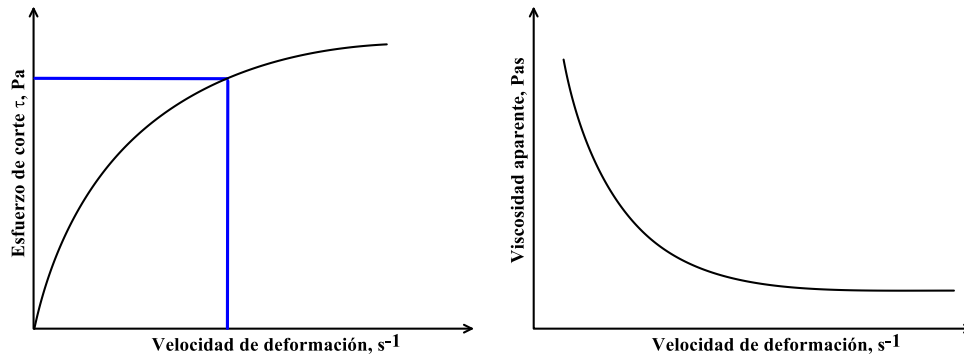


Ilustración 66: Respuesta reológica de un fluido pseudoplástico

Fluidos dilatantes (shear thickening)

Existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, donde la viscosidad aparente aumenta a medida que aumenta la velocidad de deformación. Ejemplos de comportamiento dilatantes son suspensiones dispersas donde con alta carga superficial donde las partículas necesitan altos grados de energía para vencer las barreras electrostáticas y conseguir coagulación.

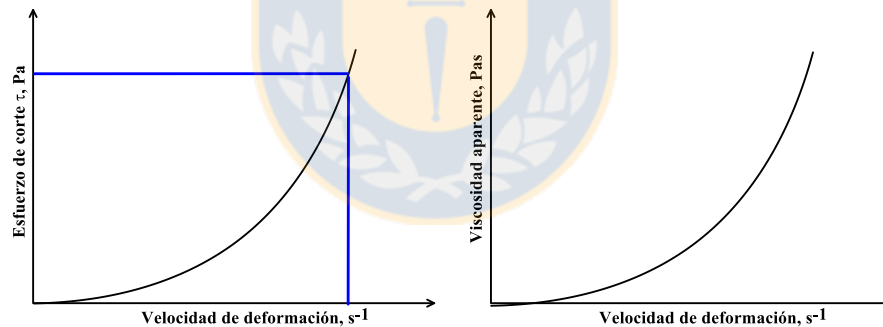


Ilustración 67: Respuesta reológica de un fluido dilatante

Fluidos pseudoplásticos con esfuerzo de cedencia

Este tipo de fluidos muestran esfuerzo de cedencia, luego de lo cual existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, donde la viscosidad aparente disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación. Ejemplos de comportamiento pseudoplástico con esfuerzo de cedencia son suspensiones floculadas.

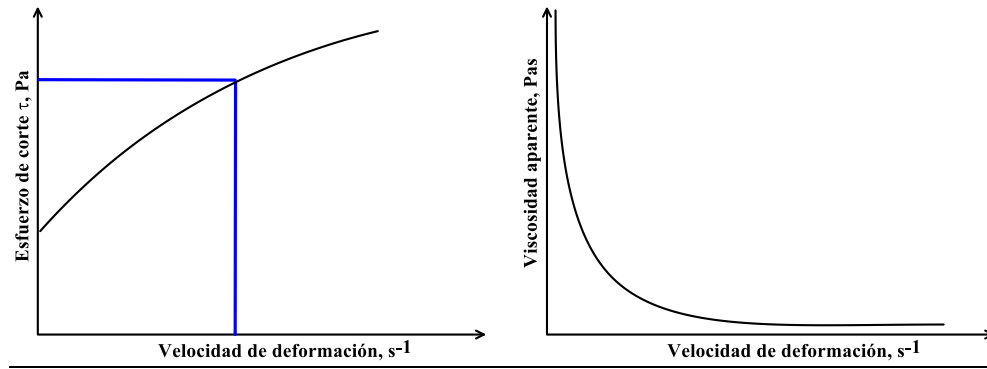


Ilustración 68: Respuesta reológica de Fluidos pseudoplásticos con esfuerzo de cedencia

Fluidos dilatantes con esfuerzo de cedencia

Este tipo de fluidos muestran esfuerzo de cedencia, luego de lo cual existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, donde la viscosidad aparente aumenta a medida que aumenta la velocidad de deformación. Comportamiento poco común.

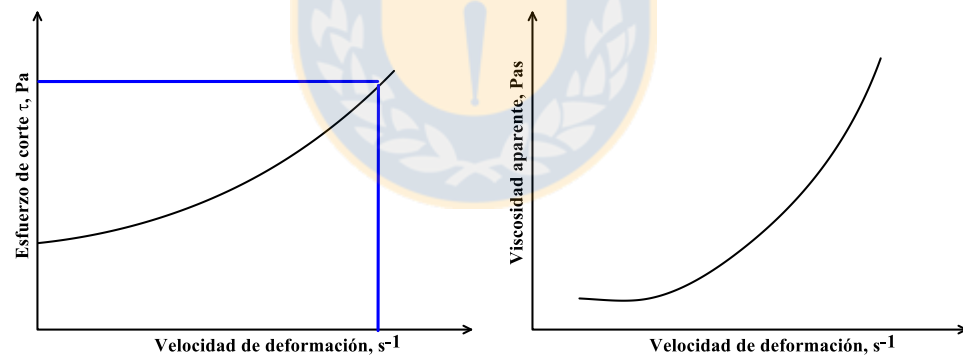


Ilustración 69: Respuesta reológica de Fluidos dilatantes con esfuerzo de cedencia

8.4. Anexo D: Planilla utilizada para la extracción de datos para los 3 espesadores

Tabla 31: Planilla Extracción datos TK 050

| FECHA | TOTAL SAG | APERTURA TK 50 | USO TK 050 | TORQUE 050 | FLOC 050 | %SOL 50 |
|------------------|------------|----------------|------------|------------|------------|---------|
| 01-11-2018 7:00 | 8248,29745 | 0 | 0 | 9,05779426 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 8:00 | 8280,05899 | 0 | 0 | 9,71445049 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 9:00 | 8161,06555 | 0 | 0 | 10,7615399 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 10:00 | 8287,68641 | 0 | 0 | 6,1202961 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 11:00 | 8413,59401 | 0 | 0 | 3,23233692 | 0,93774144 | 0 |
| 01-11-2018 12:00 | 7567,95118 | 0 | 0 | 3,16975442 | 2,5983233 | 0 |
| 01-11-2018 13:00 | 8387,23139 | 0 | 0 | 3,10717192 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 14:00 | 8880,09676 | 0 | 0 | 3,04458942 | 0,985703 | 0 |
| 01-11-2018 15:00 | 8463,94988 | 0 | 0 | 2,98200692 | 0,17456675 | 0 |
| 01-11-2018 16:00 | 8674,22965 | 0 | 0 | 2,91942442 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 17:00 | 8440,36614 | 0 | 0 | 2,85684192 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 18:00 | 8828,58242 | 0 | 0 | 2,80060984 | 1,22206364 | 0 |
| 01-11-2018 19:00 | 8723,85698 | 0 | 0 | 2,8173126 | 1,94076257 | 0 |
| 01-11-2018 20:00 | 9337,8452 | 0 | 0 | 2,85472634 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 21:00 | 8635,47098 | 0 | 0 | 2,89214009 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 22:00 | 8715,26547 | 0 | 0 | 2,92955384 | 0 | 0 |
| 01-11-2018 23:00 | 7902,56974 | 0 | 0 | 2,96696758 | 2,53819731 | 0 |
| 02-11-2018 0:00 | 8485,67197 | 0 | 0 | 3,00438133 | 0,21004632 | 0 |
| 02-11-2018 1:00 | 8154,43415 | 0 | 0 | 3,04179507 | 0 | 0 |
| 02-11-2018 2:00 | 8025,08317 | 0 | 0 | 3,07923641 | 0 | 0 |
| 02-11-2018 3:00 | 7860,21652 | 0 | 0 | 3,11698472 | 1,42476606 | 0 |

