



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**EVALUACIÓN DE REACTIVOS DE SEDIMENTACIÓN PARA
OPTIMIZAR EL TRATAMIENTO DE RELAVES DE FLOTACIÓN
DE MINERAL AURÍFERO DE LA UNIDAD MINERA CORI PUNO
S.A.C. PUNO – PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILLY JOEL HUARCA APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mi madre Lucia, por su apoyo incondicional y dedicación hacia mi persona para culminar mis estudios superiores.

A mis hermanos Alfredo, Lidia, Elizabeth, Mercedes y Noemi. que con sus palabras de aliento me dieron fuerza para seguir adelante y lograr mis objetivos.

Willy Joel Huarca Apaza



AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios, por su infinito amor y por la vida que me da para realizar mis estudios en sus diferentes fases, hasta culminar mi profesión. A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por concederme los claustros universitarios para realizar mis estudios superiores. A mi escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, a sus autoridades, docentes, y administrativos, quienes en forma desinteresada supieron guiar con paciencia en mi formación académica y profesional.

Willy Joel Huarca Apaza



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRONOMICOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 16

1.2.1. Problema general 16

1.2.2. Problema específico 16

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 16

1.3.1. Hipótesis General..... 16

1.3.2. Hipótesis Específicas 16

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 17

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18

1.5.1. Objetivo General..... 18

1.5.2. Objetivos Específicos 18

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 19



| | |
|---|----|
| 2.2. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL | 26 |
| 2.2.1. Tecnología de la sedimentación..... | 26 |
| 2.2.2. Factores que influyen en la separación de solido – liquido | 27 |
| 2.2.3. Elementos de un espesador | 30 |
| 2.2.4. Floculantes | 32 |
| 2.2.5. Floculación..... | 32 |
| 2.2.6. Caracterización de la floculación..... | 35 |
| 2.2.7. Caracterización de suspensiones floculadas | 35 |
| 2.2.8. Medición de la velocidad de sedimentación de flóculos | 36 |
| 2.2.9. Relaves..... | 37 |
| 2.2.10. Producción de relaves | 38 |
| 2.2.11. Tipos de relaves | 39 |
| 2.2.12. Rangos de espesamiento | 40 |

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 3.1. MATERIALES | 43 |
| 3.1.1. Recolección procesamiento y análisis de la información | 43 |
| 3.1.2. Equipos para muestreo..... | 43 |
| 3.1.3. Equipos para monitoreo en campo..... | 43 |
| 3.1.4. Materiales y equipos para prueba de jarras..... | 44 |
| 3.1.5. Reactivos..... | 44 |
| 3.1.6. Muestra | 45 |
| 3.2. METODOLOGÍA | 45 |
| 3.2.1. Nivel de investigación | 45 |
| 3.2.2. Tipo de investigación..... | 46 |



| | |
|--|----|
| 3.3. UBICACIÓN DEL ESTUDIO | 46 |
| 3.4. POBLACION Y MUESTRA | 46 |
| 3.4.1. Población | 46 |
| 3.4.2. Muestra | 46 |
| 3.5. DIÑO ESTADISTICO | 47 |
| 3.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES | 47 |
| 3.6.1. Variable independiente | 47 |
| 3.6.2. Variable dependiente | 47 |
| 3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION | 49 |
| 3.7.1. Caracterización de relaves de flotación | 49 |
| 3.7.2. Selección de floculante | 52 |

CAPITULO IV

RESULTADO Y DISCUSION

| | |
|--|----|
| 4.1. RESULTADO DE PRUEBAS | 58 |
| 4.1.1. Ensayos de sedimentación | 58 |
| 4.2. RESULTADOS LOGRADOS | 58 |
| 4.2.1. Resultados de la prueba P1 (concentración 0.02%)..... | 58 |
| 4.2.2. Análisis y resultados de la prueba P1 | 60 |
| 4.2.3. Resultados de la prueba P2 (concentración 0.04%)..... | 60 |
| 4.2.4. Análisis y resultados de la prueba P2 | 62 |
| 4.2.5. resultados de la prueba P3 (concentración 0.06%)..... | 62 |
| 4.2.6. Análisis y resultados de la prueba P3 | 63 |
| 4.2.7. Resultados de la prueba P4 (concentración 0.08%)..... | 64 |
| 4.2.8. Análisis y resultados de la prueba P4 | 65 |



| | |
|---|-----------|
| 4.3. ANALISIS Y RESULTADOS DE LAS 4 PRUEBAS DE SEDIMENTACION | 65 |
| | |
| 4.4. TURBIDEZ DE AGUA SEDIMENTADA DE LOS FLOCULANTES | |
| IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 Y AR 18 | 66 |
| 4.4.1. Resultados de turbidez de agua..... | 66 |
| 4.4.2. Análisis y resultado de turbidez de las pruebas de sedimentación | 69 |
| V. CONCLUSIONES | 70 |
| VI. RECOMENDACIONES: | 71 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| ANEXOS | 76 |

Área: Metalurgia Extractiva

Tema: Sedimentación de Relaves

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 de febrero de 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Espesador Cori Puno. | 28 |
| Figura 2. Espesador sin carga de relave..... | 32 |
| Figura 3. Interacción de la partícula y el polímero..... | 33 |
| Figura 4. Presa de relaves Cori Puno..... | 40 |
| Figura 5. Diagrama simplificado de los rangos de espesamiento..... | 41 |
| Figura 6. Diagrama de bloques del proceso experimental..... | 48 |
| Figura 7. Homogenizado de relave para poner a las probetas de un litro..... | 50 |
| Figura 8. Gravedad específica de relave..... | 51 |
| Figura 9. Reactivos floculantes seleccionado para la sedimentación..... | 53 |
| Figura 10. Dilución de los reactivos floculantes. | 53 |
| Figura 11. Altura de sedimentación de relaves..... | 55 |
| Figura 12. Curva de sedimentación. | 56 |
| Figura 13. Extracción de la solución sedimentada, para su lectura de turbidez. | 57 |
| Figura 14. Desplazamiento de velocidades de sedimentación a concentración de 0.02 %. | 59 |
| Figura 15. Desplazamiento de velocidad de sedimentación a concentración de 0.04 %. | 61 |
| Figura 16. Desplazamiento de velocidad de sedimentación a concentración de 0.06 % | 63 |
| Figura 17. Desplazamiento de velocidad de sedimentación a concentración de 0.08 %. | 65 |
| Figura 18. Resultado de turbidez a concentración de 0.02 %..... | 67 |
| Figura 19. Resultado de turbidez a concentración de 0.04 %..... | 67 |
| Figura 20. Resultado de turbidez a concentración de 0.06 %..... | 68 |



| | |
|--|----|
| Figura 21. Resultado de turbidez a concentración de 0.08 %..... | 68 |
| Figura 22. Resultados de turbidez de los reactivos seleccionados a diferentes concentraciones. | 69 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Tipo de floculantes y aplicación en la industria minera. | 34 |
| Tabla 2. Tipificación del relave. | 40 |
| Tabla 3 Rango Próximo De Relave En La Alimentación Y La Descarga. | 41 |
| Tabla 4. Modelo de diseño experimental bloques completamente al azar | 45 |
| Tabla 5. Horas de muestreo de relaves de flotación durante 10 horas..... | 50 |
| Tabla 6. Datos de relave de flotación..... | 51 |
| Tabla 7. Reactivos seleccionados, concentraciones y dosificaciones (cálculos en anexo 2)..... | 54 |
| Tabla 8. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación. | 59 |
| Tabla 9. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación. | 60 |
| Tabla 10. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación. | 62 |
| Tabla 11. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación | 64 |



ÍNDICE DE ACRONOMICOS

| | |
|----------------|-------------------------------------|
| %S | : Porcentaje de solidos |
| GE | : Gravedad especifica |
| Dp | : Densidad de pulpa |
| g/t | : Gramos por toneladas |
| g/L | : Gramos por litro |
| V | : Volumen |
| cm/min | : Centímetro por volumen |
| NTU | : Unidad de medida para la turbidez |
| Jar-tes | : Practica de laboratorio |
| TM/h | : Toneladas métricas por hora |



RESUMEN

El estudio de “**Evaluación de reactivos de sedimentación para optimizar el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno – Perú**” se ha realizado en el laboratorio metalúrgico de la unidad minera, que se encuentra ubicada en el distrito de Quiaca, provincia de Sandía, departamento de Puno, en la zona sur del Perú. El objetivo de esta tesis fue evaluar la sedimentación para optimizar el tratamiento de relaves de flotación de mineral aurífero Unidad Minera Cori Puno S.A.C.; evaluando y determinando que reactivo floculante dará mejores resultados en la sedimentación de relaves de flotación. Actualmente la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. cuenta con una planta de filtrado que está diseñado para filtrar 1900 TMSD de relave que cuenta con un espesador convencional Westech de 500 m³ y 2 filtros prensa Diemme GHT 2000. La metodología utilizada fue experimental con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), para lo cual se ha realizado 16 pruebas de sedimentación a nivel laboratorio, con diferentes tipos de reactivo floculantes como IXOFLOC 1018, IXOFLOC 1060, IXOFLOC 1020, comparando con el floculante AR-18 utilizado actualmente en operaciones de separación solido-liquido de planta; las pruebas se desarrollaron a cuatro concentraciones diferentes para un litro de pulpa de relave; los resultados obtenidos en estas pruebas mostraron que el floculante que sedimenta con el mejor tiempo es el AR 18 (25gr/tn preparado a una concentración de 0,02 %), respecto a los floculantes seleccionados, dichos resultados mostraron una velocidad de sedimentación de 1.5 a 3 cm/min y a su vez dando resultados de turbidez de agua con 1 NTU; así mismo se determinó que los parámetros óptimos son:... los cuales se implementaran en la planta de filtrado especialmente en el espesador westech

Palabras Clave: Evaluación, Optimización, Relaves de Flotación, Sedimentación.



ABSTRACT

The study of “**Evaluation of sedimentation reagents to optimize the treatment of gold ore flotation tailings from the Cori Puno S.A.C. mining unit. Puno - Peru**” was carried out in the metallurgical laboratory of the mining unit, which is located in the district of Quiaca, province of Sandía, department of Puno, in the southern area of Peru, the objective of this thesis is to evaluate the sedimentation to optimize the treatment of flotation tailings of the mining unit Cori Puno. Puno - Peru. evaluating and determining which flocculant reagent will give better results in the sedimentation of flotation tailings. Currently the Cori Puno mining unit has a filtering plant that is designed to filter 1900 TMSD of tailings in which it has a conventional thickener Westech of 500 m³ and 2 filter presses Diemme GHT 2000, having in the feed to the thickener the flotation tailings, and as a final product the tailings cakes with average moisture 15% that are evacuated to the pad for compaction, at present the flocculant AR-18 is used in the treatment of flotation tailings. The methodology used is experimental, with a completely randomized block design (DBCA), for which 16 sedimentation tests have been carried out at laboratory level, with different types of flocculant reagents such as IXOFLOC 1018, IXOFLOC 1060, IXOFLOC 1020, compared with AR-18, the tests were developed at 4 different concentrations for one liter of tailing pulp, the results obtained in these experimental tests gave us a high performance in sedimentation of liquid solids from flotation tailings, with the flocculant AR 18 at 25gr/tn and a concentration of 0.02 %, giving an optimum sedimentation time and at the same time giving results of crystalline water turbidity with 1 NTU.

Key Words: Evaluation, Flotation Tailings, Optimization, Sedimentation.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La planta concentradora de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. actualmente procesa 2030 TMSD de mineral aurífero extraída de mina, obteniendo el concentrado de alta calidad de oro como producto final de los procesos metalúrgicos y genera relave con de bajo porcentaje sólido, en ese contexto la planta filtrado de relaves fue diseñado y construido para espesar, sedimentar, filtrar y recuperar entre 80 a 90 por ciento de agua de los relaves provenientes de planta concentradora que ingresan al espesador con densidad de 1200 a 1250 g/L sale con una densidad de 1600g/L, el mismo que pasa a filtros prensa GHTDIANME 2000 de donde finalmente el relave sale con un promedio 15 % de humedad que es evacuado a la cancha de compactación que tiene una capacidad de 900 mil toneladas de relave (proyectada 9 años).

La importancia en el consumo de recursos hídricos en la industria minero metalúrgico hace necesario aumentar los esfuerzos en recuperar de mayor cantidad de agua posible de los procesos de separación solido líquido.

En la industria minera el agua es un bien muy escaso y preciado, la mayor parte de los procesos utiliza cantidades sustanciales de agua, requiriéndose su recuperación mediante etapas de separación solido líquido, el agua que se recupera no se descarta y es en su mayor parte es recirculada a planta concertadora. Al igual que ocurre con otras separaciones, la mayoría de los procesos, la separación del agua se realiza por lo menos en dos etapas, normalmente se utilizan el espesamiento y la filtración para lograr la separación del agua de las pulpas de relave.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. , incrementó el tonelaje de mineral de 1800 TMSD a 2030 TMSD por esta razón la planta de filtrado tiene una desventaja ya que su máxima capacidad de tratar los relaves producidos por planta concentradora es de 1900 TMSD, teniendo en cuenta el incremento de tonelaje existe deficiencia especialmente en el espesador que se muestra por las contantes rebalses, deficiente separación Sólido - Líquido (lames) y los parámetros operacionales del espesador no satisfacen una sedimentación óptima; puesto que también influye mucho el tipo de floculante así como la concentración, por las razones detalladas se opta por probar nuevas alternativas como evaluación de nuevos reactivos floculantes frente a necesidad de sedimentar más rápido los relaves de flotacion en el espesador y a su vez también obtener una calidad de agua con turbidez ideal. Considerando que actualmente la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. utiliza el floculante AR 18 en el tratamiento de relaves de flotacion.

También uno de los factores más importantes y primordial es el consumo de reactivos (floculantes) el cual implica un alto costo de operación. El presente estudio propone el cambio de reactivo floculante y dosificación utilizados en la planta de filtrado, con el objetivo de mejorar la sedimentación en el espesador y mejorar el porcentaje de recuperación de agua y alcanzar los objetivos establecidos.

la importancia en el consumo del recurso hídrico en la industria minero metalúrgico en general, hace necesario aumentar los esfuerzos en recuperar la mayor cantidad de agua posible desde los procesos de separación sólido-líquido.



Lo que se espera alcanzar en las pruebas de laboratorio con los reactivos nuevos es obtener un resultado positivo en la sedimentación y recuperación de agua con turbidez ideal.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Como evaluar los reactivos de sedimentación para optimizar el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno – Perú?

1.2.2. Problema específico

- ¿Como evaluar los reactivos IXOFLOC 1018, IXOFLOC 1060, IXOFLOC 1020 y AR-18 en el proceso de sedimentación de relaves de flotacion de minerales aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno-Perú?
- ¿Cuáles son los parámetros óptimos para el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno – Perú?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

- Evaluando los reactivos de sedimentación se optimiza el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno – Perú

1.3.2. Hipótesis Específicas

- Evaluando los reactivos IXOFLOC 1018, IXOFLOC 1060, IXOFLOC 1020 y



AR-18 en el proceso de sedimentación de relaves de flotación de oro de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno-Perú. Se determina el mejor reactivo de sedimentación aplicable.

- Al optimizar algunos parámetros en el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C. Puno – Perú. Se consigue mejor eficiencia en el proceso sedimentación.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La planta concentradora de oro de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. luego del proceso de concentración gravimétrica y flotación, genera relaves en forma de pulpa con una densidad de entre 1200 a 1250 g/L que implica una alta dilución o uso de agua, el mismo que es necesario recuperar para su reutilización en el proceso a través de las operaciones de separación sólido-líquido más eficiente posible. Frente a la necesidad de mejorar continuamente los procesos y operaciones de la planta concentradora,

Se decidió realizar esta investigación ya que una de las alternativas es evaluar los reactivos floculantes variando su concentración para poder sedimentar a un tiempo corto y a su vez recuperar agua sin turbidez para procesos de planta concentradora, para así no tener deficiencia, así como evitar el derrame de relave en el espesador Westech, y tener un control óptimo de proceso de separación sólido-líquido en espesador.

Con la presente investigación la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. se beneficiará en la mejora de las operaciones de sedimentación de relaves de flotación de mineral aurífero y recuperación en cantidad y calidad de agua clarificada; al mismo tiempo no optará en consumir agua de manantiales y se estará aportando al medio ambiente en reducción de consumo de agua en grandes cantidades.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar los reactivos de sedimentación para optimizar el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. Puno – Perú.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los reactivos IXOFLOC 1018, IXOFLOC 1060, IXOFLOC 1020 y AR-18 en el proceso de sedimentación de relaves de flotación de oro de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. Puno-Perú.
- Determinar los parámetros óptimos para el tratamiento de Relaves de Flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. Puno – Perú.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

(Crespo Moreno & Muñoz Blanco, 2021), en su tesis de investigación, estudio de parámetros operativos en espesador de relaves para mejorar calidad de agua recuperada y efluentes en minera el brocal, estudio los principales parámetros de operación en el espesador de relaves, los cuales fueron flujo, densidad, preparación y dosificación de floculante, velocidad de arenamiento de los relaves espesados, eficiencia de recuperación y calidad de agua clarificada, también determino la densidad de la mezcla de los relaves que ingresan al espesador, como resultado propone un balance de materia utilizando la herramienta solver.

(Santos Saavedra, 2019), en su investigación sobre la optimización para recuperar agua a partir de los relaves de hierro y cobre mediante el uso de espesadores en la empresa minera shouxin, realizó una propuesta de optimización a los procesos de recuperación de agua ya instalados en la planta de espesadores de la empresa minera shouxin, caracterizó espesamientos y reología a nivel laboratorio, de las muestras de relave de hierro y cobre producido por la minera shouxin y el conocimiento de las propiedades físico químico de los relaves a tratar fundamentalmente para realizar una buena optimización de los espesadores para la recuperación de agua a partir de los relaves mineros. Utilizo distintos tipos de floculantes durante su estudio para obtener la velocidad optima de sedimentación y poder lograr una buena recuperación de agua contenido en los relaves tratados.

