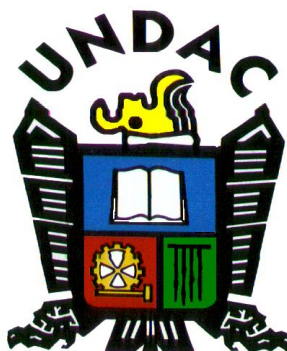


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto
en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli**

– 2019

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Cristhian Danny ROJAS BALDEÓN

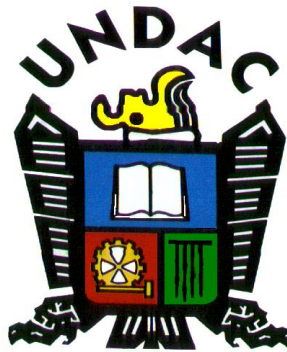
Asesor: Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Cerro de Pasco – Perú – 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto
en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli**

– 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN
PRESIDENTE

Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN
MIEMBRO

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, a mi madre

por haberme

dado el regalo más preciado,

la vida y mi profesión,

para entender la naturaleza y

aprovecharla responsablemente.

AGRADECIMIENTO

*Mi reconocimiento a todos los catedráticos
de la Escuela de Formación Profesional
Ingeniería Metalúrgica por sus sabias
enseñanzas, que hicieron real en mi
formación profesional, también como no
reconocer a mis colegas que compartimos
los aprendizajes durante los cinco años
académicos en las aulas universitarias.*

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en la Compañía Minera Volcan, ubicado en el distrito de Yauli la Oroya en su relavera Rumichaca que realiza tratamiento de minerales polimetálicos en la Planta Concentradora Carahuacra.

Este estudio se aborda desde el tipo aplicado experimental con método de investigación de enfoque cuantitativo aplicable, optimizando el relave en pasta y mejorando las unidades de turbidez, se aplicó pruebas empíricas que se desarrollaron en etapas: se realiza el muestreo aleatorio simple para obtener la muestra representativa del volumen total de relave producido, se procede en el laboratorio a realizar pruebas de sedimentación sin floculante y con floculantes diversos en probetas de 1000 cc y tomando medida de la turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), lo cual se obtuvo el acelerado tiempo de sedimentación y entre 4,59 a 5,23 NTU los resultados del floculante AR-5215. Con los resultados obtenidos se procedió a desarrollar en el Espesador de Cono Profundo la observación y experimentación a través de pruebas metalúrgicas de floculación, sedimentación y bombeo con diversas tecnologías, tomando en cuenta varias densidades de alimentación y tiempo de residencia, para luego obtener el rango óptimo del proceso, de acuerdo a resultados obtenidos en los ensayos dieron el relave en pasta entre 72,6% a 79,5% sólidos en peso y agua que rebosa de 3 a 6 NTU, observando que a partir de los 8 min se tiene un apreciable porcentaje de asentamiento, hasta los 20 min donde la precipitación de partículas es mínima y una turbidez favorable.

Palabras claves: pasta de relave, asentamiento, floculante.

ABSTRACT

This research was developed in the Volcan Mining Company, located in the district of Yauli la Oroya in its Rumichaca tailings dam, which treats polymetallic minerals in the Carahuacra Concentrator Plant.

This study is approached from the experimental applied type with an applicable approach research method, optimizing the paste tailings and improving the turbidity units, empirical tests were applied that were developed in stages: simple occasional sampling is carried out to obtain the representative sample of the total volume of tailings produced, sedimentation tests are carried out in the laboratory without flocculant and with various flocculants in 1000 cc test tubes and measuring the turbidity in Nephelometric Turbidity Units (NTU), which the accelerated time was obtained. of sedimentation and between 4.59 to 5.23 NTU the results of the flocculant AR-5215. With the results obtained, observation and experimentation was carried out in the Deep Cone Thickener through metallurgical tests of flocculation, sedimentation and pumping with various technologies, taking into account various feed densities and residence time, to then obtain the range of the process, according to the results obtained in the tests gave the tailings in paste between 72.6% to 79.5% solids in weight and water that overflows from 3 to 6 NTU, observing that after 8 min there is an appreciable percentage of settlement, up to 20 min where the precipitation of particles is minimal and a favorable turbidity.