Tabla 32: Planilla extracción de datos TK 051

| FECHA | TOTAL SAG | APERTURA 051 | USO TK 051 | TOR 051 | FLOC 051 | %SOL 51 |
|------------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|
| 01-11-2018 7:00 | 8248,29745 | 29 | 1 | 13,1573807 | 114,946808 | 54,1863772 |
| 01-11-2018 8:00 | 8280,05899 | 29 | 1 | 12,6626316 | 99,4178568 | 55,3074587 |
| 01-11-2018 9:00 | 8161,06555 | 29,4549661 | 1 | 12,3593854 | 106,264831 | 52,8438913 |
| 01-11-2018 10:00 | 8287,68641 | 30,0000019 | 1 | 12,5043919 | 103,984393 | 54,1094283 |
| 01-11-2018 11:00 | 8413,59401 | 30,0000019 | 1 | 12,6675388 | 100,164094 | 55,4345043 |
| 01-11-2018 12:00 | 7567,95118 | 30,0000019 | 1 | 12,5950309 | 101,916443 | 55,9245653 |
| 01-11-2018 13:00 | 8387,23139 | 30,2764953 | 1 | 11,5343601 | 102,707825 | 56,1874328 |
| 01-11-2018 14:00 | 8880,09676 | 31 | 1 | 10,7929398 | 100,455579 | 55,1533087 |
| 01-11-2018 15:00 | 8463,94988 | 31,2153712 | 1 | 11,3413777 | 101,844339 | 53,5047442 |
| 01-11-2018 16:00 | 8674,22965 | 32 | 1 | 13,0710004 | 102,670395 | 54,5982645 |
| 01-11-2018 17:00 | 8440,36614 | 32 | 1 | 11,8083685 | 101,277411 | 56,4411657 |
| 01-11-2018 18:00 | 8828,58242 | 32 | 1 | 10,4728437 | 103,697859 | 56,198743 |
| 01-11-2018 19:00 | 8723,85698 | 32 | 1 | 11,2608495 | 106,377266 | 55,4510538 |
| 01-11-2018 20:00 | 9337,8452 | 30,5637428 | 1 | 11,9879434 | 104,740593 | 56,6860498 |
| 01-11-2018 21:00 | 8635,47098 | 30,0000019 | 1 | 9,77906489 | 101,884931 | 57,6234387 |
| 01-11-2018 22:00 | 8715,26547 | 30,0000019 | 1 | 7,97672213 | 99,9467238 | 57,9337997 |
| 01-11-2018 23:00 | 7902,56974 | 30,0000019 | 1 | 8,9091863 | 113,718085 | 57,1243975 |
| 02-11-2018 0:00 | 8485,67197 | 30,0000019 | 1 | 10,6816731 | 119,894271 | 57,2306174 |
| 02-11-2018 1:00 | 8154,43415 | 30,0000019 | 1 | 12,6548202 | 128,685498 | 56,7706947 |
| 02-11-2018 2:00 | 8025,08317 | 30,0000019 | 1 | 14,3641228 | 126,189749 | 55,4894466 |
| 02-11-2018 3:00 | 7860,21652 | 29,9991662 | 1 | 16,2596031 | 133,257748 | 53,5687482 |

Tabla 33: Planilla extracción de datos TK 712

| FECHA | TOTAL SAG | APERTURA 7. USO 712 | TOR 712 | FLOC 712 | %SOL 712 | |
|------------------|------------|---------------------|---------|------------|------------|------------|
| 01-11-2018 7:00 | 8248,29745 | 45 | 1 | 27,3986859 | 95,7586724 | 60,1096715 |
| 01-11-2018 8:00 | 8280,05899 | 45 | 1 | 25,3669833 | 87,6741177 | 60,0310071 |
| 01-11-2018 9:00 | 8161,06555 | 45 | 1 | 24,929946 | 101,09822 | 58,7493469 |
| 01-11-2018 10:00 | 8287,68641 | 45 | 1 | 24,3503228 | 96,8362396 | 58,549701 |
| 01-11-2018 11:00 | 8413,59401 | 45 | 1 | 24,3278637 | 91,2816525 | 58,9362227 |
| 01-11-2018 12:00 | 7567,95118 | 45 | 1 | 23,280991 | 96,943856 | 58,609633 |
| 01-11-2018 13:00 | 8387,23139 | 45 | 1 | 23,5805812 | 97,6237987 | 58,4928194 |
| 01-11-2018 14:00 | 8880,09676 | 45 | 1 | 23,918683 | 92,7580213 | 58,5994424 |
| 01-11-2018 15:00 | 8463,94988 | 45 | 1 | 23,6717026 | 97,4068974 | 58,7454543 |
| 01-11-2018 16:00 | 8674,22965 | 44,1725321 | 1 | 24,0022634 | 99,3539251 | 59,4180575 |
| 01-11-2018 17:00 | 8440,36614 | 44 | 1 | 25,0351239 | 94,3425899 | 60,2050787 |
| 01-11-2018 18:00 | 8828,58242 | 44 | 1 | 25,1990688 | 98,5555888 | 60,2399338 |
| 01-11-2018 19:00 | 8723,85698 | 44 | 1 | 24,9475174 | 99,7294371 | 60,1268487 |
| 01-11-2018 20:00 | 9337,8452 | 44 | 1 | 23,5412856 | 94,4954202 | 60,2586861 |
| 01-11-2018 21:00 | 8635,47098 | 44 | 1 | 22,0763218 | 98,7775229 | 60,0196979 |
| 01-11-2018 22:00 | 8715,26547 | 44 | 1 | 21,6718131 | 98,4230286 | 59,7711522 |
| 01-11-2018 23:00 | 7902,56974 | 44 | 1 | 23,1341145 | 101,694182 | 60,165453 |
| 02-11-2018 0:00 | 8485,67197 | 44 | 1 | 24,3946855 | 108,036852 | 59,6098738 |
| 02-11-2018 1:00 | 8154,43415 | 44 | 1 | 25,2918172 | 107,796506 | 60,105303 |
| 02-11-2018 2:00 | 8025,08317 | 44 | 1 | 25,1477789 | 102,305133 | 60,3402046 |
| 02-11-2018 3:00 | 7860,21652 | 44 | 1 | 25,8053874 | 113,953215 | 60,4610512 |

8.5. Anexo E: Porcentaje de utilización por espesador y porcentaje del tiempo operando con 1, 2 o 3 espesadores

Tabla 34: Porcentaje de tiempo utilizado por espesador

| | % Tpo. Utilizado |
|---------------|------------------|
| TK 050 | 85,9657526 |
| TK 051 | 51,59861094 |
| TK 712 | 95,62926596 |

Tabla 35: Porcentaje de tiempo utilizado con 1, 2 o 3 espesadores

| | Total | Porcentaje |
|--------------------|-------------|------------|
| 1 Espesador | 137 | 1,64111164 |
| 2 Espesadores | 5292 | 63,3924293 |
| 3 Espesadores | 2919 | 34,966459 |
| Total Datos | 8348 | |