(Mora Palomino, 2019), en su trabajo de investigación, evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio, propone una estabilidad física a los relaves mineros que produce planta de beneficio, como resultado obtuvieron realizar la



acumulación de relaves, aguas abajo con borde de materiales a préstamo y utilizando hidrociclón para asegurar la estabilidad del relave, ante los problemas sísmicos que pudieran existir.

(Siuce Bonifacio, 2019), en su tesis de investigación, espesamiento floculación de relaves para la obtención de pasta de la compañía minera caolín s.a.c. Aplico pruebas empíricas para hallar los parámetros que intervienen en el proceso y luego aplico un diseño a nivel piloto, tomo muestras de relave e hizo pruebas empíricas de sedimentación, sin y con floculante en probetas de 1000cc. Los resultados a nivel piloto indicaron que si es posible obtener relave en pasta.

(Vera Abara, 2019), en su informe, aumento de porcentaje de solido de descarga de los esperadores de relave a través de la metodología full potencial en la minería los palmares, oriento a generar propuestas de mejora para aumentar el porcentaje de solido en espesadores, analizo las condiciones actuales de los equipos, dosificación de floculantes y comportamiento operacional en los diferentes turnos, además evaluó el actual reactivo floculante para las futuras condiciones operacionales, también realizo pruebas de laboratorio con distintos floculantes, evaluó el comportamiento en distintas condiciones operacionales, diferentes muestras de relave, en sus resultados obtenidos muestra que hubo mejora de aumentar solido de descarga, sus resultados en sus distintas fases, alcanzan valores de velocidad de sedimentación de 24 (m/h) y un máximo de 59% de compactación.

(Rodriguez Girón & Vizcardo Cordero, 2019), en su tesis de investigación, propuesta de alternativas de filtrado de relaves con geotubos para el modelamiento geotécnico, en su investigación comprobó que mediante el uso de geotubos se obtenga relaves filtrados en la Unidad Minera cerro lindo, hizo un comparativo entre el contenido de solidos de la muestra obtenida por el ensayo de geotubos a su vez realizo el



modelamiento geotécnico, logrando que el geotubos si puede ser considerado como una alternativa y que el factor de seguridad cumple con lo establecido.

(Mamani Diaz, 2018), en su tesis de investigación estudio de la sedimentación en espesador de concentrado en minera aurífera retamas s.a. planteo el desempeño del floculante PHP 10 en el espesador variando su concentración, su estudio y comparación. Basó su estudio en pruebas metalúrgicas, analizando la velocidad de sedimentación y turbidez obtenidas a diferentes concentraciones de floculantes, con posterioridad a la etapa de concentración. Realizó las pruebas de sedimentación para el concentrado y relaves que salen de las plantas en forma de Pulpas con un 25 a 30% de sólidos, cuyos resultados fueron la obtención de una pulpa con mayor concentración de solidos (sobre 50%) y por otra parte un flujo de agua clara.

(Calancha Mamani, 2018a), en su tesis de investigación, evaluación de la cinética de sedimentación y precipitación de los metales para optimizar el tratamiento de pulpa de relaves de la Unidad Minera san Rafael, se destacó en evaluar la sedimentación de los relaves con distintos tipos de floculantes, y la precipitación de los metales a nivel laboratorio para optimizar el tratamiento de pulpa de relaves de la Unidad Minera utilizo la metodología de investigación experimental, llego a determinar que la velocidad de sedimentación y la precipitación de metales se obtienen mejores resultados utilizando el floculante renafloxc 1120 de los relaves en pasta de la empresa aurex s.a. determino la influencia de los relaves en pasta de la empresa aurex en la reducción de impactos negativos de agua y suelo, para su trabajo tomo en comparación la disposición de relaveras, tales fueron, la relavera 2007 después de cerrarla se realizó recrecimiento con los relaves en pasta, en su trabajo de investigación contribuyo a tomar en cuenta la tecnología disponible con la que se reduce los impactos negativos Alos componentes del medio ambiente.



(Arismendi Aedo, 2018), en su investigación de tesis, identificación de los elementos de ganga que modifican las propiedades de sedimentación de relaves, determino el efecto de diferentes contenidos y tipos de relave, analizo 5 muestras con diferentes especies de filosilicatos de un grupo de arcillas, en su estudio también considero la búsqueda de relaciones entre especies mineralógicas, en su resultado obtenido estableció la influencia del contenido de filosilicatos en las propiedades reológicas y sedimentológicas, además valido la hipótesis, en el reconocimiento y cuantificación de las especies mineralógicas son determinantes para predecir la conducta del relave.

(Langlois Buchholtz, 2018), en su tesis de investigación, desarrollo e implementación de un simulador dinámico del proceso de reducción de relaves en las pastas para aplicación de control. Desarrollo un simulador dinámico para el proceso de reducción de relaves, para ello realizo revisiones de bibliografías, una contribución importante de su trabajo es la existencia del modelo dinámico del espesador, el simulador dinámico fue desarrollado en el contexto de programación, los modelos seleccionados demostraron ser capaces de simular de forma correcta las variables importantes del proceso de reducción de relaves en pasta y el simulador resulto ser una herramienta confiable.

(Julio, 2018), en su tesis de investigación, propuesta de tratamiento del depósito de relaves de quiulacocha, determino en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relave, en su muestra de investigación estuvo conformada por los elementos físicos involucrados en el depósito de relaves, dividió en dos partes, la primera con los relaves ecos remedio con encapsulamiento de geomembranas y cobertura de tierra orgánica, la segunda realizo una vez que el estanque de agua acidas se secó , esto implico



el cierre definitivo de los depósitos de desmonte, esta propuesta tubo efectos positivos en la población y en la recuperación de agua.

(Carhuamaca Celedonio, 2018), en su tesis de investigación, influencia de los relaves en pasta de la empresa aurex s.a. determino la influencia de los relaves en pasta de la empresa aurex en la reducción de impactos negativos de agua y suelo, para su trabajo tomo en comparación la disposición de relaveras, tales fueron, la relavera 2007 después de cerrarla se realizó recrecimiento con los relaves en pasta, en su trabajo de investigación contribuyo a tomar en cuenta la tecnología disponible con la que se reduce los impactos negativos Alos componentes del medio ambiente.

(Fuenzalida Hidalgo, 2017) en su investigación, estudio y evaluación de sistema de espesadores de relave de la división andina, estudio los tipos de espesadores, además analizo la operación de los equipos, para aplicar un modelo matemático en una simulación computacional, tras analizar los diferentes modelos disponibles en literatura y sus métodos de resolución, se decidió a recibir los equipos con el modelo basado en la teoría de la sedimentación, en su versión simplificada a una dimensión y viscosidad despreciable, además realizo las pruebas con las condiciones solicitadas por las empresa de las que se concluye que las pruebas con alimentaciones menores a las capacidades máximas de cada equipo pueden ser utilizadas en las operaciones sin mayores riesgos

(Palli Calla, 2016a), en la tesis titulada dimensionamiento y optimización de un sedimentador convencional de relaves de cobre en una planta de procesamiento de 850 TMS, realizó el dimensionamiento y optimización de un espesador convencional de relaves a través de la metodología de diseño y pruebas experimentales que permitieron determinar la velocidad de sedimentación de los relaves de cobre y así obtener agua para los procesos metalúrgicos. En el efecto de dosificación de floculante y la dilución de la



pulpa de relave de cobre, logro incrementar la velocidad de sedimentación y así optimizó los parámetros del espesador convencional de relave de cobre.

(Ojeda Vázquez, 2014), en su investigación Diseño e implementación lógica de control experto en espesador de relaves planta las tórtolas, desarrollo e implemento un sistema de control experto estructurado en reglas lógicas, para mantener el control de la operación de espesamiento de relaves en planta y logro que se sea una herramienta poderosa para lograr una operación estable en el espesamiento den relaves pase alas constante perturbaciones en la alimentación, en su exitosa implementación del sistema muestra la posibilidad de replicar la estrategia de control en otros espesadores, mediante un ajuste de acuerdo a las condiciones de operaciones del nuevo equipo.

(Olcaj Barreda et al., 2014), en su artículo de investigación, características principales de pastas minerales de relave de manganeso preparadas en espesador de escala de laboratorio, evaluó la producción de suspensiones concentradas conocidas como minerales de relave, proveniente de los procesos de flotación, incluyo la característica de la muestra sólida, evaluó el floculante, tipo y dosificación, dando resultado que el floculante no iónico fue el que mostro mejor desempeño en sedimentación de los relaves.

(Ames Ramírez, 2012), presenta un artículo donde desarrolla pruebas en un espesador piloto de cono profundo considerando las condiciones de proceso para optima floculación con pruebas de laboratorio determinando el tipo de floculante, concentración de solidos en la alimentación y dosificación para maximizar la ratio.

(Salinas Salas & Espinosa Fuentes, 2012), en su artículo de investigación, evaluación experimental del comportamiento de la velocidad de sedimentación de partículas, determino el comportamiento y la velocidad de sedimentación terminal de sistema de partículas no coloidales de tamaño medio menor a 1.000 nm respecto de



sistema de partículas de mayor a este, para esto analizo el factor de reducción de velocidad terminal de sedimentación.

(Corichahua Condori, 2012), en su tesis de investigación, optimización de uso de relaves – arena en el relleno hidráulico en la U.E.A. parcoy. Se baso específicamente en clasificar los relaves mineros por medio de hidrociclones los cuales eran almacenados en los silos para su posterior aplicación en rellenos de tajeos hidráulicos realizando su transporte a través tuberías impulsando por bombeo para lo cual se determina el tipo y dimensiones de tubería analizando y modificando el sistema de relleno para satisfacer las necesidades de la mina, con el resultado demostró que con la clasificación adecuada de relaves por medio de hidrociclones se puede obtener pulpas con densidades elevadas.

(Gómez Paredes, 2012), en su proyecto de investigación, evaluación de pruebas de espesamiento en planta piloto, analizo evaluó la alternativa de aplicar la tecnología de espesamiento de relaves con el objeto de validarlo, de tal forma que permita disponer de un relave con alto contenido de sólido, utilizo el relave para desarrollar pruebas básicas que permitieron identificar los principales factores operativos y los efectos, obtuvo una tasa de procesamiento de relave lo más alto posible cumpliendo con las condiciones operativas y una altura de interface que facilito la operación de modo que se presentó un set de 4 condiciones operativas diferentes, como también obtener un diseño conceptual de planta de manera simple, identificando los equipos principales.

(Salinas Salas & Espinosa Fuentes, 2012), en su artículo de investigación, evaluación experimental del comportamiento de la velocidad de sedimentación de partículas, determino el comportamiento y la velocidad de sedimentación terminal de sistema de partículas no coloidales de tamaño medio menor a 1.000 nm respecto de sistema de partículas de mayor a este, para esto analizo el factor de reducción de velocidad terminal de sedimentación.



(Tueros Dávila & Ramos Álvarez, 2009), en su tesis de investigación, tratamiento de relaves con sedimentadores ultra sep para la recirculación de agua industrial a las operaciones metalúrgicas de la planta, dio alternativas, planteo soluciones a la problemática que tuvo la empresa por el incremento de tonelaje, establecido un método tecnológico para la acumulación de relaves, producto del proceso de tratamiento del mineral, estudio y propone los principales rangos operativas en cuanto al manejo de las variables operacionales, dando resultado en recuperaciones de gran parte de agua de los relaves para recircular a planta de beneficios.

2.2. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.2.1. Tecnología de la sedimentación

2.2.1.1. Definiciones previas

Los elementos y compuestos de la naturaleza se dividen en tres fases: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa. Un fluido puede contener más de una fase y aun así comportarse como tal. Según esta norma, los fluidos se pueden dividir en:

- Unifásicos: líquidos o gaseosos.
- Bifásico: líquido-gas, líquido-sólido o gas-sólido.
- Multifásico: Contiene fluidos en tres estados.

En nuestro caso, los relaves se consideran un fluido de dos fases que consta de una fase sólida (mineral) y una fase líquida (agua). En este estudio, nos referimos a este tipo de fluido como "pulpa" para abreviar (Calancha Mamani, 2018, p 27).

2.2.1.2. Separación sólida – líquido

La mayoría de las operaciones de beneficio de minerales utilizan grandes cantidades de agua para su procesamiento. Para lograr la posterior separación sólido /



líquido, actualmente existen tres métodos: concentración, filtración y secado térmico. En circunstancias normales, el espesante puede eliminar del 75% al 80% del agua, y el filtro posterior puede eliminar aproximadamente el 90%. El espesamiento es la técnica de deshidratación más utilizada porque es relativamente económica, permite un alto rendimiento y, debido a su muy baja fuerza de cizallamiento, proporciona condiciones óptimas de floculación (Calancha Mamani, 2018, p 28).

2.2.2. Factores que influyen en la separación de sólido – líquido

2.2.2.1. Tamaño de partícula y granulometría

En general, las partículas finas tienen tasas de sedimentación más bajas. Un aumento en el área de la superficie significa una concentración más baja en la salida inferior del concentrador (under flow) en la liberación (Calancha Mamani, 2018, p. 28).

2.2.2.2. Concentración de sólidos

El aumento de la concentración de sólidos generalmente minimiza el tamaño del equipo requerido y el costo de todas las etapas de la separación sólido-líquido. La mayoría de los espesantes se diseñan en función de la unidad de área requerida (m^2 / tonelada corta / día), que disminuirá a medida que aumente la concentración de sólidos en la alimentación (Calancha Mamani, 2018, p. 28).

2.2.2.3. Forma y características superficiales de la partícula

Por lo general, la mejor forma de partícula es esférica con porosidad cero. Cuando alguno de estos factores está lejos de su estado ideal, la dificultad aumentará. Las propiedades químicas de la superficie de las partículas afectarán factores como la cantidad de floculante (Palli Calla, 2016, p.11).

2.2.2.4. Viscosidad y densidad relativa del líquido

El aumento de la viscosidad reduce la velocidad de la sedimentación. Por ello es deseable mantener una temperatura alta porque reducirá la viscosidad del agua.

2.2.2.5. Sedimentación o espesamiento

El espesamiento se define como el proceso de hacer que las partículas sólidas suspendidas en un líquido se asienten a partir de una mezcla bifásica por gravedad, produciendo una pulpa espesa en la parte inferior y un sobrenadante líquido transparente en la parte superior (Palli Calla, 2016). Es por tal razón que se desarrolla una tecnología moderna de espesamiento más importante en la industria minera, especialmente en la industria metalúrgica, que requiere las aplicaciones más exigentes y robustas, hoy hemos encontrado soluciones en la industria química y del agua, residuos, etc. Por esa razón el objetivo general del proceso de espesamiento es eliminar parcialmente el agua de la pulpa entrante para producir pulpa espesa. Dado que la pulpa precipitada tiene una mayor concentración de sólidos (mayor densidad) que la pulpa original que entra en el recipiente, se dice que se ha espesado.



Figura 1. Espesador Cori Puno.



Leyes de la sedimentación en el proceso de precipitación, la relación de dilución y el tamaño de las partículas juegan un papel importante. De hecho, se observó que cuando se vertió la pulpa diluida en el cilindro y se dejó sedimentar, se observó lo siguiente:

- Las partículas gruesas son las primeras en asentarse en el fondo con relativa facilidad y velocidad que las partículas de tamaño pequeño.
- Después de que las partículas gruesas se asientan, se sigue el lodo para llenar los espacios entre las partículas gruesas.
- Las partículas más finas se asentarán y suspenderán lentamente en la parte superior.

Es por esa razón que el movimiento de todas las partículas (excepto las partículas coloidales) suspendidas en un fluido que se rige por la ley de Stokes, que es proporcional al tamaño de la partícula. La ley de Stokes determina la velocidad terminal (W) de las partículas en cualquier fluido, como se muestra en la siguiente ecuación.

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

Dónde:

- **W:** Velocidad terminal
- **SGS:** Gravedad específica del sólido
- **SGL:** Gravedad específica del líquido
- **n:** viscosidad del fluido
- **g:** Aceleración de la gravedad
- **R:** Radio esférico de la partícula



2.2.3. Elementos de un espesador

2.2.3.1. Canal de alimentación

Tubería que conduce la pulpa hasta el foso de alimentación. por lo general tiene una pendiente de 1,5%, y se dimensiona para que ingrese 1 metro por debajo de la superficie del nivel del tanque para minimizar la turbulencia.

2.2.3.2. Foso de alimentación (feedwell)

El cual sirve para disipar la energía cinética que lleva el flujo de alimentación, así como para dirigir la pulpa a una profundidad adecuada dentro del espesador. los diámetros generalmente empleados están entre 1,0 a 1,2m con profundidades de 1,2 a 5,0m.

2.2.3.3. Tanque

Deposito el cual proporciona el tiempo de residencia necesario para que se lleve a cabo la sedimentación de los sólidos(Palli Calla, 2016).Generalmente son de fondo cónico para ayudar el movimiento del lodo hacia el punto central de evacuación, sin embargo, cuando se tiene un fondo plano, los lodos sedimentados tiene a formar su propia pendiente dependiendo del ángulo de reposo del material de manera que se produce una pendiente natural. pueden ser construidos en acero, concreto o una combinación de ambos, siendo el caso de tanques de concreto para los espesadores de gran tamaño. la mayor parte de tanques son montados sobre patas o a nivel del terreno con túneles de descarga para ingreso.

2.2.3.4. Brazos

La principal función es desplazar los sólidos ya sedimentados hacia el punto de evacuación, e incrementar los porcentajes de sólidos en su descarga al momento de permitir la liberación de agua por medio de un canal en la cama de compactación. Necesariamente son cuatro brazos, dos largos y dos cortos, en los cuales pueden ser



unidos mediante soldadura o empernados al eje central. para el caso de brazos muy largos es común el uso de cables adicionales de apoyo (Palli Calla, 2016, p.26).