Keywords: tailings paste, settlement, flocculant.

INTRODUCCIÓN

El tema de tesis que se desarrolló, tiene función a dar solución de los problemas en las operaciones mineras a través de la investigación. Por tanto, el objetivo es realizar la optimización o la mejora de la sedimentación con floculación del relave, así obtener el relave de pasta deseado y el agua del rebose con una turbidez deseado en las operaciones mineras, utilizando la tecnología de sedimentación de cono profundo mediante la deposición de relave en pasta en la relavera, esto debido al límite de la vida útil que posee la presa de relave minero en la actualidad.

La presente tesis, intitulado “Optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019” es beneficioso porque se trata de una etapa del procesamiento de minerales donde es el mayor volumen de material que se manipula; y requiere una deposición final adecuada y recuperar el agua para reutilizar en circuito cerrado con la única finalidad de preservar el ecosistema.

Los estudios desarrollados a través del muestreo y posterior tratamiento confirman que el asentamiento de relaves en pasta tiene rendimientos aceptables. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los estudios de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I. Se determina la problemática, para formularlo en preguntas, sobre como sedimentar los relaves, con las sub preguntas que consisten en las variables que intervienen en las pruebas experimentales. Su objetivo está referido a demostrar las variables que influyen en la obtención del relave en pasta, justificando la presente

investigación, dada la importancia que significa llevarlo a utilizarlo en la etapa final de concentración de minerales.

CAPÍTULO II. Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las bases teóricas desde una perspectiva general a específica de la sedimentación de relaves; hasta definir la secuencia lógica de operación, para la respectiva valoración y rentabilidad de la mina; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el método de investigación: experimental; nivel experimental y tipo aplicativo, con diseño experimental, sobre una población que corresponde a un compósito de muestra de relave y sobre ello diseñar el método a seguir para el asentamiento.

CAPÍTULO IV. Los cálculos procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas y ecuaciones, para luego la hipótesis ser contrastada, demostrándose que el nivel de aceptación de los datos es correcto al rechazar la hipótesis nula.

CONCLUSIONES. Se concluye que los ensayos experimentales mediante el uso del diseño factorial, se obtiene en los ensayos un factor favorable de relave en pasta entre 72,6% a 79,5% sólidos y agua que rebosa de 3 a 6 NTU, considerando como factor significativo del proceso eficiente al floculante AR-5215 para el Espesador de Cono Profundo.

El autor.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

LISTA DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1.	Delimitación espacial.....	2
1.2.2.	Delimitación temporal	2
1.3.	Formulación del problema	3
1.3.1.	Problema general	3
1.3.2.	Problemas específicos.....	3
1.4.	Formulación de objetivos	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación	4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	5
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2.	Antecedentes nacionales	8
2.2.	Bases teórico – científicas	9
2.2.1.	Depósito de relave Rumichaca - Unidad Carahuacra	9
2.2.2.	Espesamiento o sedimentación	10

2.2.3.	Separación sólido - líquido	11
2.2.4.	Pruebas de sedimentación discontinua.....	14
2.2.5.	Variables que intervienen en la sedimentación	17
2.2.6.	Pastas minerales	18
2.2.7.	Pruebas en pasta.....	20
2.2.8.	Disposición final de relaves	22
2.2.9.	Tipo de disposición de relave	23
2.2.10.	Espesador	25
2.2.11.	Floculantes	29
2.2.12.	Método Coe & Clevenger	34
2.3.	Definición de términos básicos	36
2.4.	Formulación de hipótesis.....	38
2.4.1.	Hipótesis general.....	38
2.4.2.	Hipótesis específica	38
2.5.	Identificación de variables.....	39
2.5.1.	Variable independiente	39
2.5.2.	Variable dependiente	39
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	40