8.6. Anexo F: Ejemplo análisis comportamiento mensual espesadores con respecto al tonelaje y la utilización (Enero 2018)

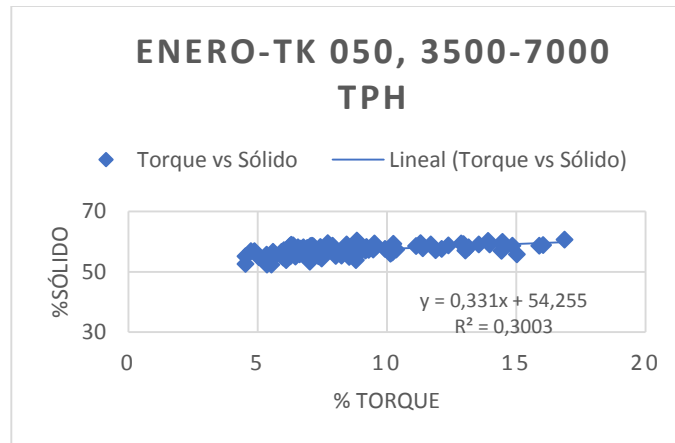


Ilustración 70: Comportamiento TK 050, 3500-7000 TPH

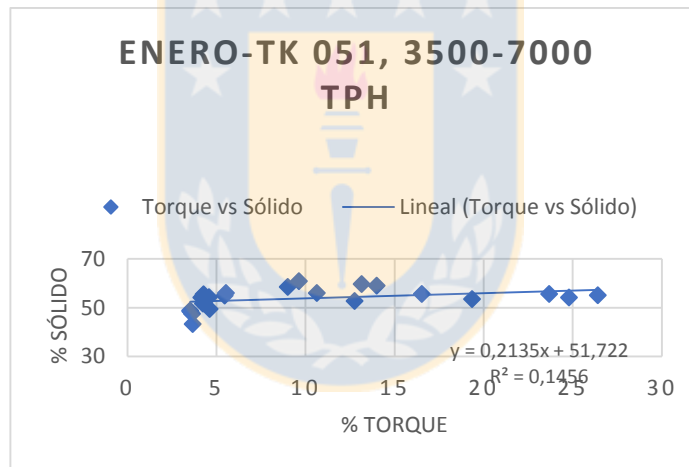


Ilustración 71: Comportamiento TK 051, 3500-7000 TPH

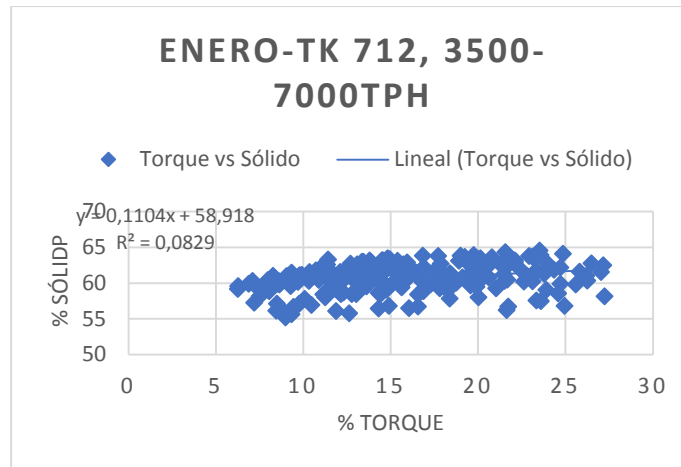


Ilustración 72: Comportamiento TK 712, 3500-7000 TPH

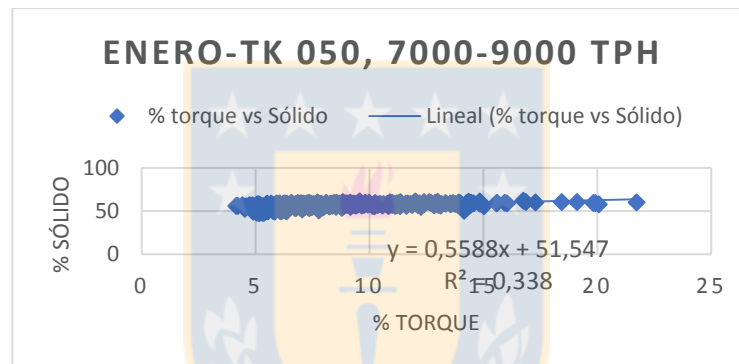


Ilustración 73: Comportamiento TK 050, 7000-9000 TPH

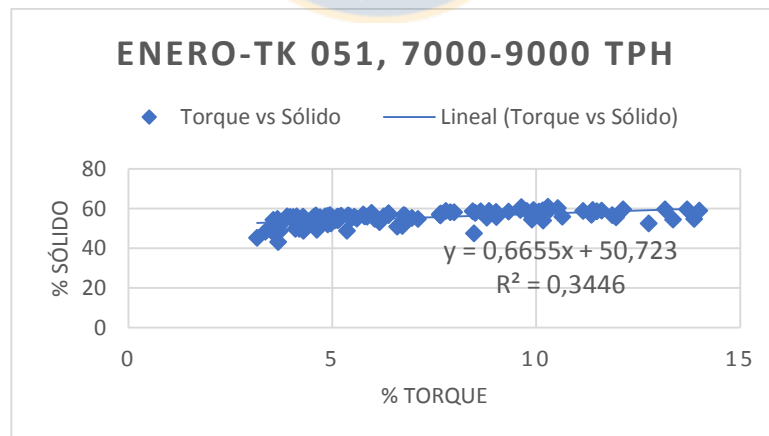


Ilustración 74: Comportamiento TK 051, 7000-9000 TPH

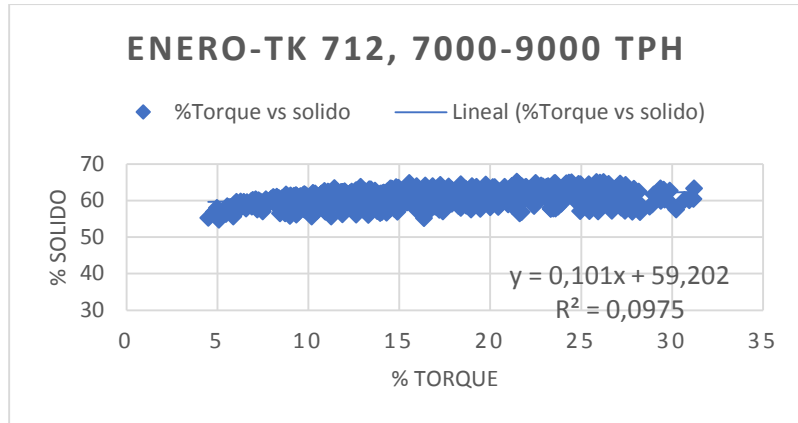


Ilustración 75: Comportamiento TK 712, 7000-9000 TPH

Tabla 36: Número de espesadores en uso según el tratamiento y el porcentaje de utilización por espesador

| Enero. | | | Porcentaje |
|---------------|------------|-----|------------|
| TOTAL | | 744 | 100 |
| 0-35000 | 0,1344086 | 1 | 100 |
| | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 1 | 100 |
| | 3 | 0 | 0 |
| 3500-7000 | 33,0645161 | 246 | 100 |
| | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 209 | 84,9593496 |
| | 3 | 37 | 15,0406504 |
| 7000-9000 | 66,8010753 | 497 | 100 |
| | 1 | 1 | 0,20120724 |
| | 2 | 379 | 76,2575453 |
| | 3 | 117 | 23,5412475 |
| % Utilización | | | |
| | TK 050 | 743 | 99,8655914 |
| | TK 051 | 154 | 20,6989247 |
| | TK 712 | 744 | 100 |

8.7. Anexo G: Tabla de frecuencia de datos torque TK 050, TK 051 y TK 712

Tabla 37: Frecuencia Torque TK 050

| <i>Clase</i> | <i>Frecuencia</i> | <i>% acumulado</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0,00% |
| 5 | 432 | 6,02% |
| 10 | 3700 | 57,56% |
| 15 | 2225 | 88,55% |
| 20 | 685 | 98,09% |
| 25 | 115 | 99,69% |
| 30 | 22 | 100,00% |
| 35 | 0 | 100,00% |
| y mayor... | 0 | 100,00% |

Tabla 38: Frecuencia de Torque TK 051

| <i>Clase</i> | <i>Frecuencia</i> | <i>% acumulado</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0,00% |
| 5 | 712 | 16,52% |
| 10 | 2138 | 66,14% |
| 15 | 1011 | 89,60% |
| 20 | 291 | 96,36% |
| 25 | 102 | 98,72% |
| 30 | 36 | 99,56% |
| 35 | 16 | 99,93% |
| y mayor... | 3 | 100,00% |

Tabla 39: Frecuencia de Torque TK 712

| <i>Clase</i> | <i>Frecuencia</i> | <i>% acumulado</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0,00% |
| 5 | 105 | 1,31% |
| 10 | 1522 | 20,37% |
| 15 | 1930 | 44,54% |
| 20 | 1765 | 66,64% |
| 25 | 1418 | 84,40% |
| 30 | 755 | 93,85% |
| 35 | 304 | 97,66% |
| 40 | 121 | 99,17% |
| 45 | 57 | 99,89% |
| y mayor... | 9 | 100,00% |

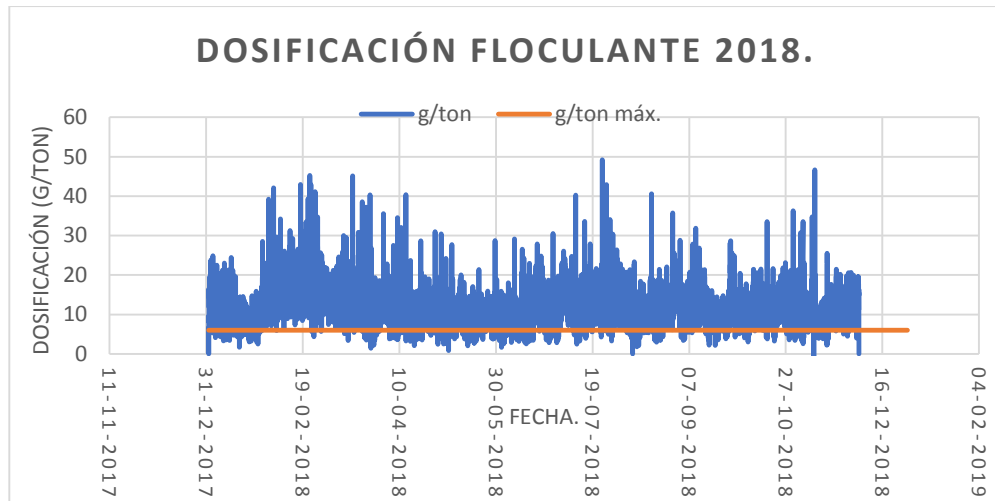


Ilustración 76: Variabilidad dosificación floculante durante 2018

8.9. Anexo I: Tabla de frecuencia de datos dosis floculante

Tabla 41: Frecuencia dosis de floculante

| <i>Clase</i> | <i>Frecuencia</i> | <i>% acumulado</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|
| 4 | 132 | 0,76% |
| 8 | 1747 | 10,85% |
| 12 | 6626 | 49,11% |
| 16 | 5761 | 82,38% |
| 20 | 2189 | 95,02% |
| 24 | 588 | 98,42% |
| 28 | 163 | 99,36% |
| 32 | 57 | 99,69% |
| 36 | 28 | 99,85% |
| y mayor... | 26 | 100,00% |