2.2.3.5.Rastras

Tienen casi la misma función a los brazos, pero en la parte de descarga. La velocidad de las rastras usualmente es 8m/min en el área, representa un consumo de energía muy bajo, por lo tanto, un espesador con capacidad de 60 metros de diámetro necesita un motor de 10 kw. en algunos casos, se coloca piques encima de las rastras, lo que permite que el agua atrapada sea expulsada con una mayor facilidad en los casos de pulpas con alto contenido de sólidos (Palli Calla, 2016, p.26).

2.2.3.6.Canal de rebose

El cual es un canal periférico que toma el rebose clarificado y lo conduce a un punto específico para su almacenamiento.

2.2.3.7.Mecanismo de elevación

Es un mecanismo de acción mecánica o neumática que permite el ascenso de los brazos de la zona de compactación de sólidos al detectarse altos torques, por ejemplos mayores a 5 a 30 veces su torque nominal, y tiene como fin disminuir el esfuerzo del mecanismo de accionamiento, así como de protección del grupo motriz del equipo. este es generalmente empleado para espesadores de gran diámetro.

2.2.3.8.Puente

Es común la presencia de un puente a lo largo del tanque del espesador desde la periferia al centro o recorriendo el diámetro total de este. el puente tiene la función de servir para labores de mantenimiento, así como soporte para el canal de ingreso de pulpa.

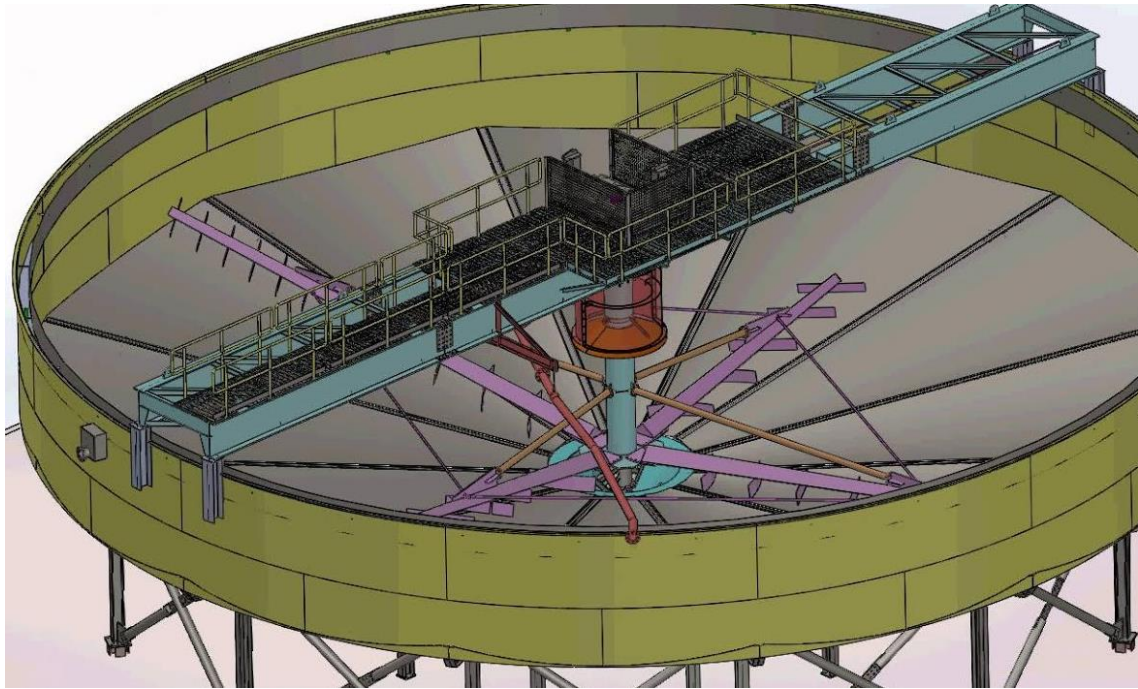


Figura 2. Espesador sin carga de relave.

2.2.4. Floculantes

El floculante es un polímero orgánico de cadena larga con alto peso molecular (> 100), que es soluble en agua y forma partículas de mayor tamaño aparente formando puentes o enlaces entre partículas, generando así un grupo de partículas de decantación más rápida. De esta manera se acelera el proceso de separación sólido-líquido (Calancha Mamani, 2018, p.31).

2.2.5. Floculación

La floculación son partículas inestables que primero se agregan en microflocs y luego en grandes agregados llamados flóculos. Estos flóculos son inicialmente pequeños, pero se agrupan y forman grupos más grandes que pueden asentarse, como se muestra en la Figura 3. Para facilitar la formación de grupos más grandes, se agrega un grupo de productos llamados floculantes.

Cuando dos partículas similares se acercan, sus capas de difusión interactúan y generan una fuerza repulsiva, que es una función de la distancia que las separa y disminuye rápidamente a medida que aumentan los iones con carga opuesta. Los representantes típicos de polímeros son los siguientes

2.2.5.1. Floculantes minerales

Son compuestos muy coloidales que reaccionan absorbiendo o neutralizando la carga de partículas en suspensión, sílice activa, bentonita, hidróxido de hierro, etc.

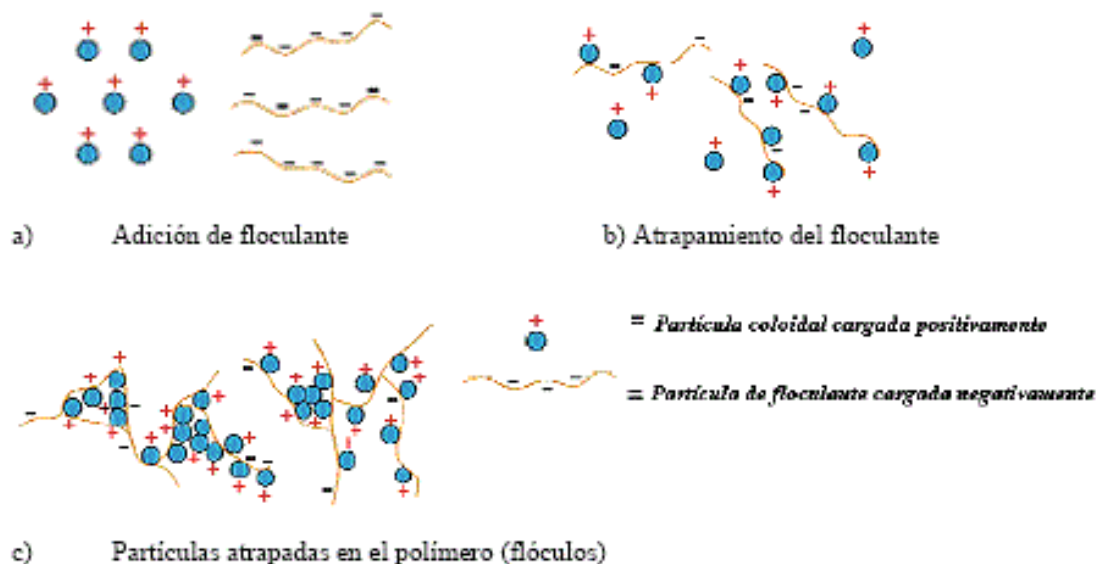


Figura 3. Interacción de la partícula y el polímero.

Fuente: Imagen tomada de www.revistasbolivianas.org.bo

2.2.5.2. Floculantes naturales

Son polímeros solubles en agua, siendo los más comunes los derivados de pentilo, los polisacáridos y los alginatos (extractos de algas).

2.2.5.3. Floculantes sintéticos

Son polímeros sintéticos de muy alto peso molecular y solubles en agua. Los floculantes sintéticos incluyen tipos no iónicos, aniónicos y catiónicos, con diferentes

tamaños moleculares, todos los cuales pueden proporcionar el mejor rendimiento en cualquier tipo de suspensión.

2.2.5.4.Floculantes aniónicos

Se utilizan más comúnmente para la precipitación de pulpas y concentrados de minerales, como cobre, carbono, plomo y zinc. Estos son eficaces en la mayoría de suspensiones que contienen minerales u otros sólidos inorgánicos, especialmente en condiciones neutras o alcalinas. El consumo o la dosis típica varía de 2 a 50 gr / tn, (gramos de floculante por tonelada de sólidos secos).

2.2.5.5.Floculantes no iónicos

Son también usados en la sedimentación de pulpas de minerales de Fe, y flotación de Oro etc., son muy efectivos en pulpas acidas. Los consumos o dosificaciones típicos varían entre 1 a 50 gr/ton. También pueden usarse como ayuda filtrante.

Tabla 1. Tipo de floculantes y aplicación en la industria minera.

| Tipo de floculante | Aplicaciones industriales | Consumo usual (g/t) |
|---------------------------|--|--|
| Aniónico | Espeamiento de pulpas minerales y concentrados | Concentrados y relaves y carbón, cobre, plomo y zinc: lamas de fosfato y lodos de bauxita 2.5 a 5.0 |
| | Agente filtre ante para filtración a presión a vacío | Concentrados minerales 60. a 600 |
| | Desaguado centrifugo | Concentrados minerales y relaves 5 a 250 |
| No iónicos | Espeamiento de pulpas minerales y concentrados | Flotacion de relaves auríferos, lamas de hierro, licores ácidos de uranio 1 a 50 g/tn |
| | Agente filtre ante para filtración a presión a vacío | Concentrados minerales 5 a250 g/tn |



| | | | |
|-------------------|---|--|-------------|
| Catiónicos | Espesamiento de pulpas minerales y concentrados | Concentrados y relaves de carbón y lamas de hierro | 25 250 g/tn |
| | Clarificación de agua de mina | | 5 a 50 g/tn |

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería

2.2.5.6. Floculantes catiónicos

Se utiliza principalmente para la precipitación de escoria de carbón, listones de mineral de hierro, concentrados, etc. Estos son efectivos en sistemas que contienen sólidos orgánicos o pH bajo.

El consumo o la dosis típica varía entre 25 y 250 g / tonelada. También pueden aclarar eficazmente el agua extraída de las minas en una dosis de 5 a 50 g / tonelada consumo o la dosis típica varía entre 25 y 250 g / tonelada. También pueden aclarar eficazmente el agua extraída de las minas en una dosis de 5 a 50 g / tonelada

2.2.6. Caracterización de la floculación

A pesar del extensivo uso de floculantes de alto peso molecular en el procesamiento de minerales, las propiedades físicas de éstos no son bien conocidas. En particular, poco se sabe de la distribución de su peso molecular, debido a la dificultad de caracterizar polímeros de cadena larga sensitivos al cizalle. Esta información es esencial para entender y predecir el comportamiento del floculante (Calancha Mamani, 2018l, p 35).

2.2.7. Caracterización de suspensiones floculadas

La eficacia de la mayoría de los espesantes en la industria minera depende de la capacidad de los reactivos químicos y floculantes para agregar partículas finas de la suspensión de alimentación para formar flóculos.



La floculación de la suspensión produce flóculos de varios tamaños y densidades, y presenta grandes irregularidades de forma. Estas características tienen un impacto profundo en las características de deshidratación de la suspensión y controlan la velocidad de sedimentación, consolidación y reología (Calancha Mamani, 2018, p 35).

Debido a la fragilidad de los flóculos, la medición de las características de los flóculos en la suspensión es muy complicada, y debe tenerse en cuenta que la tecnología de medición no cambia su tamaño ni estructura.

2.2.8. Medición de la velocidad de sedimentación de flóculos

La claridad del desbordamiento es un criterio clave para muchas operaciones de procesamiento de minerales, especialmente durante la precipitación por gravedad antes de la precipitación, la electrodeposición (refinerías de cobre y zinc) o la extracción con solventes (hidrometalurgia de cobre o níquel). El uso de un sistema de video / aumento puede detectar fácilmente el desbordamiento de espesantes que contienen una gran cantidad de materiales sólidos. El sistema mide el tamaño y la velocidad de sedimentación de los sólidos en condiciones cuasi-estáticas. Por lo tanto, se puede determinar si el alto contenido de sólidos se debe a: (1) mala floculación, (2) agregados flotando por burbujas de aire, (3) floculante no disperso, ojos de pez, (partículas adheridas a la bola de gel)), (4) Rotura de flóculos (comprobada por la presencia de pequeños flóculos con baja tasa de sedimentación) o (5) Cortocircuito entre alimentación y desbordamiento (indica la presencia de agregados con una tasa de sedimentación superior a la tasa de sedimentación promedio) en el agua del espesador). En condiciones normales de operación, se tomaron medidas que indicaron el último diagnóstico en el espesador de la refinería de zinc (Calancha Mamani, 2018, p 36).



2.2.9. Relaves

Los relaves se definen como residuos minerales sólidos entre arena y limo, que se originan en el proceso de espesamiento y se producen, transportan y depositan en forma de lodos.

Los relaves son los residuos del proceso de procesamiento de minerales de la concentradora, casi siempre se transportan desde la concentradora en forma de pulpa (una mezcla de agua y sólidos) a través de ductos, con una concentración que oscila entre el 20% y el 50% en un tanque. llamado espesante Después de recuperar algo de agua de proceso, calcule los sólidos por peso. En la deposición de relaves, la lechada se descarga desde la parte superior de la presa y, a medida que los sólidos se depositan, se forma una playa de suave pendiente a partir de la lechada descargada, que se extiende desde el punto de descarga hasta el tanque de sedimentación. Se acumula y se recicla al concentrador o se descarga al cuerpo receptor, que puede ser un arroyo, río o laguna (Calancha Mamani, 2018, p 38).

Los relaves consisten en lo siguiente:

Sólidos en suspensión: compuestos de ganga y cantidades muy pequeñas de sustancias valiosas. Por lo general, la parte sólida es roca triturada similar a la arena, insoluble en agua, y su composición metálica no sufre cambios químicos. Una solución de metal de pequeña concentración de una planta de flotación.

Reactivos utilizados en el proceso: ¿Cuáles son los reactivos químicos utilizados en la flotación; cianuro de sodio, ditiofosfato, xantato, cromato, sulfito, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácido graso, alcohol, aceite y ajustadores de pH: como cal, hidróxido de sodio, ¿piedra caliza?, carbonato de sodio, ácido sulfúrico y / o sulfuro de sodio, etc., dependiendo de los requerimientos metalúrgicos específicos de cada operación.



El tamaño del sedimento de relaves determina el tiempo de retención, que se utiliza para precipitar partículas finas (sólidos en suspensión) de los relaves y la descomposición de cianuro y compuestos orgánicos.

La mayoría de los agentes de flotación existen en una forma que no es tóxica para los seres humanos y los organismos acuáticos. Normalmente se utilizan en pequeñas concentraciones en funcionamiento. Estos reactivos orgánicos de flotación se descomponen rápidamente y rara vez son responsables de un impacto ambiental grave.

Los relaves producidos por la extracción de metales básicos (cobre, plomo y zinc) y metales preciosos (oro, plata) son los principales relaves de la industria minera del Perú. Si el agua de descarga del estanque de relaves no cumple con los límites máximos permitidos, se debe realizar un tratamiento adicional, dependiendo de los parámetros que excedan estos límites.

2.2.10. Producción de relaves

Desde su inicio en 1995, la tecnología de producción de relaves densos o relaves espesados en condiciones de humedad extremadamente baja ha avanzado muy rápidamente, presenta ventajas técnicas y económicas y considerables beneficios ambientales en el campo del tratamiento de residuos mineros (Calancha Mamani, 2018, p 39).

Hoy en día, las presiones legislativas y ambientales, la necesidad de proteger los recursos hídricos y los ahorros de capital hacen más atractiva la disposición en el suelo de los relaves espesados.

En el proceso de concentración, los relaves pasan por el concentrador y las partículas sólidas se depositan en el fondo, luego se extraen con mayor densidad en la descarga y finalmente se descargan al área de tratamiento. La mayor parte del agua de



proceso se extrae de la parte superior del espesante y se devuelve a la fábrica. La principal diferencia entre el concepto de manejo de relaves convencional y el concepto de manejo de relaves concentrados o relaves blandos es que en el sistema de disposición de relaves convencional, la naturaleza de los relaves la determina la planta de procesamiento, por lo que todos los cofferdams, estructuras de control, sistemas de transporte, etc. deben diseñarse de acuerdo con las que imponen sus propias propiedades; por otro lado, en los sistemas de tratamiento de relaves espesados o blandos, las características de los

relaves están diseñadas para cumplir con la topografía del área de tratamiento de una manera más segura y amigable con el medio ambiente.

2.2.11. Tipos de relaves

Debido a su situación en ese momento, pueden ser:

- Relaves activos u operativos

Relaves que están en operación o son parte de una operación minera activa.

- Relaves no activos

Relaves que no fueron operados durante el proceso de cierre o reapertura

- Relaves abandonados

Relaves abandonados o en desuso. Muchos de estos son peligros reales para la población y el medio ambiente.

Los relaves también se pueden expresar de la siguiente manera:



Figura 4. Presa de relaves Cori Puno.

Tabla 2. Tipificación del relave.

| Tipos de relaves. | |
|-------------------------------------|--|
| Por su naturaleza química | <ul style="list-style-type: none">• Alcalinos• Ácidos |
| Por su granulometría | <ul style="list-style-type: none">• Gruesos• Finos |
| Según el proceso metalúrgico | <ul style="list-style-type: none">• Flotación• gravimétrica• Cianuración• lixiviación |

Fuente: UNSA Palli Calla Rene.

2.2.12. Rangos de espesamiento

El rango de espesamiento de la pulpa es en función de la cantidad de agua que se puede extraer durante el proceso de espesamiento, y generalmente se ve afectado por la distribución del tamaño de partícula, mineralogía, tipo de floculante utilizado, dilución previa, etc. (Calancha Mamani, 2018, p 41).