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	41
3.2.	Nivel de investigación.....	41
3.3.	Método de investigación	41
3.4.	Diseño de la investigación.....	42
3.5.	Población y muestra.....	43
3.5.1.	Población	43
3.5.2.	Muestra	43
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	47
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	49
3.8.1.	Procesamiento de datos.....	49

3.8.2.	Análisis de datos	50
3.9.	Tratamiento Estadístico.....	50
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	51

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	52
4.1.1.	Análisis granulométrico del relave	54
4.1.2.	Evaluación de sedimentación sin floculante	55
4.1.3.	Evaluación de sedimentación con floculantes	56
4.1.4.	Dosificación de floculante seleccionado AR-5215	61
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	67
4.2.1.	Formulación del diseño factorial.....	67
4.2.2.	Análisis de varianza de los datos del proceso	70
4.2.3.	Modelo matemático de primer orden del proceso.....	71
4.2.4.	Gráfico de superficie respuesta.....	73
4.2.5.	Optimización del proceso	75
4.2.6.	Análisis estadístico de los datos obtenidos del proceso	76
4.2.7.	Análisis del ANOVA para el proceso	78
4.2.8.	Modelo matemático de segundo orden	80
4.2.9.	Determinación de las condiciones óptimas del proceso.....	82
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	83
4.3.1.	Hipótesis en función al ANOVA	83
4.4.	Discusión de resultados.....	84

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO 1: Instrumentos de recolección de datos

ANEXO 2: Procedimiento de validación y confiabilidad

ANEXO 3: Matriz de consistencia

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Empresas mineras y su disposición de relaves	10
Tabla 2. Tamaño de conos para prueba de consistencia	21
Tabla 3. Variables e indicadores	40
Tabla 4. Muestreo de alimentación de pulpa	45
Tabla 5. Variables de alimentación del relave en Pulpa	52
Tabla 6. Gravedad específica de la muestra	53
Tabla 7. Resultado de análisis químico del relave.....	54
Tabla 8. Análisis granulométrico de muestra del relave.....	54
Tabla 9. Pruebas de sedimentación sin floculantes	56
Tabla 10. Floculantes y parámetros utilizados para la Sedimentación de Relave	57
Tabla 11. Pruebas de comparación con floculantes	59
Tabla 12. Pruebas de dosificación con floculante seleccionado	62
Tabla 13. Resultado de optimización en el espesador de cono profundo	64
Tabla 14. Resultados de parámetros (turbidez)	66
Tabla 15. Indicadores experimentales del diseño factorial	67
Tabla 16. Resultados de las corridas experimentales	68
Tabla 17. Efecto estimado del Relave en Pasta	68
Tabla 18. Efecto estimado de Solución clarificada (turbidez).....	69
Tabla 19. Análisis de Varianza para Relave en pasta (ANOVA).....	70
Tabla 20. Análisis de Varianza para solución clarificada (ANOVA).....	70
Tabla 21. Coeficiente de regresión lineal para relave en pasta.....	71
Tabla 22. Valores óptimos de los factores.....	72
Tabla 23. Coeficiente de regresión lineal para turbidez	72
Tabla 24. Valores óptimos de los factores.....	73
Tabla 25. Resultados del diseño pentagonal.....	76
Tabla 26. Efecto estimado para el relave en pasta (%).....	77
Tabla 27. Efecto estimado para la turbidez (NTU).....	78
Tabla 28. Análisis de Varianza para pasta.....	79
Tabla 29. Análisis de Varianza para Turbidez.....	79
Tabla 30. Optimización de respuesta de Pasta.....	82
Tabla 31. Optimización de respuesta de Turbidez.....	82

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La Compañía Minera Volcan S.A. Unidad Carahuacra – relavera Rumichaca de la Planta Concentradora Carahuacra realiza tratamientos de relave mediante el proceso de sólido – líquido en el Espesador de Cono Profundo. A medida que se ha realizado el proceso, se ha tenido problemas con la turbidez del efluente y el porcentaje de sólidos evacuados a la relavera.