8.10. Anexo J: Tabla de frecuencia de datos de porcentaje de sólido de descarga del TK 050, TK 051, TK 712 y su respectivo histograma

Tabla 42: Frecuencia %Sól. TK 050

| Clase | Frecuencia | % acumulado |
|------------|------------|-------------|
| 30 | 0 | 0,00% |
| 35 | 9 | 0,14% |
| 40 | 6 | 0,24% |
| 45 | 22 | 0,59% |
| 50 | 120 | 2,52% |
| 55 | 999 | 18,53% |
| 60 | 3743 | 78,55% |
| 65 | 1338 | 100,00% |
| y mayor... | 0 | 100,00% |

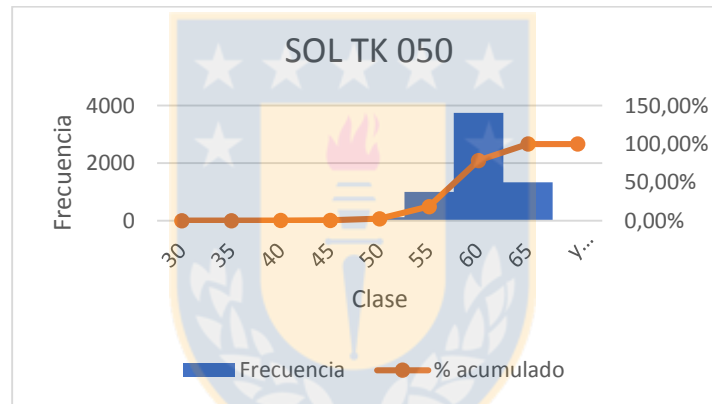


Ilustración 77: Histograma %Sól. TK 050

Tabla 43: Frecuencia %Sól. TK 051

| Clase | Frecuencia | % acumulado |
|------------|------------|-------------|
| 30 | 0 | 0,00% |
| 35 | 4 | 0,10% |
| 40 | 2 | 0,14% |
| 45 | 13 | 0,46% |
| 50 | 59 | 1,88% |
| 55 | 1117 | 28,82% |
| 60 | 2458 | 88,11% |
| 65 | 490 | 99,93% |
| y mayor... | 3 | 100,00% |

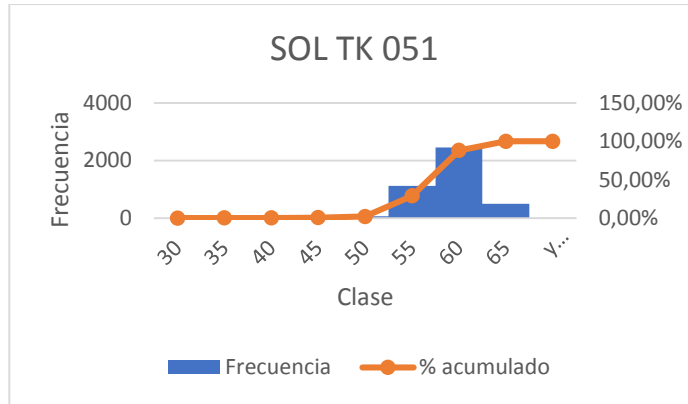


Ilustración 78: Histograma %Sól. TK 051

Tabla 44: Frecuencia %Sól. TK 712

| <i>Clase</i> | <i>Frecuencia</i> | <i>% acumulado</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|
| 30 | 0 | 0,00% |
| 35 | 1 | 0,01% |
| 40 | 4 | 0,06% |
| 45 | 6 | 0,14% |
| 50 | 19 | 0,39% |
| 55 | 228 | 3,35% |
| 60 | 3780 | 52,47% |
| 65 | 3648 | 99,87% |
| y mayor... | 10 | 100,00% |

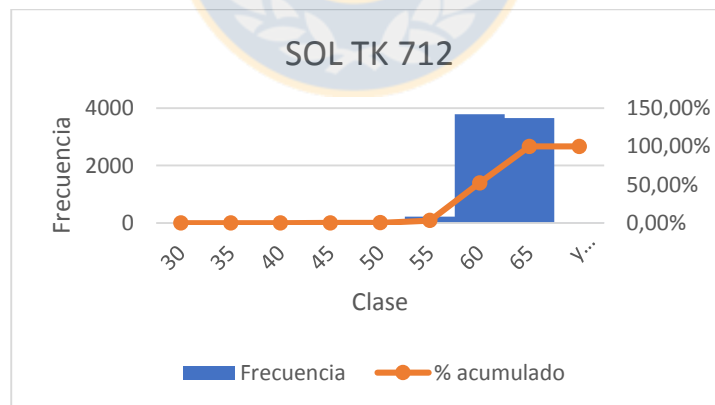


Ilustración 79: Histograma %Sól. TK 712

8.11. Anexo K: Plan de implementación en plataforma Shibumi.

AMSA Corporativo > MLP - Minera Los Pelambres > Transporte de Fluidos y Tranques

☆ Incremento %ST Descarga Relaves

Resumen Oportunidad | Proceso | Valor | Personas | Historia

Iniciativas

| Iniciativa | Líder | Proceso | Valor | Personas |
|-----------------------------------|--------------------|---------|-------|----------|
| Aprovechamiento capacidad torque | Patricio Madariaga | ● | ● | ● |
| Homologación Operadores | Patricio Madariaga | ● | ● | ● |
| Mejorar condiciones operacionales | Patricio Madariaga | ● | ● | ● |

Ilustración 80: Plataforma Shibumi

AMSA Corporativo > MLP - Minera Los Pelambres > Transporte de Fluidos y Tranques > Incremento %ST Descarga Relaves

☆ Aprovechamiento capacidad torque

Resumen Iniciativa | Proceso E3-5 | Valor E3 | Personas | Presentaciones | Etapa

Etapas

| Etapa 1 (Identificación) | Etapa 2 (Diagnóstico) | Etapa 3 (Diseño) | Etapa 4 (Ejecución) | Etapa 5 (Materialización) |
|--------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| ● | ● | ● | ● | ● |

Ilustración 81: Avance iniciativas en Shibumi

MLP - Minera Los Pelambres > Transporte de Fluidos y Tranques

☆ Incremento %ST Descarga Relaves

Resumen Oportunidad | Proceso | Valor | Personas | Historia

Actividades por Proyecto e Iniciativa

| Iniciativa | Proyecto | Estado | Actividad / Acción | Importancia | Responsable | Fecha de inicio |
|----------------------------------|-------------------|--------|---|-------------|---------------------|-----------------|
| Aprovechamiento capacidad torque | Cambio Floculante | ● | Diseño Prueba Industrial | | Cristian Leiva | Jul 17, 2019 |
| | | ● | Realizar pruebas metalúrgicas para evaluar comportamiento reológico de la pulpa | | Fernanda Vera Abara | Apr 15, 2019 |
| | | ● | Definición y validación interna de pruebas a ejecutar | | Fernanda Vera Abara | Mar 1, 2019 |
| | | ● | Pruebas de floculantes por parte proveedores para identificar reactivo idóneo (modificador reológico) | | Fernanda Vera Abara | Feb 16, 2019 |
| | | ● | Análisis resultados de pruebas metalúrgicas | | Cristian Leiva | May 31, 2019 |