Pruebas hechas en los tipos de relaves y plantas de procesamiento de todo el mundo, incluidos los relaves de oro, plata, cobre, estaño, zinc, bauxita, fosfato y diamante.

Comprobó la viabilidad de la producción de relaves concentrados. Cualquier operación existente puede realmente realizar la conversión de concentración tradicional a concentración, pero el requisito más importante es un contenido de polvo fino de al menos el 15% (menos de 20 micrones) para garantizar una buena portabilidad y consistencia.



Figura 5. Diagrama simplificado de los rangos de espesamiento.

Fuente: tomado Golden (2005^a:2)

Cada relave es diferente, por lo que no se indica el porcentaje de sólidos de todos los materiales. La transición de la pulpa convencional a la pulpa o pasta espesada es en realidad el contenido de sólidos de la pasta del 40% al 90% en peso de sólidos. Varía debido a mineralogía, distribución del tamaño de partícula, contenido de arcilla, forma de partícula, fuerza electrostática y cantidad de floculante. Este concepto es crucial al comparar los procesos de espesamiento de otros materiales.

Tabla 3 Rango Próximo De Relave En La Alimentación Y La Descarga.

| Aplicación | Alimentación % sólido | Descarga % sólido |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Carbón | 0.5 – 6 | 20 – 40 |
| Concentrado de cobre | 15 – 30 | 50 – 70 |
| Relave de cobre | 10 – 30 | 45 – 65 |
| Cianuración de oro | 10 – 25 | 50 – 65 |
| Concertados de hierro | 15 – 25 | 50 – 65 |
| Relaves de hierro | 10 – 20 | 40 – 60 |
| Hidróxido de magnesio | 3 – 10 | 15 – 30 |
| Lamas de fosfato | 1 – 5 | 10 – 16 |



| | | |
|------------------------------------|---------|---------|
| Lamas de ceniza de soda | 1 – 2 | 10 – 20 |
| Mineral de uranio | 15 – 25 | 40 - 60 |

Fuente: UNSA Palli Calla Rene.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Recolección procesamiento y análisis de la información

A continuación, se mencionan los materiales utilizados en la recolección, procesamiento y análisis de información para el inicio de las pruebas experimentales.

- laptop Toshiba
- USB 32 GB
- Cámara fotográfica
- Material bibliográfico
- Internet

3.1.2. Equipos para muestreo

A continuación, se mencionan los equipos utilizados en el muestreo realizado en campo.

- Muestreadores de 1L
- Baldes de 20 L
- Guantes de nitrilo 4 pares

3.1.3. Equipos para monitoreo en campo

A continuación, se mencionan los equipos utilizados en el respectivo monitoreo utilizado en campo.

- Balanza marcy
- pH-metro METTER TOLEDO



- Turbidímetro

3.1.4. Materiales y equipos para prueba de jarras

A continuación, se mencionan los materiales y equipos utilizados para las pruebas de laboratorio (jar-tes)

- Probetas de 1000 ml
- Vasos precipitados de 200 ml
- Pipeta de 20 ml
- Balde de plástico de 20 L
- Cronometro
- Balanza analítica
- Guantes nitrilo
- Cinta masque
- Agitadores eléctricos
- Jeringas de 10 ml
- Cronometro
- Plumones

3.1.5. Reactivos

A continuación, se mencionan los reactivos utilizados en las pruebas de sedimentación.

- Floculante IXOFLOC 1018
- Floculante IXOFLOC 6020
- Floculante IXOFLOC 1020
- Floculante AR18

3.1.6. Muestra

Para las pruebas de sedimentación se tomaron muestra

- 40 L de relaves de flotación

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Nivel de investigación

En la presente investigación se trabajó con el modelo, diseño en bloques completamente al azar (DBCA), se realizaron 16 pruebas de sedimentación. Se evaluó la eficiencia de los flocculantes para poder determinar los resultados de sedimentación y analíticos porque en el planteamiento de problema se establece el tratamiento adecuado para poder lograr y mejorar la sedimentación de los sólidos totales en suspensión y reducir la turbidez de la solución, utilizando A los reactivos flocculantes en la Unidad Minera Cori Puno S.A.C.

Para poder medir, analizar, describir y explicar la interrelación de las variables que describen: variable independiente (causa) evaluar los reactivos de sedimentación, como variable dependiente (efecto) para optimizar el tratamiento de relaves de flotación de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C.

Tabla 4. Modelo de diseño experimental bloques completamente al azar

| TRATAMIENTO | | BLOQUES | | | | |
|-------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | ... | b |
| 1 | 1 | Y ₁₁ | Y ₁₂ | Y ₁₃ | ... | Y _{1b} |
| 2 | 2 | Y ₂₁ | Y ₂₂ | Y ₂₃ | ... | Y _{2b} |
| 3 | 3 | Y ₃₁ | Y ₃₂ | Y ₃₃ | ... | Y _{3b} |
| 4 | K | Y _{K1} | Y _{K2} | Y _{K3} | ... | Y _{kb} |

Fuente: Elaboración propia



3.2.2. Tipo de investigación

En esta investigación que se realizó es de tipo experimental; porque en el objetivo que se planteó la evaluación de la sedimentación de los relaves de flotación y a su vez el resultado de turbidez de cada prueba en los distintos tipos de concentraciones, utilizando como reactivo principal los floculantes seleccionados y comparado con el actual floculante utilizado en el espesador Westech del área de planta filtrado.

3.3. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. que está ubicada al norte del departamento de Puno en el distrito de Quiaca, con una altitud de 4300 m.s.n.m. en planta concentradora y laboratorio metalúrgico,

3.4. POBLACION Y MUESTRA

3.4.1. Población

El análisis de la población está constituido por los relaves de los procesos de molienda, gravimetría y flotación, de los minerales auríferos que ya fueron procesados en la planta concentradora de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C.

3.4.2. Muestra

La muestra que se consideró en esta prueba de sedimentación fue consistida por las pulpas de relave de flotación el cual fue muestreado del cajón de relave, relave que va directo al espesador Westech del área de planta filtrado de los procesos metalúrgicos de la planta concentradora de minerales de CORI PUNO.



3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Se utilizó la estadística descriptiva el que nos permitió y ayudo recolectar, organizar y presentar en forma de tablas y también los gráficos, los datos numéricos; que nos permitió sacar conclusiones acerca de una población usando los datos de la muestra que se tomó de ellas, en donde se aplicó el programa computarizado MICROSOFT EXCEL

3.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.6.1. Variable independiente

Evaluación de la sedimentación

3.6.2. Variable dependiente

Optimizar el tratamiento de relaves de flotación de minerales auríferos

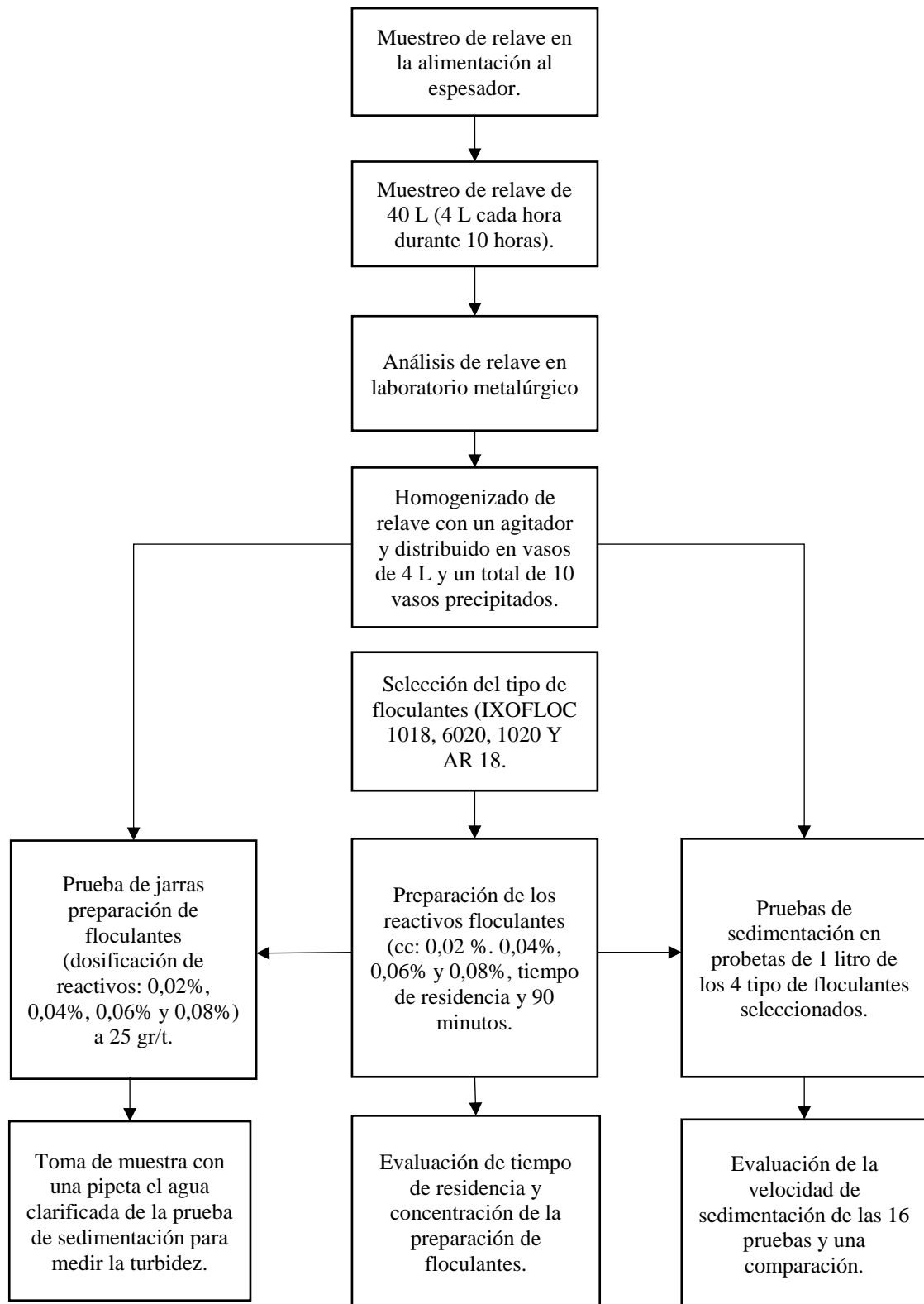


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso experimental.



3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION

Para la recolección de datos y procesamiento de datos se realizó en forma manual con sistema computarizada, ya una vez que se realizó el muestreo de 40 litros en baldes de 20 litros de las muestras de relaves de flotación. Se traslado al laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. para iniciar la caracterización y pruebas experimentales de sedimentación y así mismo se preparó los reactivos floculantes proporcionados por la unidad minera.

3.7.1. Caracterización de relaves de flotación

La caracterización de los relaves de flotación es sumamente importante para el resultado final que se obtuvo de las pruebas de sedimentación. Esta información nos debe garantizar que la muestra que evaluaremos sea muy representativa, lo que nos dará una correcta comparación y selección de los productos, reactivos floculantes, que utilizaremos en los procesos físicos de la sedimentación de los relaves de flotación.

Los parámetros más importantes a determinar antes de iniciar las pruebas de sedimentación de relaves de flotación en probetas son. Determinación de porcentaje de sólido, medición de pH, medición de los NTU de agua recuperada de espesador, gravedad específica.

3.7.1.1. *Muestreo de relaves de flotación que ingresan al espesador*

Se realizó el muestreo, cada 1 hora, de 4 litros durante 10 horas de los relaves que van directamente al espesador, finalizando el muestreo se obtuvo un total de 40 litros de relaves de flotación.



Figura 7. Homogenizado de relave para poner a las probetas de un litro.

Tabla 5. Horas de muestreo de relaves de flotación durante 10 horas

| ITEN | HORA | LITROS |
|------------------------------|---------------|------------------|
| Muestreo 1 | 08:00:00 a. m | 4 litros |
| Muestreo 2 | 09:00:00 a. m | 4 litros |
| Muestreo 3 | 10:00:00 a. m | 4 litros |
| Muestreo 4 | 11:00:00 a. m | 4 litros |
| Muestreo 5 | 12:00:00 p. m | 4 litros |
| Muestreo 6 | 01:00:00 p. m | 4 litros |
| Muestreo 7 | 02:00:00 p. m | 4 litros |
| Muestreo 8 | 03:00:00 p. m | 4 litros |
| Muestreo 9 | 04:00:00 p. m | 4 litros |
| Muestreo 10 | 05:00:00 p. m | 4 litros |
| Total, de Muestras en litros | | 40 litros |

3.7.1.2. Preparación de muestras de relaves

Obtenido el muestreo de los 40 litros de relaves de flotación de minerales auríferos, fueron llevados al laboratorio metalúrgico de Cori Puno, posterior a ello se homogeniza la muestra con un agitador mecánico de paletas y se fracciona en 10 vasos de 4 litros, de igual forma se homogeniza y se toma exactamente 1 litro de pulpa con el fin de determinar: porcentaje de sólido, gravedad específica, densidad de pulpa, pH, análisis granulométrico

3.7.1.3. *Determinación de gravedad específica*

La determinación de gravedad específica se realiza con el método de la fiola, esta prueba se realiza 3 veces para tener un dato exacto.



Figura 8. Gravedad específica de relave.

3.7.1.4. *Caracterización metalúrgica de relaves muestreados*

Para esta caracterización iniciamos con la determinación de pulpa, luego se procede con el secado de muestras de 1 litro de volumen en la estufa para determinar peso específico entre otras características físicas en la muestra de la pulpa.

Tabla 6. Caracterización de relave de flotación.

| DATOS DE RELAVE Y AGUA RECUPERADA | | |
|--|---------------|----------------------------|
| Descripción | Unidad | Relave de flotación |
| G. e | g/cc | 2,70 |
| D. pulpa | g/L | 1230 |
| % solido | % | 27.19 |
| Volumen | Lt | 1 |
| P. pulpa | Kg | 1224.0 |
| P. seco | Kg | 0,3329 |
| Ph-metro | pH | 5.63 |
| Turbidez | NTU | 98 |

Fuente: elaboración propia



3.7.2. Selección de floculante

La clasificación de los reactivos floculantes para las pruebas experimentales se basa en procesos empíricos, realizados en base preselección basada en la experiencia de usos de floculante del área de planta filtrado, debido a que es difícil determinar cuál reactivo floculante es el más óptimo para una buena sedimentación de sólidos y una muy buena calidad de agua recuperada viendo su turbidez.

Los floculantes seleccionados para las pruebas de sedimentación, tienen las propiedades principales de ser polímeros sintéticos de muy alto peso molecular y solubles en agua. Estos floculantes sintéticos incluyen tipos no iónicos, aniónicos y catiónicos, con diferentes tamaños moleculares, todos los cuales pueden proporcionar el mejor rendimiento en cualquier tipo de suspensión

Con los fines de comparar, las condiciones de los relaves, dosificación, porcentaje de concentración y principalmente los resultados de turbidez que se darán en NTU.

Seguidamente se presentan las condiciones que se mantuvieron casi constante durante las pruebas de nuestra aplicación:

Los reactivos seleccionados fueron:

- Floculante IXOFLOC 1018
- Floculante IXOFLOC 6020
- Floculante IXOFLOC 1020
- Floculante AR 18

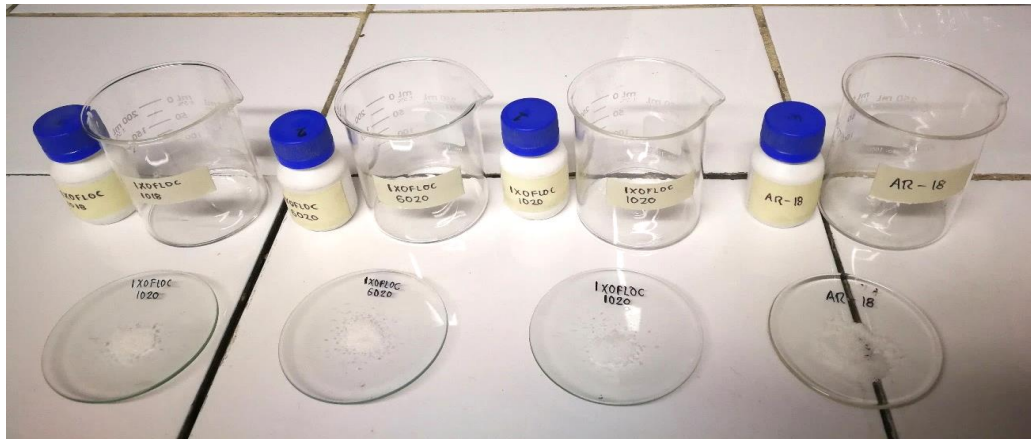


Figura 9. Reactivos floculantes seleccionados para la sedimentación.

3.7.3. Preparación de los floculantes

Teniendo los reactivos floculantes facilitados por la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. para pesar el floculante se utilizó una balanza analítica digital de precisión e iniciamos el pesado a las concentraciones indicadas en la tabla, y posterior a ello iniciamos la dilución en vasos precipitados de 200 ml y lo agitamos a 200 rpm en un agitador mecánico durante 90 minutos, al igual que el tiempo de residencia de relave en el espesador Westech.



Figura 10. Dilución de los reactivos floculantes.

3.7.4. Dosificación de los reactivos floculantes

Ya teniendo las probetas con relave de flotación, se inicia la dosificación de floculante, empezando su dosificación de la concentración menor a mayor, realizando a base de cálculos por cada tonelada de relave espesado en base seca y se dosifica en jeringa de acuerdo a las concentraciones planteadas.