Para lo cual es necesario mejorar el proceso con un alternativo que supere la performance del floculante que se usará en el espesador de cono profundo, por lo tanto, debemos de asumir conocimientos necesarios para la mejora de la floculación a fin de sedimentar los sólidos en suspensión y reducir la turbidez en el caudal teniendo en cuenta al medio ambiente.

La realización de ensayos o pruebas de floculación nos da a constatar la optimización que se obtendrá en el Espesador de Cono Profundo.

Con estos ensayos que se realizaran en la preparación de muestras homogenizadas en probetas de un litro con relave inicial entre 13% y 23% de

porcentaje de sólidos se logrará obtener la mejora con la claridad entre 2,98 y 6,94 NTU, las cuales están dentro de los parámetros permitidos y el porcentaje de sólidos en el under flow del espesador de cono profundo que se mantendrá dentro de la buena disposición de relave en pasta (sólido – líquido).

En otras palabras, un Espesador de Cono Profundo que trabaje con efluentes dentro de los parámetros ambientales y la disposición de relave en pasta con mayor porcentaje de sólidos, llevará a que el relave en pasta contenga menos porcentaje de agua en el depósito de relave, así dando mayor vida útil a la relavera Rumichaca y un efluente óptimo para la reutilización en el proceso de minerales en la Planta Concentradora Carahuacra.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación Espacial

Los ambientes en los que se realizó el estudio de investigación fueron dos; uno, en el laboratorio Metalúrgico de la Planta Concentradora Carahuacra; y el otro, en el Espesador de Cono Profundo de la relavera Rumichaca, ambos escenarios establecidos a la Compañía Minera Volcan S.A.A., que se encuentra ubicada en el distrito y provincia de Yauli, entre 4100 m.s.n.m en el departamento de Junín, a 40 km de la Oroya y 170 km de Lima.

1.2.2. Delimitación Temporal

La recopilación a ser consignada de estudio de investigación, se centra en datos obtenidos durante el proceso en el espesador en el periodo enero a diciembre del año 2019, considerando parámetros de operación y análisis para su optimización.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿Cómo optimizar el efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo seleccionar el floculante adecuado para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?
- ¿Cómo seleccionar los factores influyentes para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?
- ¿Cómo mejorar el control de los factores influyentes en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar los factores influyentes para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el floculante adecuado para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

- Seleccionar los factores influyentes para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.
- Mejorar el control de los factores influyentes en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

1.5. Justificación de la investigación

El mejoramiento de los procesos del relave en pasta (sólido – líquido) y el efluente líquido en la Unidad Minera Carahuacra de la Compañía Minera Volcan - relavera Rumichaca es aplicable en cualquier operación de depósitos de relaves y también por consiguiente en el laboratorio de ensayos químicos para la mejora en los servicios en el que se realizan y de esta manera cumplir la disposición correcta de relave en pasta y un efluente líquido valorable para el medio ambiente.

1.6. Limitaciones de la investigación

- En el desarrollo del estudio de investigación, la limitación más relevante era no contar con un agitador magnético para el efecto de dilución de floculante en el laboratorio, debido a ello fue necesario solo usar el agitador manual.
- Los diversos escenarios o fallas operacionales que se tenía en las operaciones.
- El factor climático es un factor que afecta el proceso.
- Por lo demás no se tuvo mayor limitación y se contó con la colaboración del equipo de trabajo de la Gerencia de Operaciones, Superintendencia, jefe de Planta y jefe de Laboratorio Químico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

(Rivero Galviz, 2015), en la tesis: “Metodología para el diseño por confiabilidad de presas de relaves construidas en arena por el método aguas abajo”, Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, concluye: A partir de la experiencia con el estudio de caso, fue posible la generación de la guía de diseño que incluye las pautas principales a la hora de diseñar y construir este tipo de presas, adicionalmente donde se proporcionan recomendaciones debido a las posibles fallas que se puedan generar en ella. Para llegar a esto, fue necesario hacer una revisión bibliográfica para conocer las diferentes funciones de comportamiento que se han usado en los cuatro modos de falla, donde se encontró que la mayoría han usado equilibrio límite en términos del factor de seguridad y margen de seguridad. Las funciones de comportamiento que se escogieron finalmente en cada modo de falla, son aquellas que resultan

más rigurosas en caso de estabilidad por método Morgenstern-Price y que incluyen variables bastante sensibles en los análisis (caso de tubificación Kh), lo cual es favorable. Cabe anotar que, como resultado de una revisión bibliográfica, la función de distribución con mayor uso en las variables de estos análisis, es la función tipo Log normal debido al no uso de valores negativos.