Ilustración 82: Plan de implementación en Shibumi

8.12. Anexo L: Detalle prueba de sedimentación estática

Tabla 45: Detalle prueba sedimentación estática

| N° | Condición | Floculante | Muestra |
|----|-----------|--------------|----------|
| 1 | pH 8,2 | SNF 2350 | Fase 10N |
| 2 | pH 8,2 | RF 510 | Fase 10N |
| 3 | pH 8,2 | SNF 804 | Fase 10N |
| 4 | pH 8,2 | RHEOMAX 1050 | Fase 10N |
| 5 | pH 8,7 | SNF 2350 | Fase 10N |
| 6 | pH 8,7 | RF 510 | Fase 10N |
| 7 | pH 8,7 | SNF 804 | Fase 10N |
| 8 | pH 8,7 | RHEOMAX 1050 | Fase 10N |
| 9 | pH 9,3 | SNF 2350 | Fase 10N |
| 10 | pH 9,3 | RF 510 | Fase 10N |
| 11 | pH 9,3 | SNF 804 | Fase 10N |
| 12 | pH 9,3 | RHEOMAX 1050 | Fase 10N |
| 13 | pH 8,2 | SNF 2350 | Fase 7 R |
| 14 | pH 8,2 | RF 510 | Fase 7 R |
| 15 | pH 8,2 | SNF 804 | Fase 7 R |
| 16 | pH 8,2 | RHEOMAX 1050 | Fase 7 R |
| 17 | pH 8,7 | SNF 2350 | Fase 7 R |
| 18 | pH 8,7 | RF 510 | Fase 7 R |
| 19 | pH 8,7 | SNF 804 | Fase 7 R |
| 20 | pH 8,7 | RHEOMAX 1050 | Fase 7 R |
| 21 | pH 9,3 | SNF 2350 | Fase 7 R |
| 22 | pH 9,3 | RF 510 | Fase 7 R |
| 23 | pH 9,3 | SNF 804 | Fase 7 R |
| 24 | pH 9,3 | RHEOMAX 1050 | Fase 7 R |
| 25 | pH 8,2 | SNF 2350 | Mezcla |
| 26 | pH 8,2 | RF 510 | Mezcla |
| 27 | pH 8,2 | SNF 804 | Mezcla |
| 28 | pH 8,2 | RHEOMAX 1050 | Mezcla |
| 29 | pH 8,7 | SNF 2350 | Mezcla |
| 30 | pH 8,7 | RF 510 | Mezcla |
| 31 | pH 8,7 | SNF 804 | Mezcla |
| 32 | pH 8,7 | RHEOMAX 1050 | Mezcla |
| 33 | pH 9,3 | SNF 2350 | Mezcla |
| 34 | pH 9,3 | RF 510 | Mezcla |
| 35 | pH 9,3 | SNF 804 | Mezcla |
| 36 | pH 9,3 | RHEOMAX 1050 | Mezcla |

8.13. Anexo M: Curvas de Velocidad de sedimentación

Fase 10 N

La Ilustración 92, 93 y 94, presenta el comportamiento de la muestra frente a los diversos floculantes analizados para la muestra Fase 10 N. Las probetas se encontraban ajustadas al 17% de sólido con una dosis fija de 6 g/t.

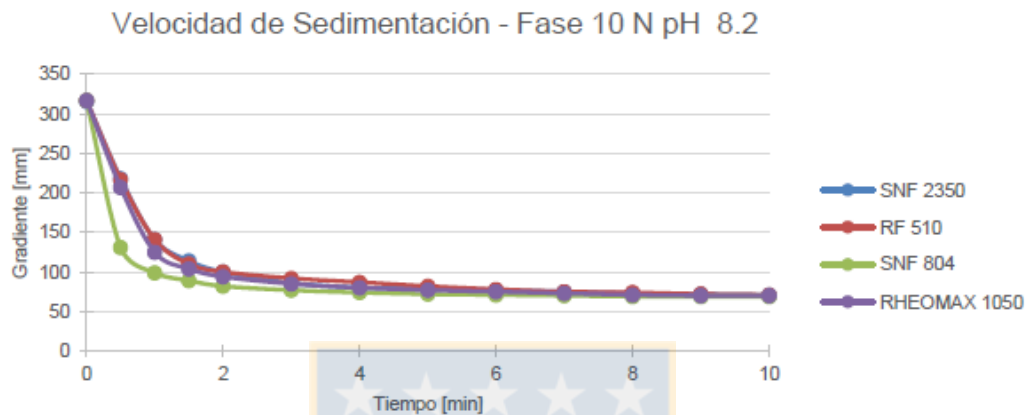


Ilustración 83: Curva de sedimentación - Fase 10 N pH 8.2

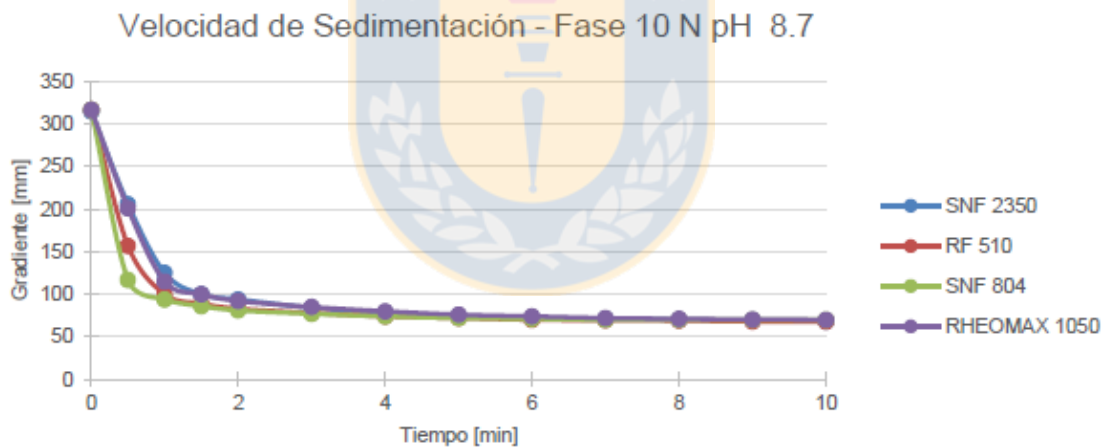


Ilustración 84: Curva de Sedimentación - Fase 10 N pH 8.7

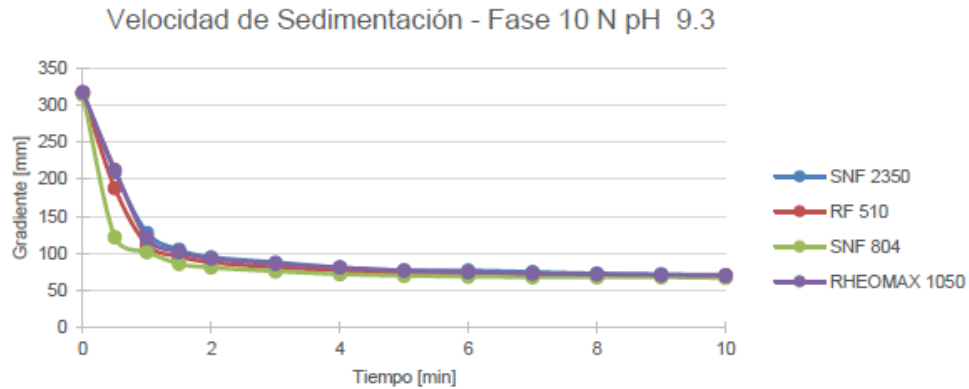


Ilustración 85: Curva de Sedimentación - Fase 10 pH 9.3

Fase 7 R

Las Ilustraciones 95, 96 y 97, presenta el comportamiento de la muestra frente a los diversos floculantes analizados para la muestra Fase 7 R. Las probetas se encontraban ajustadas al 17% de sólido con una dosis fija de 6 g/t.