En la siguiente tabla se aprecia los reactivos que se usó en esta prueba experimental, en la cual se varia cuatro tipos de concentraciones que en el cálculo matemático se realizó nos da diferentes pesos de reactivo en base a su concentración calculado, y así se obtuvo diferentes dosificaciones para cada litro de relave que se pondrá en las probetas, se observa los resultados ya calculados en la tabla 7.

Tabla 7. Reactivos seleccionados, concentraciones y dosificaciones (cálculos en anexo 2)

| Concentraciones | | 0,02 % | 0,04 % | 0,06 % | 0,08 % |
|-----------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| REACTIVOS | IXOFLOC 1018 | 0,04 g | 0,08 g | 0,12 g | 0,16 g |
| | IXOFLOC 6020 | 0,04 g | 0,08 g | 0,12 g | 0,16 g |
| | IXOFLOC 1020 | 0,04 g | 0,08 g | 0,12 g | 0,16 g |
| | AR 18 | 0,04 g | 0,08 g | 0,12 g | 0,16 g |
| | Dosificación para 1 litro | 41 ml | 20 ml | 13 ml | 10 ml |

Fuente: elaboración propia

3.7.4.1. Determinación experimental de la velocidad de sedimentación

para este procedimiento de la determinación u obtención de los resultados de cada reactivo floculante en base a sus concentraciones y dosificaciones, ya teniendo las probetas con la pulpa de relaves iniciamos con los procedimientos

la forma de operar con cada una de las probetas es la siguiente:

Se mide la altura inicial de la suspensión, H_0 usando una cinta masque que es pegado a cada probeta, que nos servirá como regla para anotar

Se inicia la dosificación de los reactivos floculantes en jeringas de acuerdo a las concentraciones y se agita intensamente con una varilla para que la pulpa de relave y floculante sea lo más uniforme posible al o largo de todas las probetas.

Se deja las probetas en estado de reposo y así se va determinando la altura que ocupa la suspensión en función del tiempo, y para ello se va tomado medidas de la altura de suspensión en cada centímetro que va descendiendo el sólido,



Figura 11. Altura de sedimentación de relaves.

Ya realizada las determinadas las parejas de valores de altura en función del tiempo, se utiliza el método de coe clewenger para determinar el tiempo de sedimentación de las pruebas realizadas.

Se realiza el ensayo con suspensiones de concentración en base al punto inicial, para cada una de estas concentraciones iniciales se obtiene las parejas de valores (h,t) y la correspondiente curva de sedimentación.

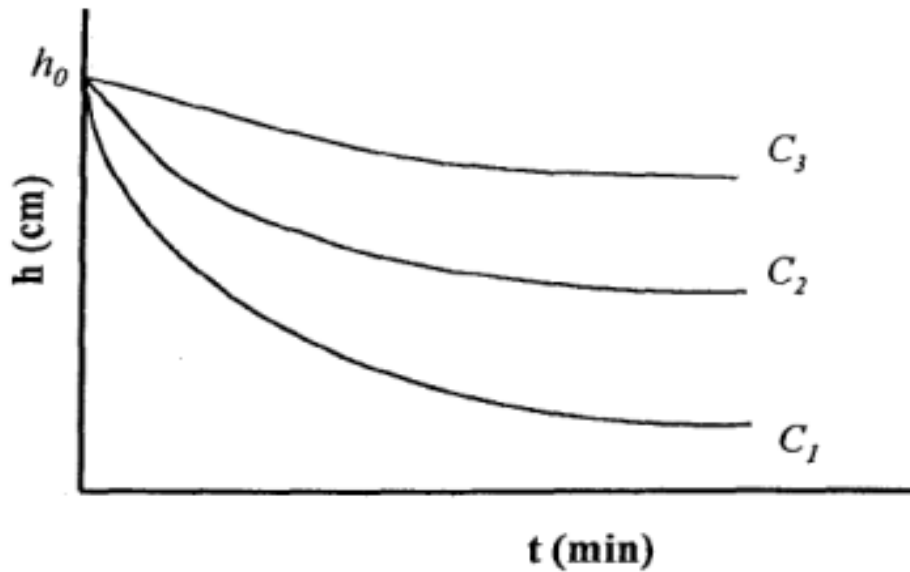


Figura 12. Curva de sedimentación.

Una vez realizada la presentación gráfica de la variación de la altura frente al tiempo, se calcula la

velocidad la velocidad de sedimentación en función de la concentración para esto utilizaremos el método de coe clevenger, el cual consiste en estimar, a partir de los datos experimentales de las cuales se obtuvieron de las distintas concentraciones y dosificaciones iniciales, los datos de las pendientes en origen, $-(dh/dt)$ que coinciden con las velocidades de sedimentación (v).

Cálculo de la velocidad de sedimentación con los datos que se obtuvieron de las experiencias anteriores realizadas en laboratorio metalúrgico.

Este cálculo se repite para las 16 pruebas de sedimentación de los reactivos floculantes, IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18 floculante actualmente usado en planta filtrado, área espesador.

3.7.4.2. Muestreo de la solución de cada muestra

El último paso de las pruebas experimentales es donde se toma muestra de la solución clarificada de las pruebas realizadas de cada probeta con una pipeta de 20 ml.



Figura 13. Extracción de la solución sedimentada, para su lectura de turbidez.



CAPITULO IV

RESULTADO Y DISCUSION

4.1. RESULTADO DE PRUEBAS

4.1.1. Ensayos de sedimentación

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de sedimentación en donde se seleccionó dentro de un rango diferente de floculantes el mejor de su serie, en donde el criterio que se tomó para la determinación de la dosificación óptima de los reactivos floculantes está basado en la determinación de la velocidad de sedimentación, (o tasa de alimentación) de la muestra representativa de relave de flotación a 25 gr/t de reactivo floculante. Para tal caso los floculantes seleccionados son IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 Y AR 18 actual floculante utilizado en espesador.

4.2. RESULTADOS LOGRADOS

Con las pruebas experimentales ejecutadas a nivel de laboratorio se evaluó la eficiencia de los floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 y AR 18 se basó en la determinación de la velocidad de sedimentación y así mismo el resultado de la turbidez de solución de cada prueba realizada según su concentración.

4.2.1. Resultados de la prueba P1 (concentración 0,02%)

En la actualidad la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. S.A.C., utiliza el reactivo floculante AR 18 en el tratamiento y espesamiento de relaves de flotación. Su uso de este reactivo se da directamente en el espesador Westech

En la tabla 8 se aprecia que para la determinación de la velocidad de sedimentación usando los floculantes.

Tabla 8. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación.

| PRUEBA P1 VELOCIDAD DE SEDIMENTACION (concentración 0,02%) | | | | | |
|--|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| NUMERO | INICIAL | IXOFLOC 1018 | IXOFLOC 6020 | IXOFLOC 1020 | AR 18 |
| | (cm) | (min) | (min) | (min) | (min) |
| 1 | 30 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 29 | 1,25 | 2,05 | 5,85 | 1,10 |
| 3 | 28 | 3,85 | 4,45 | 6,62 | 1,95 |
| 4 | 27 | 6,12 | 7,18 | 8,95 | 3,10 |
| 5 | 26 | 7,88 | 9,92 | 9,95 | 4,12 |
| 6 | 25 | 9,62 | 12,33 | 11,23 | 4,98 |
| 7 | 24 | 11,62 | 15,23 | 13,52 | 5,88 |
| 8 | 23 | 13,23 | 17,42 | 15,72 | 6,63 |
| 9 | 22 | 15,83 | 19,95 | 17,03 | 7,33 |
| 10 | 21 | 17,72 | 22,50 | 19,17 | 7,97 |
| 11 | 20 | 19,25 | 24,40 | 21,22 | 8,62 |
| 12 | 19 | 20,80 | 26,50 | 23,67 | 9,02 |
| 13 | 18 | 22,28 | 28,52 | 26,92 | 10,25 |
| 14 | 17 | 23,58 | 30,25 | 27,95 | 11,63 |
| 15 | 16 | 24,68 | 32,15 | 29,52 | 13,83 |
| 16 | 15 | 25,78 | 33,63 | 31,97 | 17,58 |
| 17 | 14 | 28,03 | 35,67 | 35,82 | 23,27 |
| 18 | 13 | 35,47 | 40,27 | 42,40 | 30,42 |
| 19 | 12 | 48,85 | 50,32 | 51,28 | 41,08 |
| 20 | 11 | 74,30 | 72,45 | 65,25 | 60,00 |
| 21 | 10 | 90,00 | 90,00 | 75,95 | 90,00 |
| 22 | 9 | | | 90,00 | |

FUENTE: elaboración propia

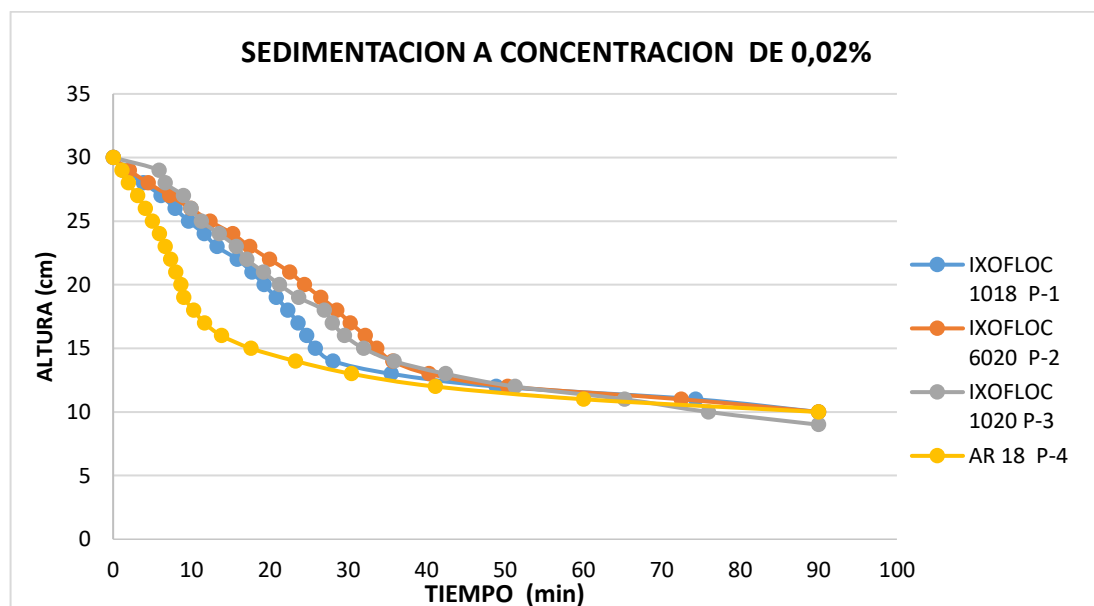


Figura 14. Desplazamiento de velocidades de sedimentación a concentración de 0,02 %.

4.2.2. Análisis y resultados de la prueba P1

Las velocidades de sedimentación obtenidas de cada reactivo floculante se muestran en la figura 14. En esta prueba inicial se evaluaron a los floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 comparados con el floculante de uso actual AR 18, la cual es el reactivo actual usado en el espesador, estas pruebas se realizaron a una concentración de 0,02% con la finalidad de comparar su tiempo de sedimentación con los floculantes ya mencionados y posteriormente ver la turbidez de cada prueba realizada.

Los resultados evaluados de los 4 tipo de reactivos floculantes que se representa en la figura 14 se observa que el floculante que sedimenta con el mejor tiempo es el AR 18. Que supera a los floculantes seleccionados, en velocidad de sedimentación de 30 a 15 centímetros de altura, en 10 minutos ya que es muy ideal para ver las velocidades ya que estos tiempos se basan a los parámetros operacionales que se utiliza en la planta filtrado especialmente en el espesador westech.

4.2.3. Resultados de la prueba P2 (concentración 0,04%)

En la tabla 9 se observa que para determinar la velocidad de sedimentación usando los floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 y AR 18 se sigue el mismo procedimiento al igual que la prueba P1, para este caso la concentración es a 0,04%.

Tabla 9. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación.

| PRUEBA P2 VELOCIDAD DE SEDIMENTACION (concentración 0,04%) | | | | | |
|---|---------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Numero | INICIAL | IXOFLOC 1018 | IXOFLOC 6020 | IXOFLOC 1020 | AR 18 |
| | (cm) | (min) | (min) | (min) | (min) |
| 1 | 30 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 29 | 1,58 | 2,72 | 2,52 | 1,03 |
| 3 | 28 | 4,68 | 6,05 | 5,93 | 3,17 |
| 4 | 27 | 7,75 | 9,45 | 9,35 | 4,87 |

| | | | | | |
|----|----|-------|-------|-------|-------|
| 5 | 26 | 10,67 | 13,15 | 13,30 | 6,35 |
| 6 | 25 | 13,58 | 16,27 | 16,45 | 7,88 |
| 7 | 24 | 16,83 | 20,05 | 20,30 | 9,02 |
| 8 | 23 | 20,23 | 23,45 | 23,58 | 10,28 |
| 9 | 22 | 23,05 | 26,68 | 27,15 | 11,58 |
| 10 | 21 | 25,80 | 30,53 | 30,70 | 12,48 |
| 11 | 20 | 28,80 | 33,03 | 34,22 | 13,43 |
| 12 | 19 | 31,33 | 36,25 | 37,37 | 14,58 |
| 13 | 18 | 33,25 | 39,12 | 40,30 | 15,60 |
| 14 | 17 | 35,93 | 41,98 | 43,25 | 17,02 |
| 15 | 16 | 28,30 | 44,20 | 45,58 | 18,87 |
| 16 | 15 | 40,12 | 47,60 | 48,68 | 22,17 |
| 17 | 14 | 42,45 | 49,67 | 51,65 | 26,87 |
| 18 | 13 | 48,92 | 58,33 | 58,50 | 34,47 |
| 19 | 12 | 68,42 | 76,25 | 78,28 | 45,93 |
| 20 | 11 | 90,00 | 90,00 | 90,00 | 67,47 |
| 21 | 10 | | | | 90,00 |

FUENTE: elaboración propia

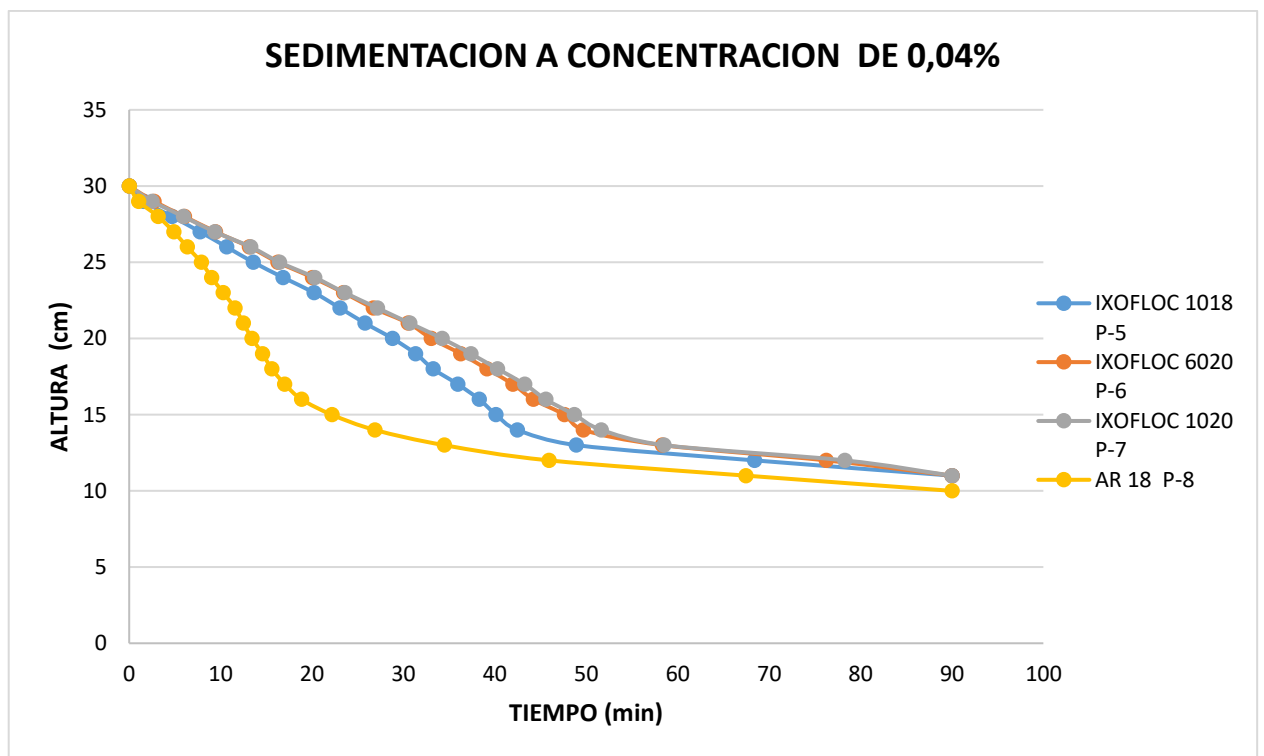


Figura 15. Desplazamiento de velocidad de sedimentación a concentración de 0,04 %.

4.2.4. Análisis y resultados de la prueba P2

En esta segunda prueba de igual manera se evaluaron los reactivos floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 1020 comparados con el floculante de uso actual AR 18 la cual es el reactivo actual usado en el espesador, en esta prueba experimental se eleva la concentración a 0,04% con la final posterior de lograr una mejor sedimentación de relaves de flotacion. En la figura 15 se observa que nuevamente el floculante AR18 tiene una sedimentación dando un resultado eficientemente de 30 a 15 centímetros de altura en promedio de 20 minutos Y seguidamente a ello el floculante IXOFLOC 1018 de igual manera estos datos son muy importantes para la optimización de los relaves de flotacion.

4.2.5. resultados de la prueba P3 (concentración 0,06%)

En la tabla 10 se observa que para determinar la velocidad de sedimentación usando los floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 y AR 18 se sigue el mismo proceso, pero se aumenta la concentración a 0,06%.