(Gómez Paredes, 2012) en la tesis, investigó, analizó y evaluó la alternativa de aplicar la tecnología de espesamiento de relave con el objeto de validarla, de tal forma que permita disponer de un relave con alto contenido de sólidos y utilizar estos relaves para desarrollar pruebas básicas que permitan identificar los principales factores operativos y los efectos que podrían causar al variarlos. Y concluye; proponer un relave espesado con un contenido de sólidos superior al 65%, siendo esto un proceso simple y rápido que requiere de pocos insumos siendo su principal desventaja el alto costo el capital de inversión para implementar la planta. Realiza la selección de floculante SNF- 913 para la operación de relaves obteniendo los mejores tiempos de sedimentación en una solución con relave a una concentración entre 15% y 20%. El diseño de la planta considera una unidad de espesamiento que debido a su gran altura proporciona el tiempo de residencia necesario para alcanzar una óptima compactación y concentración de sólidos en la descarga sobre 65% de sólidos. Los factores operativos, de control fueron la tasa de procesamiento de relave y la altura de interface.

(Hernández Osorio, 2007) en la revista de investigación, realizó la evaluación del rendimiento de diferentes reactivos coagulantes y

ligantes para la producción de pasta de relave que se emplearan en la disposición de los residuos procedentes de la minería de hierro. En la que concluye: los análisis del sólido estudiado indican que el desecho de la minería de hierro tiene una granulometría fina, la que contiene especies como hematita y cuarzo. Las pruebas de abatimiento ("slump") y de canal ("flume") son herramientas para caracterizar la consistencia y fluidez de las pastas minerales mediante la determinación del % ABT y del ángulo de reposo. Para la determinación de esto realizó pruebas factoriales 22, 24 y 23 determinando primero la elección del tipo de floculante, ligante y posteriormente las variables que influyen en la velocidad de sedimentación, abatimiento y reología. Llegando a la siguiente conclusión:

- ✓ El efecto de la adición de los agregantes sólo fue más significativo en las respuestas velocidad de sedimentación y % de abatimiento en el caso de la pasta mineral del 75% de sólidos.
- ✓ Para el caso de la pulpa del 70% de sólidos no se detectaron diferencias respuesta del % de abatimiento ya que en todas las condiciones estudiadas fue del 90%
- ✓ La velocidad de sedimentación se ha incrementado casi tres veces al añadir 20 g/t del coagulante y el comportamiento reológico en el ciclo rotacional 1-20-1 rpm fue más tixotrópico, lo que representa una condición reológica más favorable en el caso de la pulpa del 70% de sólidos

- ✓ En la pasta del 75% en sólidos se incrementó en la velocidad de sedimentación cuando se añadieron 20 g/t de coagulante, fue de más del 50%, y en el caso de la consistencia medida a través del % ABT, también la condición de agregación añadiendo 20 g/t de coagulante fue la mejor al alcanzar un 60 % de "slump", situación que también fue respaldada por el comportamiento más tixotrópico en la reología de la pasta.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

(Gutiérrez Conde, 2015), en la tesis: “Operación de la presa de relaves Toromocho”, Universidad Nacional San Agustín, concluye: es posible disponer los relaves garantizando el cumplimiento de las regulaciones ambientales, permisos y normas vigentes, Toromocho se ha convertido en una empresa que usa tecnología que permiten lograrlo.

Contar con un plan de disposición, nos permite mantener la estabilidad física de la presa de relaves.