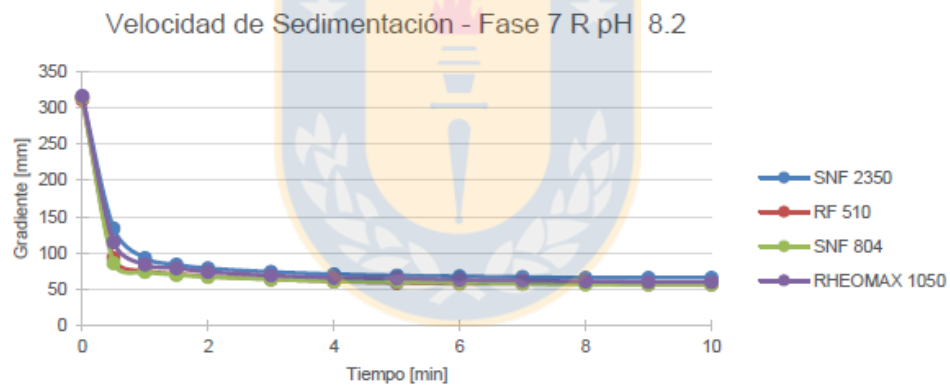


Ilustración 86: Curvas de Sedimentación - Fase 7 R pH 8.2

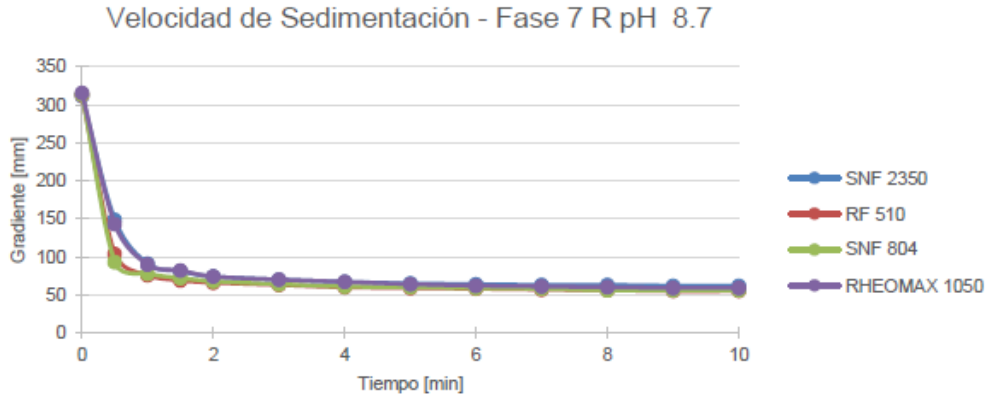


Ilustración 87: Curva de Sedimentación - Fase 7 R pH 8.7

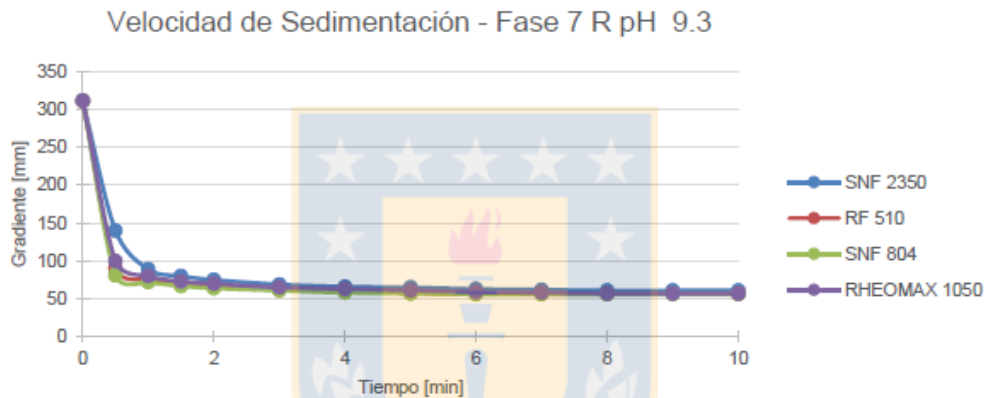


Ilustración 88: Curvas de Sedimentación - Fase 7 R pH 9.3

Fase Mezcla

La Ilustración 98, 99 y 100, presenta el comportamiento de la muestra frente a los diversos floculantes analizados para la muestra Fase Mezcla. Las probetas se encontraban ajustadas al 17% de sólido con una dosis fija de 6 g/t.

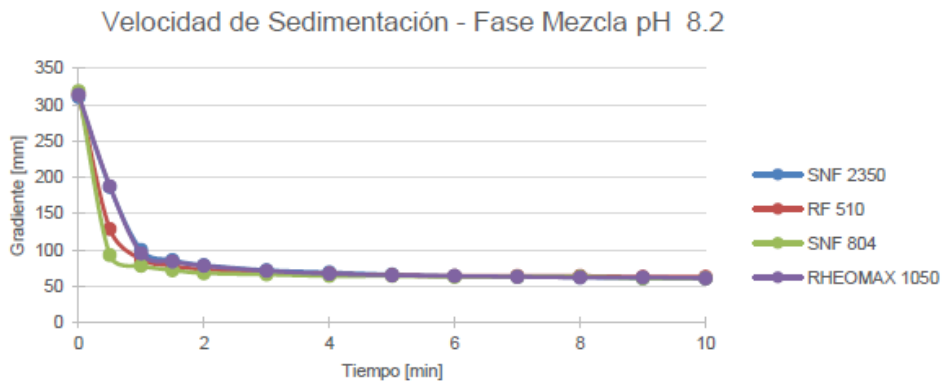


Ilustración 89: Curvas de sedimentación - Fase Mezcla pH 8.2

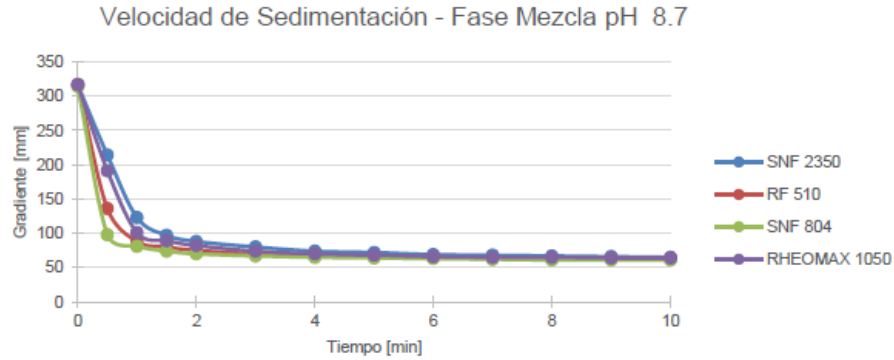


Ilustración 90: Curvas de sedimentación - Fase Mezcla pH 8.7

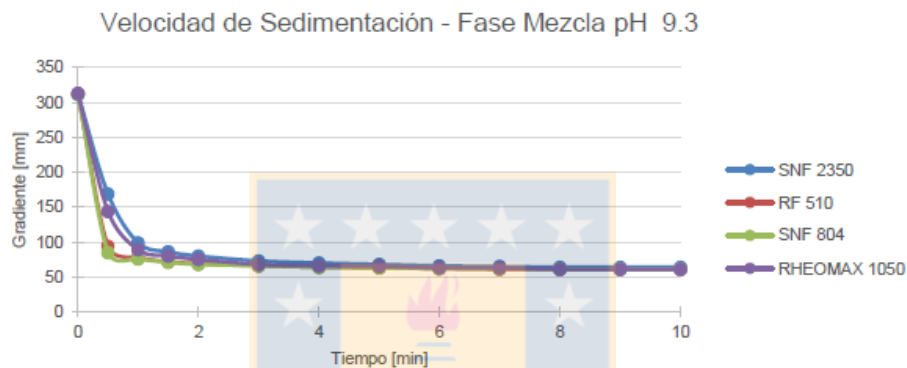


Ilustración 91: Curva de sedimentación - Fase Mezcla pH 9.3

8.14. Anexo N: Descripción pruebas de medición de turbidez y sus resultados

Se realizan 45 ensayos para medir la turbidez del agua, se evalúa la zona de agua clara en los 36 ensayos de sedimentación estática para determinar el reactivo idóneo, y en los 9 ensayos de sedimentación dinámica. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

El instrumento usado para su medida es el tubímetro, el cual mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua, el cual se muestra en la siguiente figura.



Ilustración 92: Medidor de Turbidez

A continuación, se detalla la metodología de trabajo:

1. Usar el equipo de Seguridad (EPP´s) definido para la actividad.
2. Seleccionar 1 botella de 50 ml, limpia y en buen estado.
3. Por medio de una bomba peristáltica se obtienen muestras de overflow por la parte superior de los test de compactación, para posteriormente llenar botella de 50 ml.
4. Calibrar equipo de turbidez previo al uso.
5. Seleccionar botellas de 10 ml para medición en duplicado.
6. Verter líquido de botella en botella de 10 ml.
7. Insertar botella de 10 ml en equipo turbidímetro, presionar botón test.
8. Registrar valores y retirar botella.
9. Realizar esta acción para las mediciones restantes.