Tabla 10. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación.

| PRUEBA P3 VELOCIDAD DE SEDIMENTACION (concentración 0,06%) | | | | | |
|--|---------|--------------|--------------|--------------|-------|
| NUMERO | INICIAL | IXOFLOC 1018 | IXOFLOC 6020 | IXOFLOC 1020 | AR 18 |
| | (cm) | (min) | (min) | (min) | (min) |
| 1 | 30 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 29 | 2,50 | 2,97 | 4,33 | 3,28 |
| 3 | 28 | 5,25 | 5,87 | 8,10 | 6,20 |
| 4 | 27 | 8,28 | 8,88 | 11,58 | 9,28 |
| 5 | 26 | 11,07 | 11,92 | 15,12 | 12,10 |
| 6 | 25 | 13,63 | 14,90 | 18,75 | 14,95 |
| 7 | 24 | 16,82 | 18,02 | 22,10 | 17,88 |
| 8 | 23 | 19,43 | 21,13 | 25,55 | 20,33 |
| 9 | 22 | 21,95 | 24,08 | 28,82 | 23,57 |
| 10 | 21 | 24,53 | 26,92 | 32,25 | 26,22 |
| 11 | 20 | 26,72 | 29,50 | 35,02 | 29,00 |
| 12 | 19 | 28,95 | 31,95 | 37,77 | 31,28 |
| 13 | 18 | 30,67 | 34,53 | 40,27 | 33,72 |
| 14 | 17 | 32,33 | 36,42 | 42,68 | 35,90 |

| | | | | | |
|----|----|-------|-------|-------|-------|
| 15 | 16 | 34,25 | 38,42 | 44,95 | 38,03 |
| 16 | 15 | 36,47 | 40,88 | 47,48 | 40,40 |
| 17 | 14 | 41,88 | 45,08 | 51,78 | 43,42 |
| 18 | 13 | 55,73 | 54,03 | 68,25 | 50,12 |
| 19 | 12 | 80,00 | 75,02 | 90,00 | 66,83 |
| 20 | 11 | 90,00 | 90,00 | | 90,00 |

FUENTE: elaboración propia

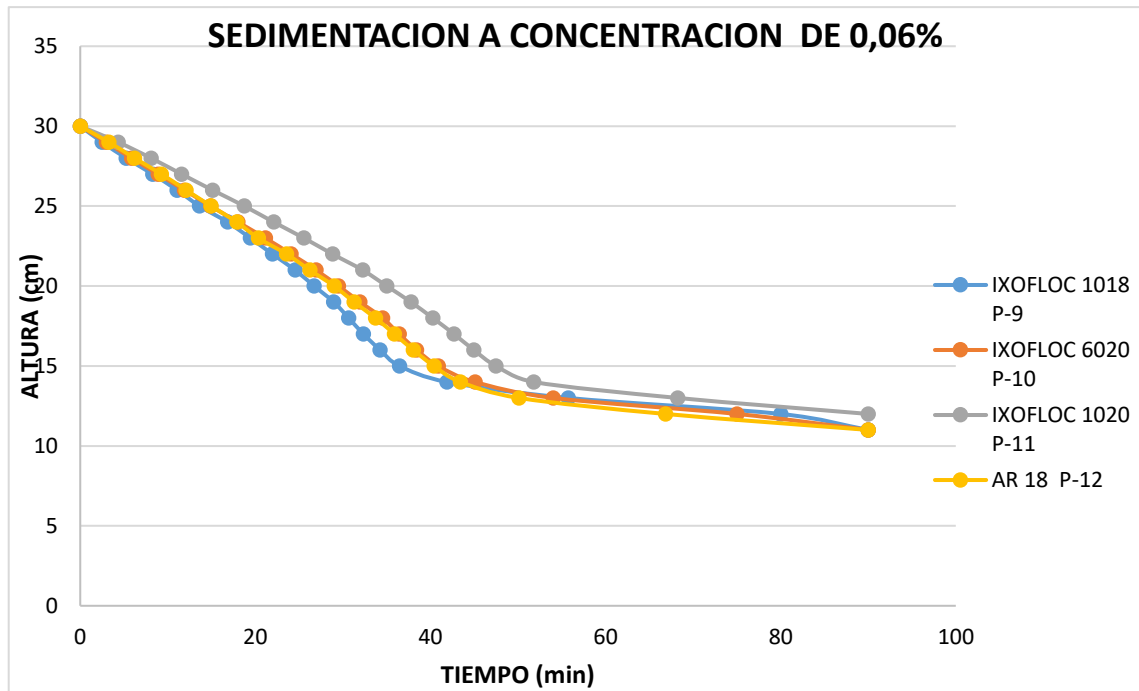


Figura 16. Desplazamiento de velocidad de sedimentación a concentración de 0,06 %

4.2.6. Análisis y resultados de la prueba P3

En esta tercera prueba experimental de igual manera se evaluaron los reactivos floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 1020 comparados con el floculante de uso actual AR 18 la cual es el reactivo actual usado en el espesador, en esta prueba experimental se eleva la concentración a 0,06% con la final posterior de lograr una mejor sedimentación de relaves de flotacion. En la figura 16, se observa que el floculante IXOFLOC 1018 tiene una mejor sedimentación dando un resultado eficientemente de 30 a 15 centímetros de altura en promedio de 35 minutos. Y seguidamente a ello el floculante AR 18 de igual manera estos datos son muy importantes

para la optimización de los relaves de flotación, de acuerdo a los parámetros operaciones del espesador.

4.2.7. Resultados de la prueba P4 (concentración 0,08%)

En la tabla 12 se observa que para determinar la velocidad de sedimentación usando los floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 y AR 18 se sigue el mismo procedimiento de la prueba anterior, pero se aumenta la concentración a 0,08%.

Tabla 12. Datos experimentales para la determinación de la velocidad de sedimentación

| PRUEBA P3 VELOCIDAD DE SEDIMENTACION (concentración 0,08%) | | | | | |
|---|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| NUMERO | INICIAL | IXOFLOC 1018 | IXOFLOC 6020 | IXOFLOC 1020 | AR 18 |
| | (cm) | (min) | (min) | (min) | (min) |
| 1 | 30 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 29 | 3,72 | 2,53 | 3,07 | 2,83 |
| 3 | 28 | 7,05 | 9,80 | 6,77 | 6,02 |
| 4 | 27 | 10,23 | 13,35 | 10,38 | 9,50 |
| 5 | 26 | 13,55 | 16,70 | 14,10 | 12,93 |
| 6 | 25 | 16,50 | 20,32 | 17,65 | 16,25 |
| 7 | 24 | 19,67 | 24,17 | 21,15 | 19,53 |
| 8 | 23 | 22,67 | 27,12 | 24,65 | 22,92 |
| 9 | 22 | 25,65 | 30,52 | 27,82 | 26,03 |
| 10 | 21 | 28,67 | 33,42 | 31,33 | 29,52 |
| 11 | 20 | 31,53 | 37,02 | 34,50 | 32,43 |
| 12 | 19 | 34,12 | 39,07 | 36,97 | 35,05 |
| 13 | 18 | 37,20 | 42,12 | 40,30 | 37,55 |
| 14 | 17 | 39,12 | 44,57 | 42,67 | 40,08 |
| 15 | 16 | 41,25 | 46,85 | 44,93 | 42,32 |
| 16 | 15 | 43,23 | 50,68 | 47,02 | 44,83 |
| 17 | 14 | 46,08 | 63,00 | 51,02 | 48,37 |
| 18 | 13 | 56,92 | 90,00 | 64,07 | 59,15 |
| 19 | 12 | 80,00 | - | 90,00 | 75,70 |
| 20 | 11 | 90,00 | - | - | 90,00 |
| 21 | 10 | - | - | - | - |

FUENTE: elaboración propia

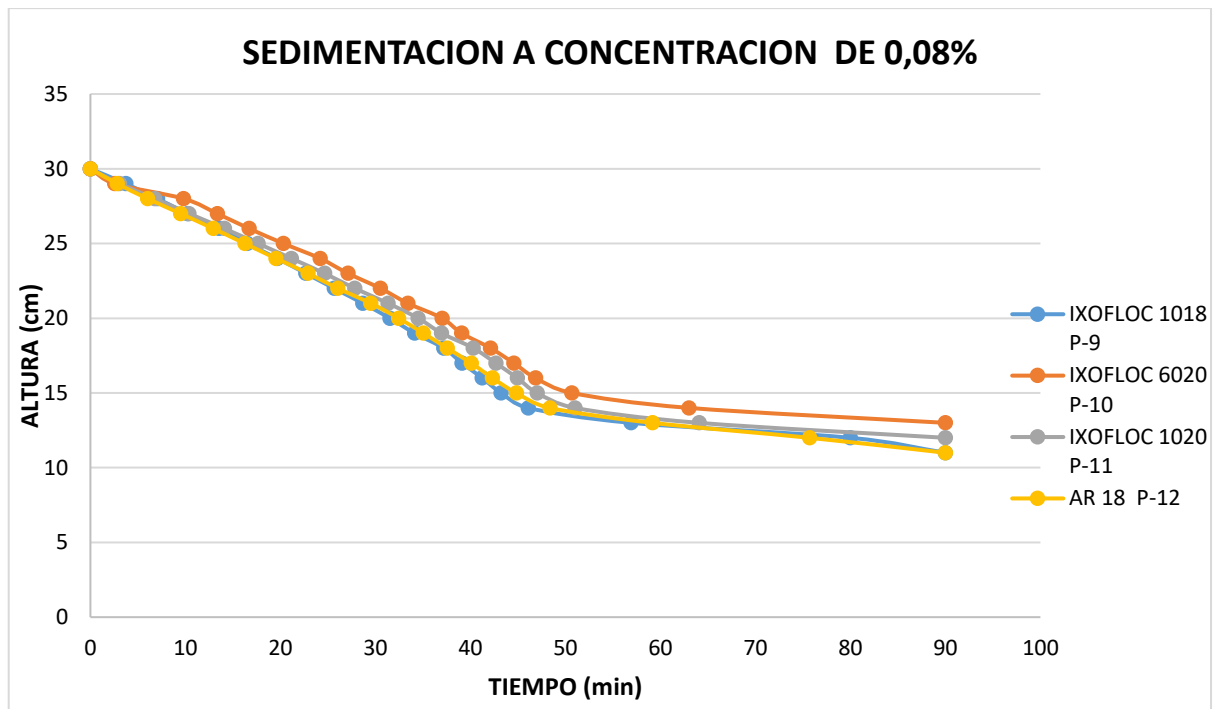


Figura 17. Desplazamiento de velocidad de sedimentación a concentración de 0,08 %.

4.2.8. Análisis y resultados de la prueba P4

En esta cuarta prueba experimental igualmente se evaluaron los reactivos floculantes IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 1020 comparados con el floculante de uso actual AR 18 la cual es el reactivo actual usado en el espesador, en esta prueba experimental se eleva la concentración a 0,08% con la final posterior de lograr una mejor sedimentación de relaves de flotación. En la figura 17, esta vez se observa que los cuatro floculantes sedimentan a concentración de 0,08% la velocidad de sedimentación disminuye considerablemente y los cuatro floculantes sedimentan muy a la par, sedimentan de 30 a 15 centímetros de altura en promedio de 45 minutos.

4.3. ANALISIS Y RESULTADOS DE LAS 4 PRUEBAS DE SEDIMENTACION

Los resultados de las pruebas de sedimentación que se muestran en las figuras, son del tiempo de sedimentación en cm/min. En donde la prueba que más interesa resaltar



es la que se trabajó a una concentración de floculante de 0,02% ya que supero a las tres concentraciones diferentes planteadas.

Finalmente se concluye que la prueba (P1, P2. P3. Y P4): el que presenta mejor sedimentación es el reactivo floculante AR 18, con una concentración 0,02 % sedimentando de 30 a 15 cm en 10 minutos y a concentración de 0,04 %, sedimentando de 30 a 15 cm en 20 minutos. Y seguidamente los reactivos propuestos por la unidad, sedimentan muy a la par y con un mayor tiempo, la cual no es óptimo, en las operaciones de espesamiento de relaves de flotación.

4.4. TURBIDEZ DE AGUA SEDIMENTADA DE LOS FLOCULANTES IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020 Y AR 18

Realizado las pruebas de sedimentación queda la solución que es el agua y se ubica en la parte superior de las probetas, se realiza un muestreo con una pipeta de cada prueba de sedimentación realizada que se hizo y se puso en bolsas de polietileno rotulando cuidadosamente de cada muestra tomada y posterior a ello se realizó las mediciones de turbidez (NTU) para luego tener un resultado optimo en agua clarificada la cual es muy importante la recirculación del agua en los procesos metalúrgicos de planta concentradora.

4.4.1. Resultados de turbidez de agua

En las siguientes figuras se muestra los resultados de turbidez (NTU) de las soluciones que se tomaron muestra de la parte superior de la probeta en prueba de sedimentación Y fueron analizados con un turbidímetro. Iniciando según su concentración,

A continuación, se muestran las imágenes de los resultados de turbidez según el reactivo y su concentración.

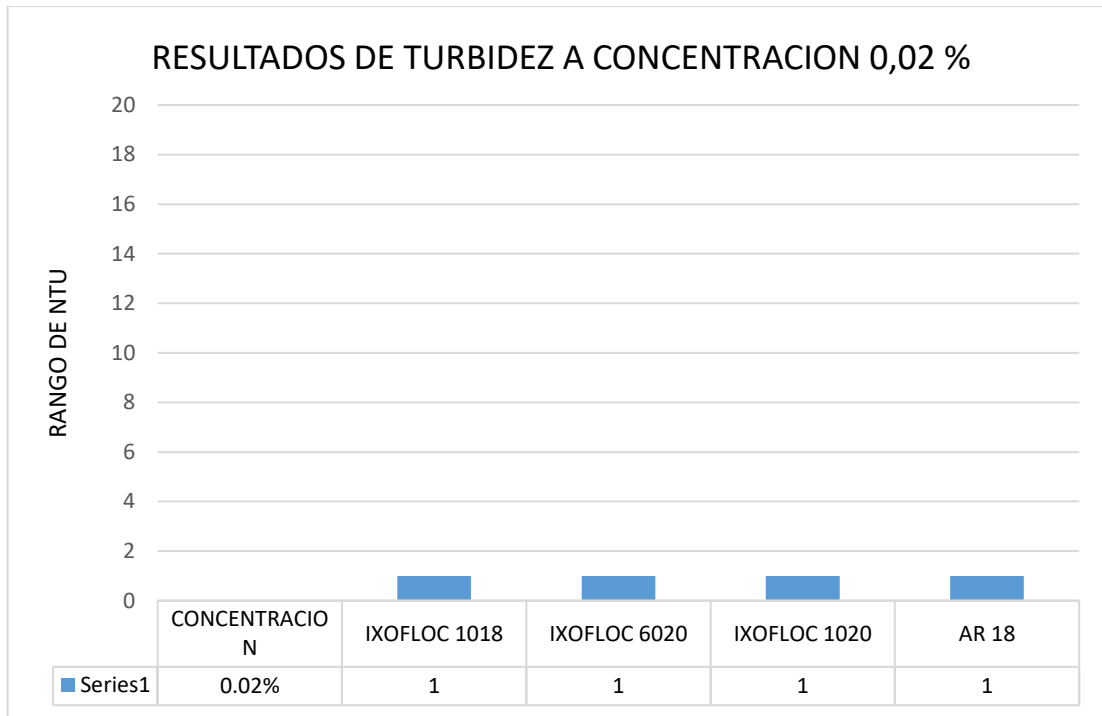


Figura 18. Resultado de turbidez a concentración de 0,02 %.

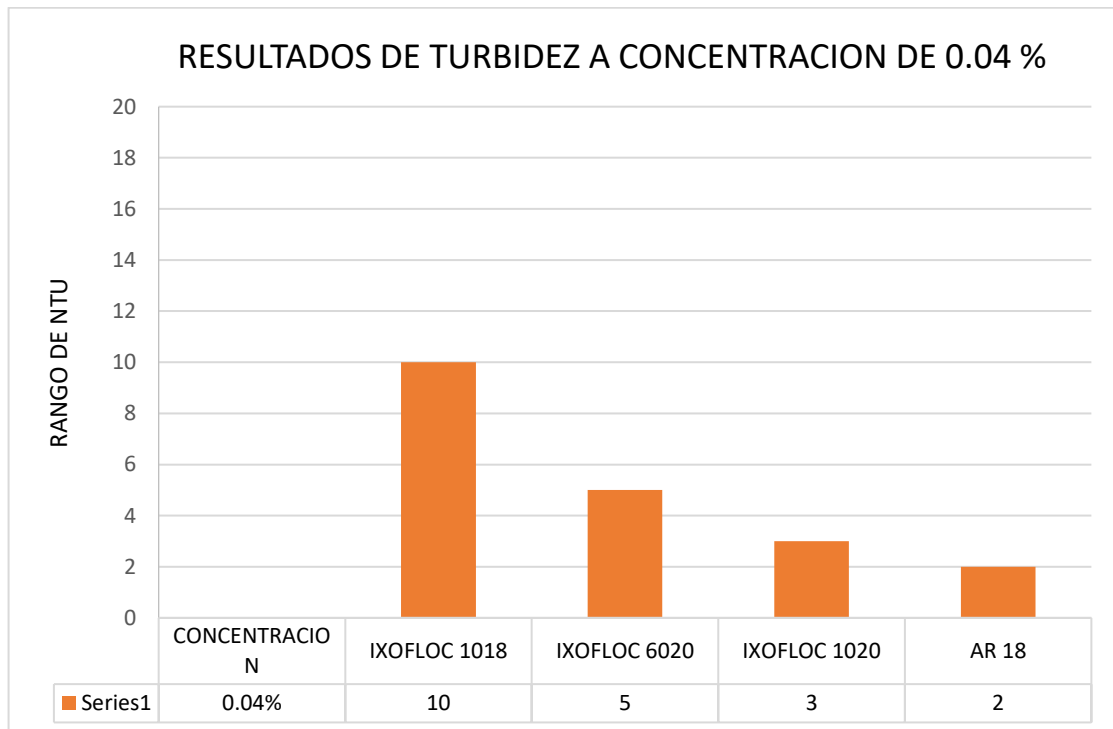


Figura 19. Resultado de turbidez a concentración de 0,04 %.