(Oviedo Tejada, 2007), en la tesis: “Aseguramiento y control de calidad de las obras de recrecimiento de la presa Alpamarca”, Universidad Ricardo Palma, concluye: Este informe corresponde a la experiencia que tuve en el control de calidad de los materiales al construir la presa de relaves de tierra, cabe recalcar que es una de las más grandes en magnitud y altitud, desde la cota 2240 hasta 2320 msnm, han sido materiales de préstamo, se han utilizado las canteras próximas a la zona de estudio y se ha verificado la colocación como relleno compactado según las especificaciones técnicas del diseño de la presa de relave.

2.2. Bases teórico – científicas

Estos últimos tiempos la minería ha tenido grandes avances tecnológicos sobre el tratamiento de relave que son pasivos ambientales, y uno de ellos son los Espesadores de Cono Profundo que están permitiendo disponer relaves con alto contenido de sólidos que es más conocido como relave en pasta.

2.2.1. Depósito de relave Rumichaca - Unidad Carahuacra

La Relavera Rumichaca – Unidad Minera Carahuacra de la Empresa Volcan Compañía Minera realiza sus operaciones de concentración de minerales polimetálicos, de los cuales para recuperar una tonelada de concentrado tiene que procesar entre 15 a 30 toneladas de mineral de mina. Este mineral molido que no se recupera en concentrado y se convierte en relave, se traslada a los depósitos de relaves Rumichaca de la Planta Concentradora Carahuacra en forma de pulpa con una densidad variable que oscila de 1090 g/l a 1250 g/l; antes de su deposición final es procesado en el espesador de cono profundo y lograr un producto en forma de pasta con un porcentaje de sólidos que varía entre 58 a 72% que luego es depositado en la relavera.

Las empresas mineras que procesan minerales depositan sus remanentes en presas de relaves; algunas empresas están realizando tratamientos previos a la disposición final, otros no; lo ideal es buen asentamiento de sólidos en la relavera y el agua residual volverlo al proceso productivo para su utilización, a la vez alargar la vida útil de la presa. En la tabla 1 se observa las empresas que vienen operando en su disposición de relave.

Tabla 1. Empresas mineras y su disposición de relaves

Empresas Mineras	Tipo de relavera	Relave en Pasta	Ton/día de tratamiento	Mineralización
1 Empresa minera Nexa	Dique	No	6500	Pb, Zn y Cu
2 Atacocha	Dique	No	6000	Pb, Zn
3 Panamerican Silver -Huarón	Dique	No	3500	Ag, Pb y Zn
4 Aurex	Dique	No	1200	Ag y Au
5 Carahuacra Volcan	Dique	Si	5200	Ag, Cu, Pb, Zn
6 Caolín	Dique	No	25	Pb, Zn
7 Chungar	Dique	Si	3200	Zn, Ag y Pb

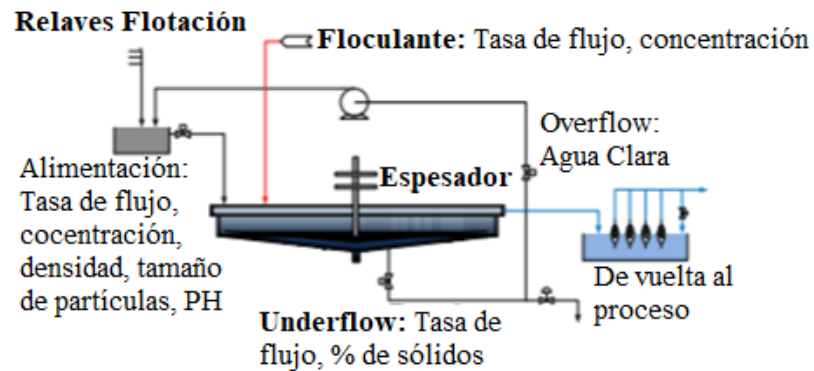
Fuente: Memorias del MINEM

2.2.2. Espesamiento o sedimentación

La invención del Espesador en 1905 con la introducción en las plantas concentradoras de Dakota del Sur de los Estados Unidos de Norteamérica, fue punto de partida de la era moderna de espesamiento en América. Aunque debemos manifestar que el espesamiento no es un proceso moderno y no fue desarrollado en América.