Resultados turbidez del agua

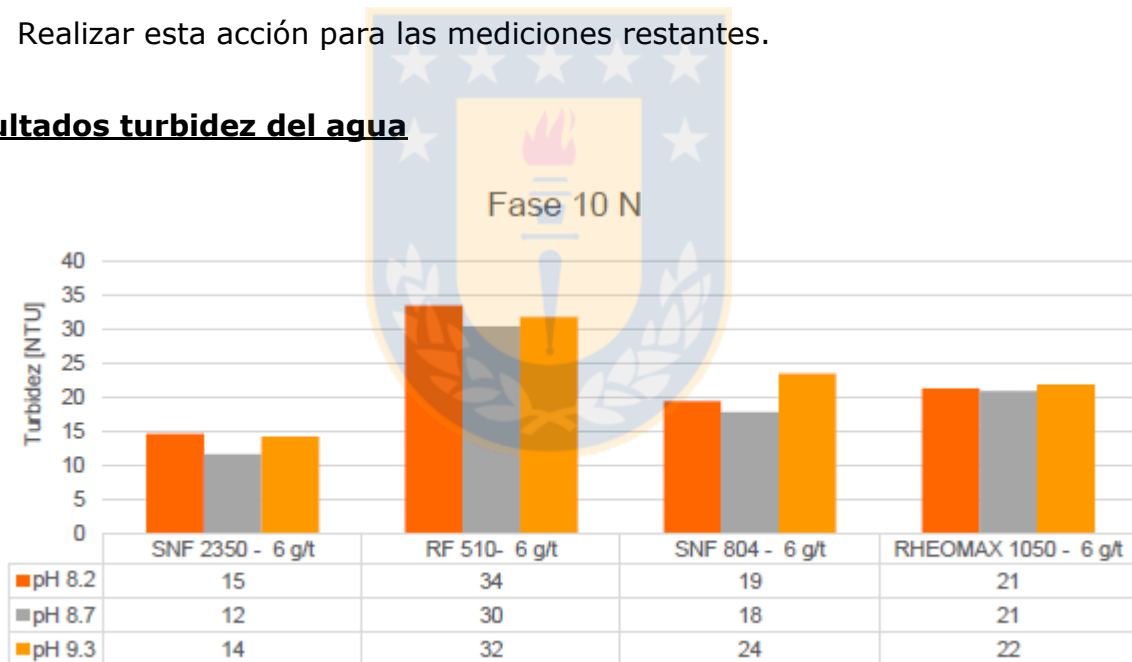


Ilustración 93: Turbidez - Fase 10 N

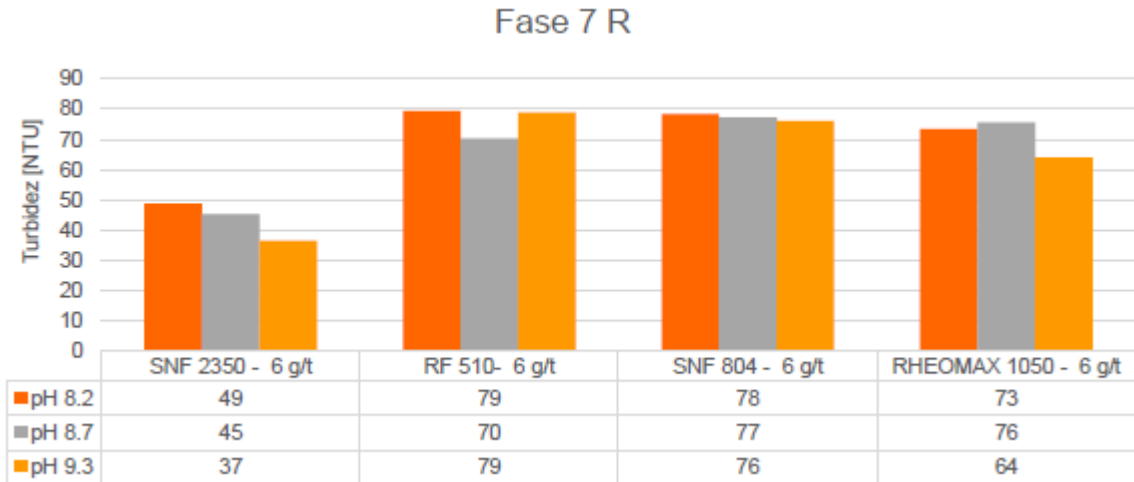


Ilustración 94: Turbidez - Fase 7 R

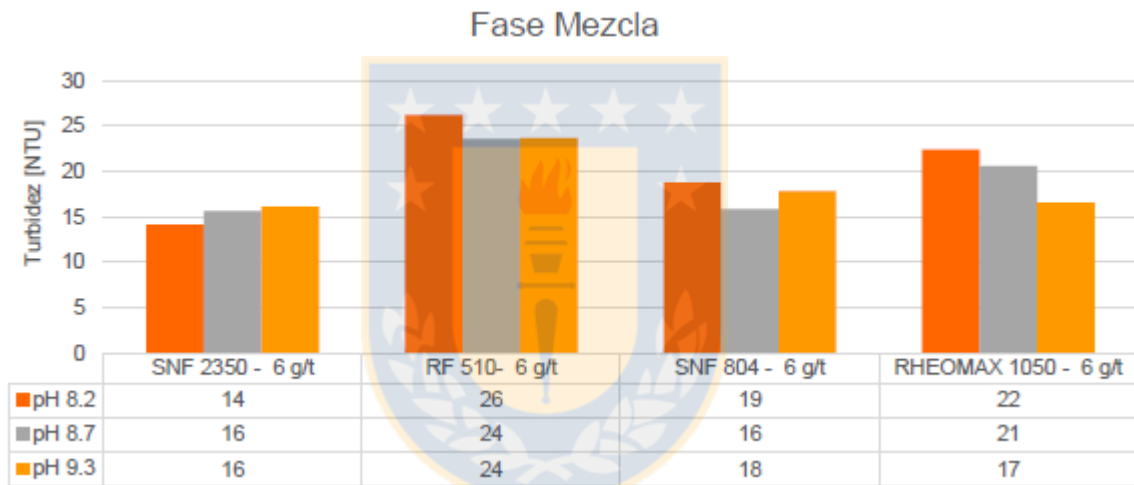


Ilustración 95: Turbidez - Fase Mezcla

8.15. Anexo O: Resultados evaluación dilución inicial y evaluación dosis optima de floculante

Evaluación dilución inicial

Se realiza una fase de evaluación de dilución inicial por lo que se procede a la evaluación de diferentes porcentajes de sólido siendo evaluado a 15 %, 17%, 20 % y 25 % de sólido.

Fase 10 N

Con respecto a la muestra Fase 10 N se evaluará el floculante SNF 804, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación final. Las pruebas serán realizadas a pH 8.7.

La siguiente ilustración presenta los resultados obtenidos a los diferentes porcentajes analizados.

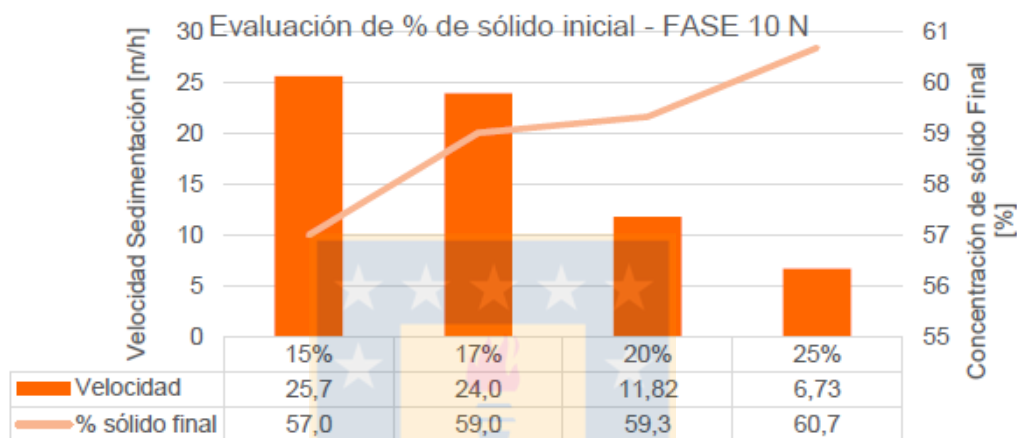


Ilustración 96: Evaluación de % Sólido inicial - Fase 10 N

Fase 7 R

Con respecto a la muestra Fase 7 R también se evaluará el floculante SNF 804, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación final. Las pruebas serán realizadas a pH 8.7.

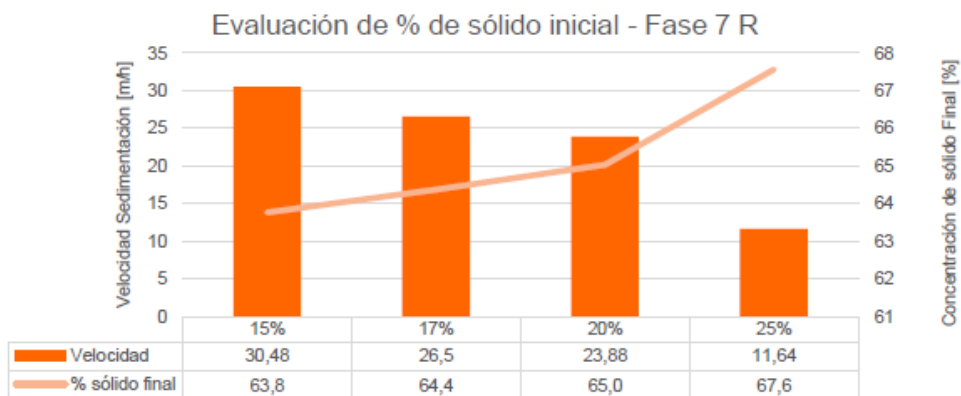


Ilustración 97: Evaluación de % de sólido inicial - Fase 7 R

Fase Mezcla

Con respecto a la muestra Fase Mezcla también se evaluará el floculante SNF 804, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación final. Las pruebas serán realizadas a pH 8.7.



Ilustración 98: Evaluación de % sólido inicial - Fase Mezcla

Evaluación dosis floculante

De acuerdo con lo obtenido en los resultados de las fases anteriores, se realiza una fase de evaluación de dosis de floculante por lo que se procede a la evaluación de diferentes sólidos siendo evaluado a 3 g/t, 5 g/t y 6 g/t.

Fase 10 N

Con respecto a la muestra Fase 10 N se evaluará el floculante SNF 804, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación final. Las pruebas serán realizadas a pH 8.7.