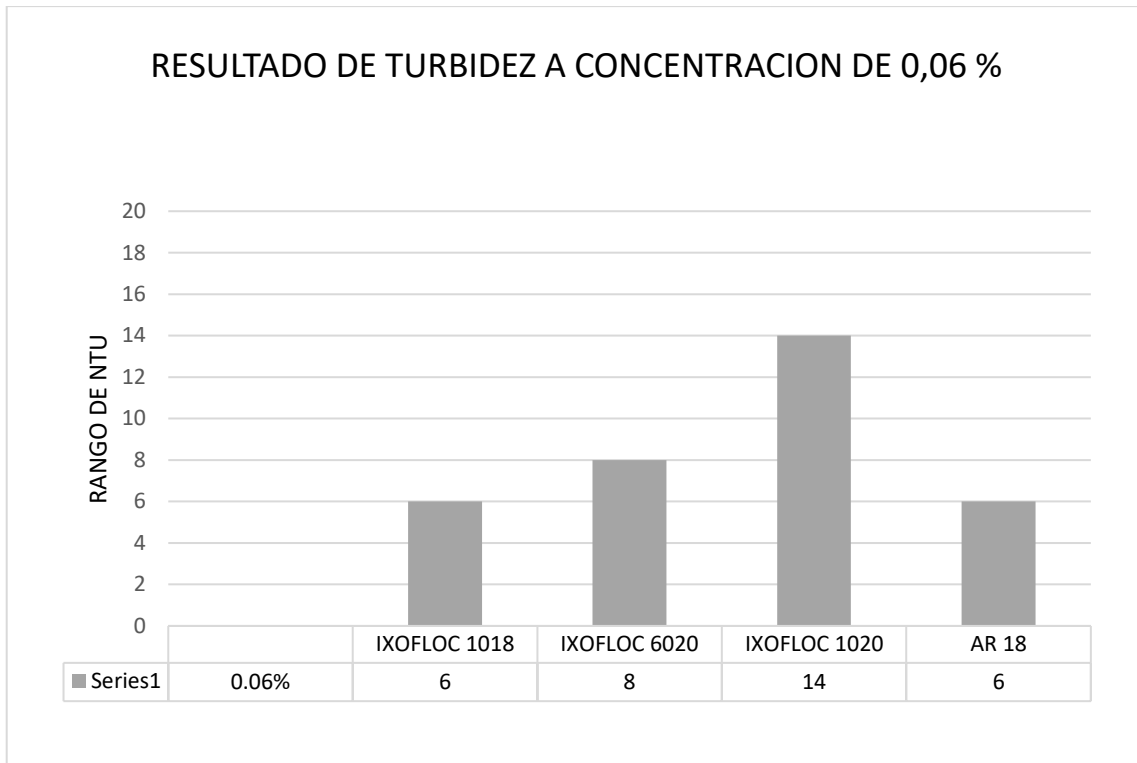


Figura 20. Resultado de turbidez a concentración de 0,06 %.

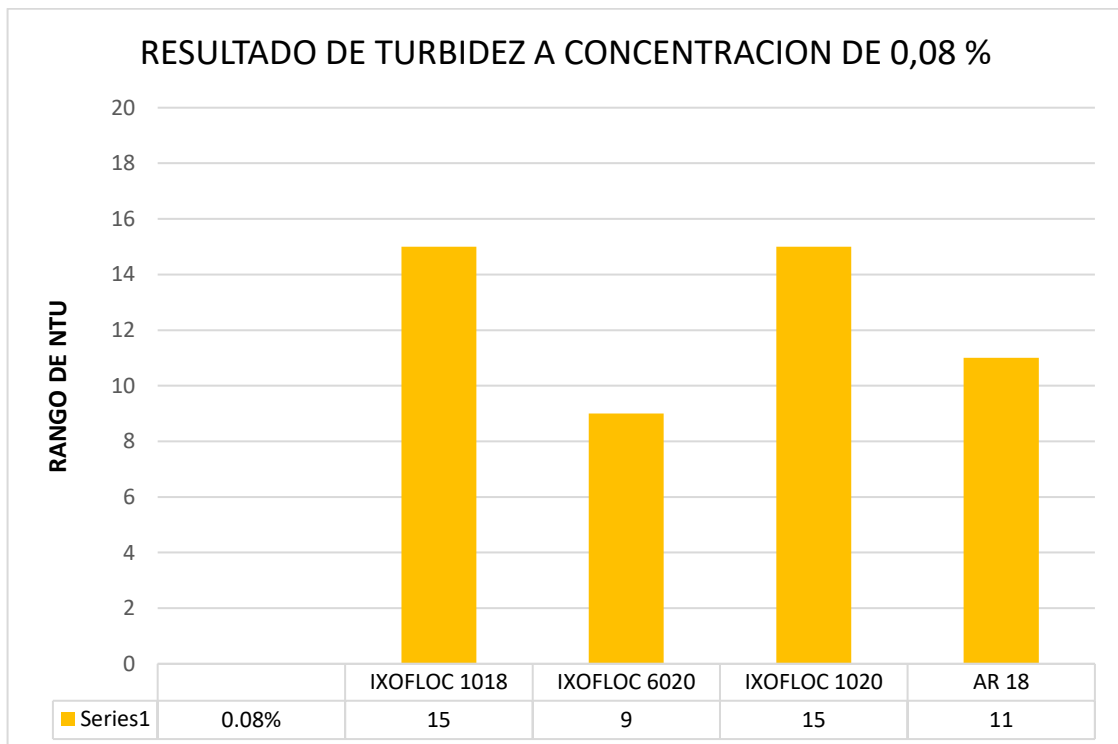


Figura 21. Resultado de turbidez a concentración de 0,08 %.

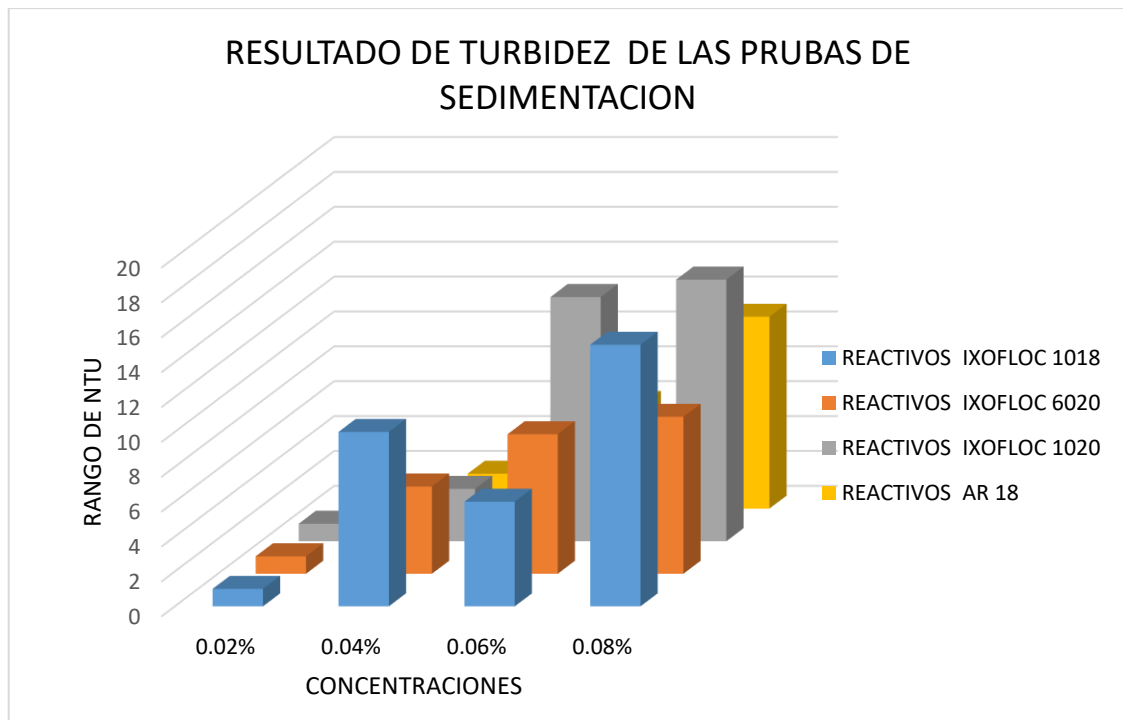


Figura 22. Resultados de turbidez de los reactivos seleccionados a diferentes concentraciones.

4.4.2. Análisis y resultado de turbidez de las pruebas de sedimentación

De acuerdo a las pruebas de sedimentación se evaluó la turbidez de las 16 pruebas realizado con cada reactivo floculante: IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020, y AR 18, variando las concentraciones (0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%).

Para determinar la turbidez de las pruebas, se consideró el tiempo de residencia del espesador que es 90 minutos, se obtiene los mejores resultados con la concentración de 0,02 % de los floculantes: IXOFLOC 1018, IXOFLOC 6020, IXOFLOC 1020, y AR 18, teniendo un resultado de 1 NTU. Y los resultados con las concentraciones (0,04%, 0,06% y 0,08%). son superiores a 1 NTU tal como se aprecia en la figura 22.



V. CONCLUSIONES

Las pruebas de sedimentación con los reactivos IXOFLOC 1018, IXOFLOC 1060, IXOFLOC 1020 y AR-18 mostraron que el floculante que sedimenta con el mejor tiempo es el AR 18 (25g/tn), respecto a los floculantes seleccionados, dichos resultados mostraron una velocidad de sedimentación de entre 1.5 a 3 cm/min y a su vez dando resultados de turbidez de agua con 1 NTU.

Las pruebas de sedimentación permitieron determinar que la concentración de floculante AR 18 optimo es 0.02% con pulpa de relave sin dilución el cual reduce el costo de operación debido a que actualmente se viene trabajando a una concentración de 0.025%.

Finalmente se concluye que para operaciones de sedimentación de relaves de la Unidad Minera Cori Puno no es necesario el cambio de reactivo floculante, sino el cambio de concentración del floculante AR 18 de 0.025% a 0.020%, porque da un excelente resultado en sedimentación, como en obtención de agua con turbidez de 1 NTU.



VI. RECOMENDACIONES:

Se recomienda realizar pruebas de sedimentación con otro tipo reactivo floculante como nuevas alternativas para optimizar a un más la sedimentación de relaves de flotacion para una mejora continua en planta filtrado.

Se recomienda realizar pruebas de sedimentación a 20 g/tn con el objetivo principal de reducir el exceso consumo de floculante y así mismo reducir los costos de compra de floculante.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ames Ramírez, J. C. (2012). *Control de variables en el espesador de cono profundo en la recuperación relaves altamente fluibles* (p. 2).
- Arismendi Aedo, N. A. (2018). *Identificación de los elementos de gangas que modifican las propiedades reológicas y sedimentológicas de los relaves complejos* (pp. 58–77).
<http://hdl.handle.net/11673/42206>
- Calancha Mamani, M. L. (2018). *Evaluación de la cinética de sedimentación y precipitación de metales para optimizar el tratamiento de pulpa de relaves de la Unidad Minera San Rafael Puno - Perú* (pp. 52–79).
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11519>
- Carhuamaca Celedonio, J. M. (2018). *Influencia de los relaves en pasta de la empresa Aurex S.A. en la reducción de impactos negativos al aire, agua y suelo en la comunidad de Yurajhuanca* (pp. 61–84).
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/270>
- Corichahua Condori, W. (2012). *Optimización del uso de relave -arena en el relleno hidráulico en U.E.A Parcoy de la empresa consorcio minero horizonte S.A.C.*
- Crespo Moreno, C. C., & Muñoz Blanco, A. K. (2021). *Estudio de parámetros operativos en espesador de relaves para mejorar calidad de agua recuperada y efluentes en Minera El Brocal S.A.A.* (pp. 37–58).
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16814>
- Fuenzalida Hidalgo, N. J. (2017). *Estudio y evaluación del sistema de espesadores de relave de la división andina mediante herramientas de simulación computacional* (pp. 32–70). <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147104>



- Gómez Paredes, P. (2012). *Evaluación pruebas de espesamiento de relaves en planta piloto* (pp. 37–49). <https://repositorio.uchile.cl>
- Julio, L. V. W. (2018). *Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras* (pp. 44–97). <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/878>
- Langlois Buchholtz, J. I. (2018). *Desarrollo e implementación de un simulador dinámico del proceso de producción de relaves en pasta para aplicaciones de control* (pp. 88–113). <http://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/21925>
- Mamani Diaz, Y. A. (2018). *Estudio de la sedimentación en espesador de concentrado en la minera aurifera Retamas S.A* (pp. 1–79). <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7508>
- Mora Palomino, G. L. (2019). *Evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II. Sayán - Lima 2017* (pp. 48–54). <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3395>
- Ojeda Vázquez, P. (2014). *Diseño e implementación lógica de control experto en espesador de relaves -planta las tórtolas.*
- Olcay Barreda, R. H., Sales Valadão, G. E., & Hernández osorio, C. A. (2014). Características principales de pastas minerales de relaves de manganeso preparadas en espesador de escala de laboratorio. In *Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM* (Vol. 17, pp. 25–34). <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11381/102>



- Palli Calla, R. H. (2016a). *Dimensionamiento y optimización de un sedimentador convencional de relaves de cobre en una planta de procesamiento de 850 TMD* (pp. 90–99). <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1905>
- Palli Calla, R. H. (2016b). *Dimensionamiento y optimización de un sedimentador convencional de relaves de cobre en una planta de procesamiento de 850 TMD*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1905>
- Rodriguez Giron, C. P., & Vizcardo Cordero, E. (2019). *Propuesta de alternativa de filtrado de relaves con geotubos para el modelamiento geotécnico del dique 3 - mina Cerro Lindo* (pp. 49–55).
- Salinas Salas, G., & Espinosa Fuentes, F. (2012). *Evaluación experimental del comportamiento de la velocidad de sedimentación de partículas*. 11, 239–250. <http://www.scielo.org.co/scielo>.
- Santos Saavedra, G. D. (2019). *Optimización para la recuperación de agua a partir de los relaves de hierro y cobre mediante el uso de espesadores en la empresa minera Shouxin - 2018* (pp. 57–65). <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2996>
- Siuce Bonifacio, R. (2019). *Espesamiento de relave para la obtención de pasta de la compañía minera Caolín S.A.C -Pasco 2018* (pp. 72–110). <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3898>
- Tueros Dávila, W., & Ramos Álvarez, J. G. (2009). *Tratamiento de relaves con sedimentadores ultra sep para la recirculación de agua industrial a las operaciones metalúrgicas de la planta concentradora catalina huanca sociedad minera S.A.C* (p. 212).



Vera Abara, F. K. (2019). *Aumento de porcentaje de sólido de descarga de los espesadores de relave a través de metodología full potencial en minería de los pelambres* (pp. 38–68). <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/338>



ANEXOS



ANEXOS DE CALCULOS REALIZADO

ANEXO 1 *Determinación de gravedad específica*

Donde:

- P1: peso de mineral
- P2: peso de fiola
- P3: peso de la fiola + peso del agua
- P4: peso de la fiola + peso del mineral + peso del agua
- P5: peso de la fiola + peso del mineral

$$Ge = \frac{P1}{(P3-P2)-(P4-P5)}$$

$$\text{Prueba de gravedad específica 1: } Ge = \frac{40}{(337,2-87,6)-(362,4-127,6)} = \mathbf{2,70}$$

$$\text{Prueba de gravedad específica 2: } Ge = \frac{40}{(338,71-88,6)-(362,8-128,1)} = \mathbf{2,70}$$

$$\text{Prueba de gravedad específica 3: } Ge = \frac{40}{(339,7-90,3)-(364,9-130,3)} = \mathbf{2,70}$$

Determinación de porcentaje de solido

$$\% \text{ de solido} = \frac{\text{peso de relave seco} \times 100}{\text{peso de pulpa}}$$

$$\% \text{ de solido} = \frac{0,3329 \times 100}{1224,0}$$

$$\% \text{ de solido} = \mathbf{27,19}$$



ANEXO 2 *Preparación de los floculantes*

- Concentraciones : 0,02%, 0,04%, 0,06%, 0,08%
- Volumen de la solución : 200 ml

$$\text{Peso de floculante} = \frac{\text{volumen de solución} \times \text{concentración de floculante}}{\text{volumen de floculante}}$$

- Para concentración de 0,02% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$X = \frac{200 \text{ ml} \times 0,02}{100 \text{ ml}}$$

$$X = 0,04 \text{ gr. de los floculantes}$$

- Para concentración de 0,04% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$X = \frac{200 \text{ ml} \times 0,04}{100 \text{ ml}}$$

$$X = 0,08 \text{ gr. de los floculantes}$$

- Para concentración de 0,06% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$X = \frac{200 \text{ ml} \times 0,06}{100 \text{ ml}}$$

$$X = 0,12 \text{ gr. de los floculantes}$$

- Para concentración de 0,08% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$X = \frac{200 \text{ ml} \times 0,08}{100 \text{ ml}}$$

$$X = 0,16 \text{ gr. de los floculantes}$$



ANEXO 3 Dosificación de los reactivos floculantes

- Concentraciones : 0,02%, 0,04%, 0,06%, 0,08%
- Dosificación : 25 gr/t
- Peso de muestra seco : 0,3329 kg
- Dosificación para de 0,02% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$\text{Densidad de floculante} = \frac{\text{peso de relave seco}}{1000} \times \frac{100}{\text{concentracion}}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg}}{1000} \times \frac{100}{0,02 \%}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg} \times 25 \text{ g/t}}{(10 \times 0,02 \%)}$$