La sedimentación gravitacional en la que se centra nuestro estudio es, en esencia, un fenómeno netamente físico. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el líquido. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

Gráfico 1. Mecanismo de espesamiento



Fuente: (Américo Zuzunaga, 2016).

Los objetivos que generalmente se plantean en la sedimentación de sólidos en líquidos son:

- ✓ La producción de una fase líquida sustancialmente clara (clarificación),
- ✓ La concentración de los sólidos suspendidos a fin de formar un lodo más denso (espesamiento), o
- ✓ La separación de partículas de distintos tamaños, formas y gravedades específicas en fracciones (clasificación).

Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

2.2.3. Separación sólido - líquido

La hidrometalurgia u operaciones por vía húmeda se caracterizan por el empleo de reactivos que son líquidos y se utilizan a temperaturas próximas a la del ambiente. Como su fin es la obtención del metal, es preciso que se pueda extraer la mayor cantidad posible del mismo de la mena; la extracción es factible si el metal está en la mena en forma de compuesto soluble en el tipo

de disolvente a emplear, que la disolución obtenida por el ataque del disolvente a la mena tenga una concentración

metálica determinada y admita una separación fácil de la parte insoluble de la mena. Posteriormente esta disolución debe ceder fácilmente el metal con ayuda de precipitadores adecuados y buscar el medio para que el disolvente libre de metal se incorpore de nuevo al proceso.

La separación sólido-líquido es una parte fundamental en la mayoría de los procesos de tratamiento e hidrometalúrgicos, y de importancia especial después de procesos de lixiviación, clarificación antes de cambio iónico, extracción por solventes, precipitación, donde hay que recuperar los líquidos o soluciones portantes y en aquellos otros procesos donde se precise recuperar los sólidos de la mejor calidad posible, cristalización o precipitación.

La separación de sólido y líquidos de una mezcla se puede realizar mediante métodos puramente mecánicos y térmicos. Al respecto del tema (Ros Moreno, 2014) manifiesta; en el **gráfico 2** muestra estos métodos y las operaciones o procesos a los que da origen.

Gráfico 2. Mecanismos de separación sólido-líquido



Fuente: (Ros Moreno, 2014).

(Ros Moreno, 2014), menciona “La sedimentación y la filtración deben considerarse como procesos complementarios: la sedimentación realiza la separación de las partículas más densas que el líquido y, que tengan una velocidad de sedimentación tal, que permita que lleguen al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable”.

Entonces, los factores con mayor influencia en una separación sólido-líquido son:

- ✓ **Concentración de sólidos:** En equipos de filtración a mayor concentración mejor y más simple el proceso, y en equipos de sedimentación a menores concentraciones, mayor eficacia y simplicidad.
- ✓ **Distribución granulométrica:** Con granulometrías más finas se hace más difícil el proceso de separación, tanto empleando sedimentación o filtración como principios de operación.
- ✓ **Relación sólido - líquido y grado de saturación o concentración de la solución:** En general es ventajoso obtener soluciones altamente concentradas que presentan ventajas de precipitación posterior, por lo que una disminución del volumen total empleado en el proceso de separación puede representar ventajas económicas adicionales.
- ✓ **Claridad de la solución enriquecida:** En la mayoría de los casos se precisa obtener una solución lo más clara posible,

aunque esto influye simultáneamente en la calidad del sólido y en la recuperación total de solubles.

2.2.4. Pruebas de sedimentación discontinua

Para determinar experimentalmente las velocidades de sedimentación R , se realizaron pruebas a diferentes concentraciones comprendidas entre la concentración de la alimentación y de la descarga. (Quiroz Nuñez, 1986).