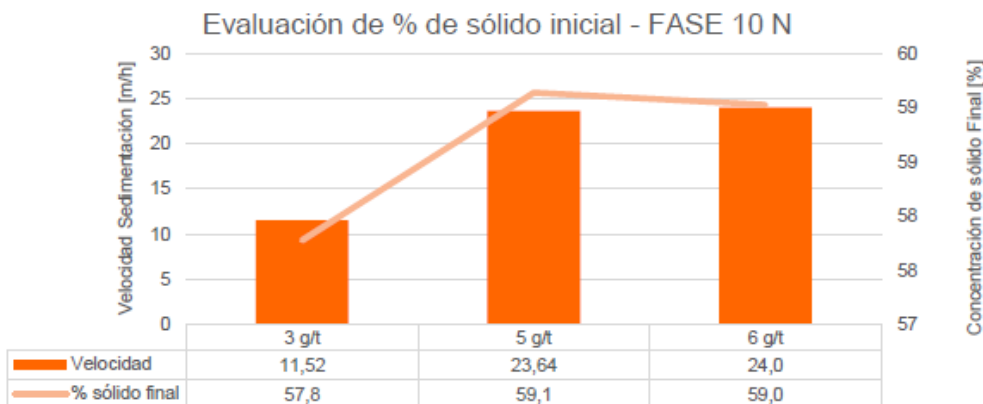


Ilustración 99: Evaluación de dosis de floculante - Fase 10 N

Fase 7 R

Con respecto a la muestra Fase 7 R también se evaluará el floculante SNF 804, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación final. Las pruebas serán realizadas a pH 8.7.

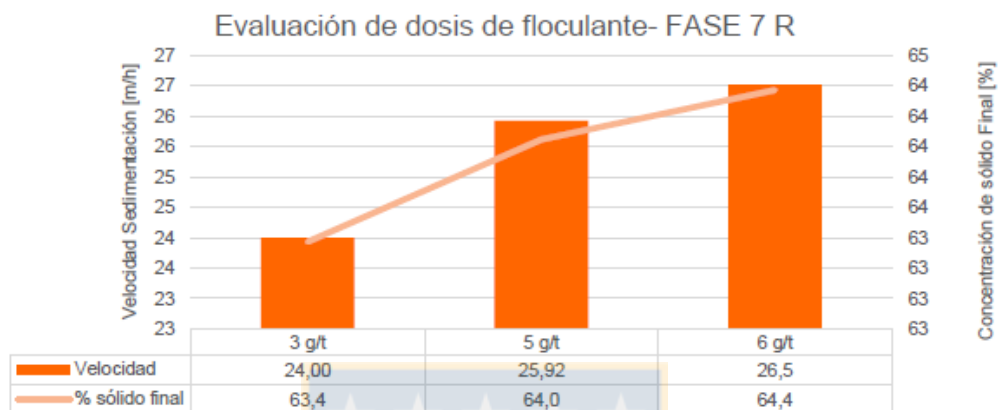


Ilustración 100: Evaluación de dosis de floculante - Fase 7 R

Fase Mezcla

Con respecto a la muestra Fase Mezcla también se evaluará el floculante SNF 804, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación final. Las pruebas serán realizadas a pH 8.7.

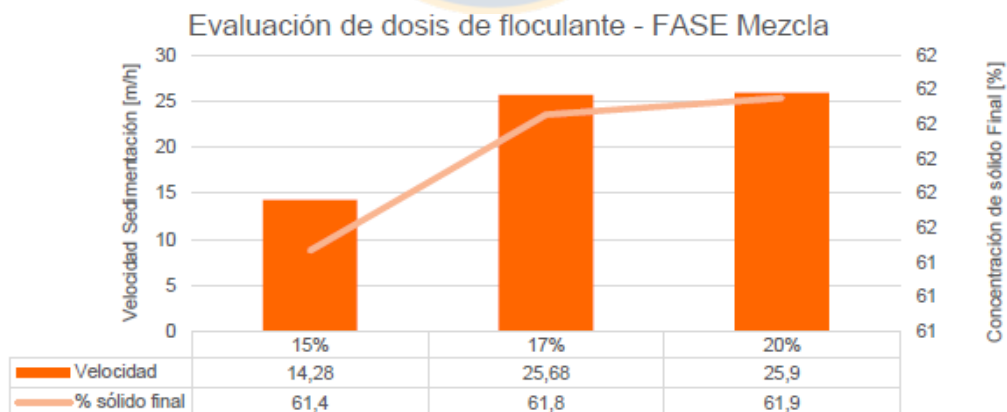


Ilustración 101: Evaluación dosis de floculante - Fase Mezcla

8.16. Anexo P: Evaluación de dilución de sólido inicial – Sedimentación Estática

Muestra Fase 10N

En base a los resultados obtenidos para el caso de sedimentación, se puede apreciar que considerando un C_p inicial tanto de un 15 o un 17 % de sólido, se obtienen resultados favorables en términos de velocidad de sedimentación dando por resultado 25,7 (m/h) y 24 (m/h), respectivamente. Sin embargo, a un 17% de sólido se consigue una mejor compactación de un 59%.

Si bien al considerar un C_p inicial de un 20% de sólido y de un 25% de sólido resulta la obtención de resultados de C_p finales mayores, las velocidades de sedimentación se ven afectadas disminuyendo sus valores a 11.8 (m/h) y 6.7 (m/h) respectivamente.

Muestra Fase 7R

En base a los resultados obtenidos para el caso de sedimentación, se puede apreciar que considerando un C_p inicial tanto de un 15, 17 Y 20 % de sólido, se obtienen resultados favorables en términos de velocidad de sedimentación siendo mayores a 23 (m/h), siendo el máximo obtenido de 30,5 (m/h). En términos de sólido final la condición más favorable es considerando un sólido inicial del 17% y 20%.

Si bien al considerar un C_p inicial de un 25% de sólido resulta la obtención de resultados de C_p final mayor, la velocidad de sedimentación se ve afectada disminuyendo su valor a 11.6 (m/h).

Muestra Fase Mezcla

En base a los resultados obtenidos para el caso de sedimentación, se puede apreciar que considerando un C_p inicial tanto de un 15 o un 17 % de sólido, se obtienen resultados favorables en términos de velocidad de sedimentación dando por resultado 28,3 (m/h) y 25.9 (m/h), respectivamente. Sin embargo, a un 17% de sólido se consigue una mejor compactación de un 61.9%.

Si bien al considerar un C_p inicial de un 20% de sólido y de un 25% de sólido resulta la obtención de valores de C_p finales levemente mayores, las velocidades de sedimentación se ven afectadas disminuyendo sus valores a 12.9 (m/h) y 7.74 (m/h) respectivamente.

Con respecto a los test evaluación de sólido inicial y evaluación de dosis, se utilizó el floculante SNF 804 como óptimo, debido que su comportamiento frente a las 3 muestras fue consistente y se reflejó una mejora en términos de sedimentación y compactación

final, considerando un pH 8.7. Cabe señalar que los ensayos estáticos de sedimentación ayudan a estudiar la variabilidad de un grupo de muestras de modo comparativo.

En la evaluación de sólido inicial, las 3 muestras presentaron un buen rendimiento considerando un 15% y 17 % de sólido inicial en términos de velocidad, sin embargo, a un 17% de sólido se consigue una mejor compactación. Solo la muestra Fase 7 R presentó un buen rendimiento con un 20% de sólido inicial. En general, al aumentar el sólido inicial se obtiene mayores valores de sólido final, sin embargo, afectan directamente la velocidad de sedimentación donde se visualiza una disminución de sus valores.



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Hoja Resumen Memoria de Título

| |
|---|
| Título: Aumento de porcentaje sólido de descarga de los espesadores de relave en Minera Los Pelambres a través de metodología Full Potencial |
| Nombre Fernanda Karime Vera Abara |
| Memorista: |

| | | |
|---------------------------|--|--|
| Modalidad | | Profesor(es) Patrocinante(s): |
| Concepto | | |
| Calificación | | |
| Fecha | | Prof. Leopoldo Gutiérrez Briones |
| | | Ingeniero Supervisor: Oliver Hamann Kraus |
| Profª. Eugenia Araneda H. | | Institución: Minera Los Pelambres |

| | |
|----------------------------------|------------------|
| Comisión (Nombre y Firma) | |
| Prof. Fernando Betancourt | Prof. Denis Vega |

| |
|---|
| Resumen Máx. 200 palabras |
| La siguiente memoria de título tiene por objetivo plantear propuestas de mejora a Minera Los Pelambres para el aumento de porcentaje de sólido de descarga de los espesadores de relave a través de la metodología Full Potencial, trabaja a partir de la condición actual de la operación, en términos de rendimiento y condiciones estructurales, para identificar y realizar los proyectos que busquen mejorar el actual |

rendimiento. En esta oportunidad se identifican 3 proyectos principales que son: Homologación de operadores, implementación de lazos de control y aprovechamiento de la capacidad de torque, tal que esta última palanca se aborda a través de pruebas de laboratorio con distintos de floculante modificador reológico, los ensayos se realizan con 3 muestras de mineral de la mina y a 3 pH diferentes (8.2, 8.7 y 9.3). Las implementaciones de los proyectos propuestos podrían aumentar el sólido de descarga de los espesadores en un 6%.