Promedio Y = 41 milímetros de floculante

- Dosificación para de 0,04% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$\text{Densidad de floculante} = \frac{\text{peso de relave seco}}{1000} \times \frac{100}{\text{concentracion}}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg}}{1000} \times \frac{100}{0,04 \%}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg} \times 25 \text{ g/t}}{(10 \times 0,04 \%)}$$

Promedio Y = 20 milímetros de floculante

- Dosificación para de 0,06% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$\text{Densidad de floculante} = \frac{\text{peso de relave seco}}{1000} \times \frac{100}{\text{concentracion}}$$



$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg}}{1000} \times \frac{100}{0,06 \%}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg} \times 25 \text{ g/t}}{(10 \times 0,06 \%)}$$

Promedio Y = 13 milímetros de floculante

- Dosificación para de 0,08% de IXOFLOC 1018, 6020, 1020 y AR 18

$$\text{Densidad de floculante} = \frac{\text{peso de relave seco}}{1000} \times \frac{100}{\text{concentracion}}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg}}{1000} \times \frac{100}{0,08 \%}$$

$$Y = \frac{0,3329 \text{ kg} \times 25 \text{ g/t}}{(10 \times 0,08 \%)}$$

Promedio Y = 10 milímetros de floculante



ANEXO 4 determinación experimental de la velocidad de sedimentación

Cálculo de la velocidad de sedimentación con los datos que se obtuvieron de las experiencias anteriores realizadas en laboratorio metalúrgico.

$$\text{Velocidad de sedimentación} = \frac{\text{Altura inicial} - \text{Altura sedimentada}}{\text{tiempo}}$$

- **Cálculo de Velocidad de sedimentación de IXOFLOC 1018**

$$\text{Para 29 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 29 \text{ cm}}{1,15 \text{ min}} = 0,87 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 28 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 28 \text{ cm}}{3,51 \text{ min}} = 0,57 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 27 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 27 \text{ cm}}{6,07 \text{ min}} = 0,49 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 26 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 26 \text{ cm}}{7,53 \text{ min}} = 0,53 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 25 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 25 \text{ cm}}{9,37 \text{ min}} = 0,53 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 24 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 24 \text{ cm}}{11,37 \text{ min}} = 0,53 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 23 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 23 \text{ cm}}{13,14 \text{ min}} = 0,53 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 22 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 22 \text{ cm}}{15,50 \text{ min}} = 0,52 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 21 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 21 \text{ cm}}{17,43 \text{ min}} = 0,51 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 20 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 20 \text{ cm}}{19,15 \text{ min}} = 0,52 \text{ cm/min}$$



$$\text{Para 19 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 19 \text{ cm}}{20,48 \text{ min}} = 0,54 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 18 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 18 \text{ cm}}{22,17 \text{ min}} = 0,54 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 17 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 17 \text{ cm}}{23,35 \text{ min}} = 0,57 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 16 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 16 \text{ cm}}{24,41 \text{ min}} = 0,57 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 15 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 15 \text{ cm}}{25,47 \text{ min}} = 0,59 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 14 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 14 \text{ cm}}{28,02 \text{ min}} = 0,57 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 13 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 13 \text{ cm}}{35,28 \text{ min}} = 0,48 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 12 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 12 \text{ cm}}{48,51 \text{ min}} = 0,37 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 11 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 11 \text{ cm}}{74,18 \text{ min}} = 0,27 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 10 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 10 \text{ cm}}{90,00 \text{ min}} = 0,22 \text{ cm/min}$$

- **Cálculo de Velocidad de sedimentación de IXOFLOC 6020**

$$\text{Para 29 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 29 \text{ cm}}{2,03 \text{ min}} = 0,49 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 28 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 28 \text{ cm}}{4,27 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$



$$\text{Para 27 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 27 \text{ cm}}{7,11 \text{ min}} = 0,42 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 26 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 26 \text{ cm}}{9,55 \text{ min}} = 0,42 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 25 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 25 \text{ cm}}{12,20 \text{ min}} = 0,41 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 24 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 24 \text{ cm}}{15,14 \text{ min}} = 0,40 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 23 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 23 \text{ cm}}{17,25 \text{ min}} = 0,41 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 22 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 22 \text{ cm}}{19,57 \text{ min}} = 0,41 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 21 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 21 \text{ cm}}{22,30 \text{ min}} = 0,40 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 20 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 20 \text{ cm}}{24,24 \text{ min}} = 0,41 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 19 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 19 \text{ cm}}{26,30 \text{ min}} = 0,42 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 18 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 18 \text{ cm}}{28,31 \text{ min}} = 0,42 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 17 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 17 \text{ cm}}{30,15 \text{ min}} = 0,43 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 16 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 16 \text{ cm}}{32,09 \text{ min}} = 0,44 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 15 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 15 \text{ cm}}{33,38 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$



$$\text{Para 14 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 14 \text{ cm}}{35,40 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 13 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 13 \text{ cm}}{40,16 \text{ min}} = 0,42 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 12 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 12 \text{ cm}}{50,19 \text{ min}} = 0,36 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 11 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 11 \text{ cm}}{72,27 \text{ min}} = 0,26 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 10 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 10 \text{ cm}}{90,00 \text{ min}} = 0,22 \text{ cm/min}$$

- **Cálculo de Velocidad de sedimentación de IXOFLOC 1020**

$$\text{Para 29 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 29 \text{ cm}}{5,51 \text{ min}} = 0,18 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 28 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 28 \text{ cm}}{6,37 \text{ min}} = 0,31 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 27 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 27 \text{ cm}}{8,57 \text{ min}} = 0,35 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 26 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 26 \text{ cm}}{9,57 \text{ min}} = 0,42 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 25 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 25 \text{ cm}}{11,14 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 24 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 24 \text{ cm}}{13,31 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 23 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 23 \text{ cm}}{15,43 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$



$$\text{Para 22 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 22 \text{ cm}}{17,02 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 21 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 21 \text{ cm}}{19,10 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 20 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 20 \text{ cm}}{21,13 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 19 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 19 \text{ cm}}{23,40 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 18 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 18 \text{ cm}}{26,55 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 17 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 17 \text{ cm}}{27,57 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 16 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 16 \text{ cm}}{29,31 \text{ min}} = 0,48 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 15 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 15 \text{ cm}}{31,58 \text{ min}} = 0,47 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 14 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 14 \text{ cm}}{35,49 \text{ min}} = 0,45 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 13 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 13 \text{ cm}}{42,24 \text{ min}} = 0,40 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 12 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 12 \text{ cm}}{51,17 \text{ min}} = 0,35 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 11 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 11 \text{ cm}}{65,15 \text{ min}} = 0,29 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para 10 cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 10 \text{ cm}}{75,57 \text{ min}} = 0,26 \text{ cm/min}$$



$$\text{Para } 9 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 9 \text{ cm}}{90,00 \text{ min}} = 0,23 \text{ cm/min}$$

- **Cálculo de Velocidad de sedimentación de AR - 18**

$$\text{Para } 29 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 29 \text{ cm}}{1,06 \text{ min}} = 0,94 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 28 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 28 \text{ cm}}{1,57 \text{ min}} = 1,27 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 27 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 27 \text{ cm}}{3,06 \text{ min}} = 0,98 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 26 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 26 \text{ cm}}{4,07 \text{ min}} = 0,98 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 25 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 25 \text{ cm}}{4,59 \text{ min}} = 1,09 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 24 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 24 \text{ cm}}{5,53 \text{ min}} = 1,31 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 23 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 23 \text{ cm}}{6,38 \text{ min}} = 1,10 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 22 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 22 \text{ cm}}{7,20 \text{ min}} = 1,11 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 21 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 21 \text{ cm}}{7,58 \text{ min}} = 1,19 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 20 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 20 \text{ cm}}{8,37 \text{ min}} = 1,19 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 19 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 19 \text{ cm}}{9,01 \text{ min}} = 1,22 \text{ cm/min}$$



$$\text{Para } 18 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 18 \text{ cm}}{10,15 \text{ min}} = 1,18 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 17 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 17 \text{ cm}}{11,38 \text{ min}} = 1,14 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 16 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 16 \text{ cm}}{13,50 \text{ min}} = 1,04 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 15 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 15 \text{ cm}}{17,35 \text{ min}} = 0,86 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 14 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 14 \text{ cm}}{23,16 \text{ min}} = 0,69 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 13 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 13 \text{ cm}}{30,25 \text{ min}} = 0,56 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 12 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 12 \text{ cm}}{41,05 \text{ min}} = 0,44 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 11 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 11 \text{ cm}}{60,00 \text{ min}} = 0,32 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 10 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 10 \text{ cm}}{75,57 \text{ min}} = 0,26 \text{ cm/min}$$

$$\text{Para } 9 \text{ cm } V = \frac{30 \text{ cm} - 9 \text{ cm}}{90,00 \text{ min}} = 0,23 \text{ cm/min}$$



ANEXOS FOTOGRAFICOS

ANEXO 5: Agua recuperada del proceso de separación sólido líquido





ANEXO 6: Área de planta filtrado de relaves de Cori Puno.



ANEXO 7: Relave filtrado por filtro prensa Diemme GHT 2000

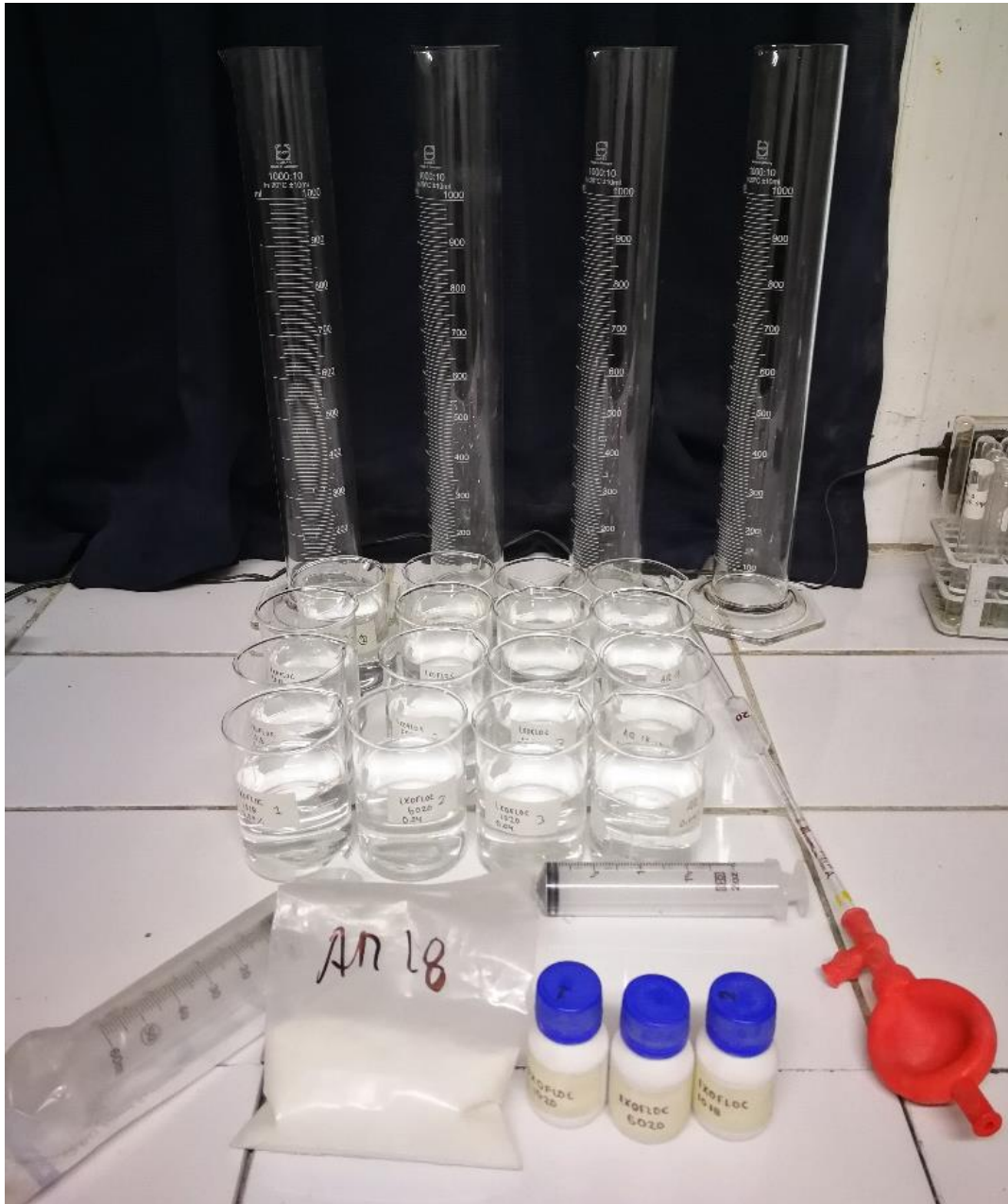




ANEXO 8: Relaves con humedad promedio 15 %, evacuado para su compactación



ANEXO 9: materiales para la prueba experimental

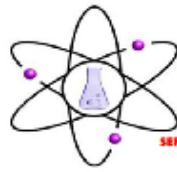


ANEXO 10: turbidímetro portátil





ANEXO 11: informe de ensayo, resultado en turbidez



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALITICOS QUIMICO - METALURGICO

RH-M55-1867

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : SR. WILLY HUARCA APAZA
 ASUNTO : Determinación de parámetros Físico-químicos
 Turbiedad
 CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA
 CANTIDAD DE MUESTRAS : 16
 RECEPCION DE MUESTRAS : Envases debidamente conservados
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 16/11/2021 al 17/11/2021
 DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

| N° | Código de Cliente | TURBIEDAD |
|----|--------------------|-----------|
| | | NTU |
| 1 | IXOFLOC 1018 0,02% | 0,940 |
| 2 | IXOFLOC 6020 0,02% | 1,260 |
| 3 | IXOFLOC 1020 0,02% | 1,400 |
| 4 | AR-18 0,002% | 1,380 |
| 5 | IXOFLOC 1018 0,04% | 9,950 |
| 6 | IXOFLOC 6020 0,04% | 4,510 |
| 7 | IXOFLOC 1020 0,04% | 2,940 |
| 8 | AR-18 0,04% | 2,340 |
| 9 | IXOFLOC 1018 0,06% | 5,720 |
| 10 | IXOFLOC 6020 0,06% | 8,320 |
| 11 | IXOFLOC 1020 0,06% | 13,900 |
| 12 | AR-18 0,06% | 6,220 |
| 13 | IXOFLOC 1018 0,08% | 15,400 |
| 14 | IXOFLOC 6020 0,08% | 9,140 |
| 15 | IXOFLOC 1020 0,08% | 14,700 |
| 16 | AR-18 0,08% | 11,000 |

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente Informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

Instrumento: TURBIDÍMETRO, marca HACH, modelo 2100 Q



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
 Cel: 978645480 - 935008140



ANEXO 12: Calibración de turbidímetro



PazLaboratorios
Calibración de Equipos

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PL - AG326 - 21 - 09

1. **SOLICITANTE:** E&L ENVIRONMENTAL CONSULTING SERVICES S.R.L.
2. **DIRECCIÓN DEL CLIENTE:** CALLE ZETA 835 A YANAHUARA AREQUIPA
3. **DATOS DEL EQUIPO:**

| | |
|------------------------------|--------------------------|
| INSTRUMENTO DE MEDIDA | : TURBIDÍMETRO |
| MARCA | : HACH |
| MODELO | : 2100 Q |
| SERIE | : 22050000317 |
| IDENTIFICACIÓN | : ELTUR-12 (*) |
| INTERVALO DE MEDIDA | : 0 a 1000 NTU (**) |
| | : 0,01 NTU (0-9,9) (**) |
| RESOLUCIÓN | : 0,1 NTU (10-99,9) (**) |
| | : 1 NTU (100-1000) (**) |
4. **LUGAR DE CALIBRACIÓN:** Instalaciones de Paz de Laboratorios S.R.L.
5. **FICHA DE CALIBRACIÓN:** 2021-09-18
7. **ORDEN DE TRABAJO:** CAL-014-2021-9
8. **ACLARACIONES DEL CERTIFICADO:**

Este certificado de calibración es trazable a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados reportados en este certificado son válidos solo para el equipo de medición verificado en las condiciones y momento en que se realizó la verificación.

El solicitante y/o usuario es responsable de definir el período de verificación según la recomendación del fabricante, uso, registros de mantenimiento, niveles de deriva y exactitud de medición.

La duplicación del presente certificado debe ser de forma completa, sin modificaciones y únicamente cuando se cuenta con la aprobación y autorización de PAZ LABORATORIOS S.R.L.

Los certificados de calibración de PAZ LABORATORIOS S.R.L. son únicamente válidos si cuentan con el sello de firma y las firmas del Gerente General y el Responsable de Metrología.
9. **PROCEDIMIENTO UTILIZADO:**

PL-EM-DC-05 Procedimiento interno para la calibración de turbidímetros.

Atentamente: 17 de Septiembre de 2021.



Francisco Balardo Paz González
GERENTE GENERAL
PAZ LABORATORIOS S. R. L.



Francisco Balardo Paz González
RESPONSABLE METROLOGÍA
PAZ LABORATORIOS S.R.L.

*EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY

000655

Oficina: Calle Oscar Benavides N° 002, Yanahuara • Arequipa
 ☎ (054) 655068 RPC: 953766470 - 959010230
 web: www.pazlaboratorios.com Email: servicioalcliente@pazlaboratorios.com

ANEXO 13: diagrama de flujo de planta separación sólido líquido