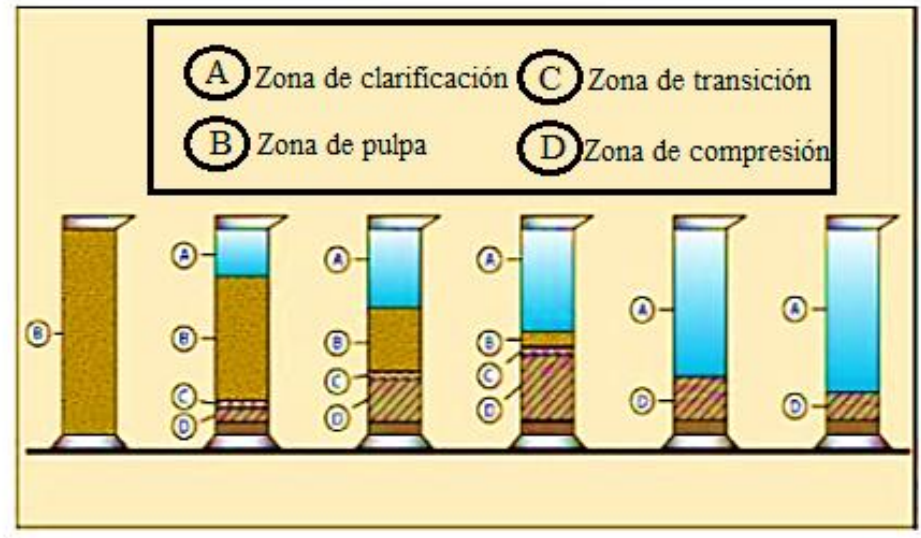
Para ello, se realizaron pruebas de sedimentación discontinua en probetas conteniendo pulpas a una concentración inicial definida, que, al sedimentar permite medir la variación de la altura de la interfase entre la solución clara y la pulpa que sedimenta respecto al tiempo. Esto a su vez permite calcular la velocidad de sedimentación R .

Como R solo es función de la concentración de los sólidos, los valores obtenidos en las pruebas discontinuas, podrán ser aplicados en operaciones continuas.

El procedimiento experimental se inicia preparando la pulpa a una concentración definida y agitándola dentro de la probeta para lograr uniformidad. Luego comienza la sedimentación avanzando el proceso en la forma que se indica en el **gráfico** siguiente.

Diferentes etapas de la sedimentación. La letra A, representa al agua clara, B capa de separación, C pulpa que sedimenta y D a los sólidos compactados.

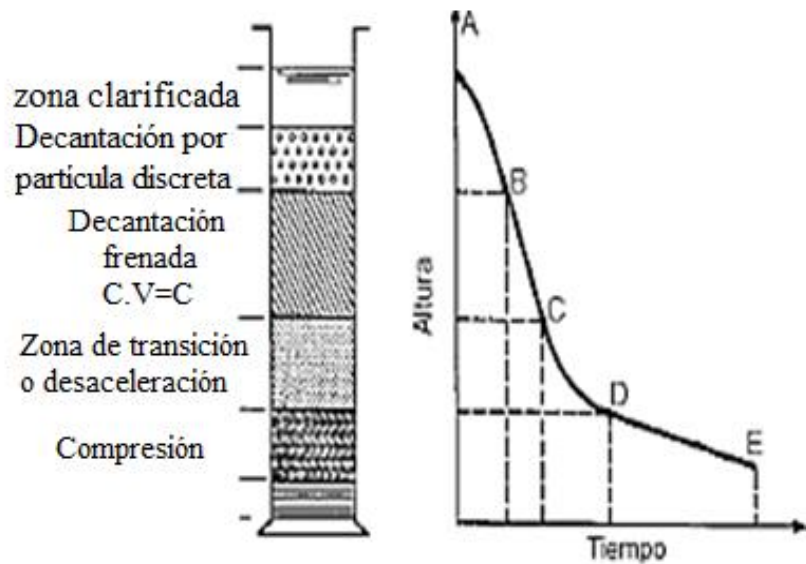
Gráfico 3. Pruebas de sedimentación de pulpas minerales



Fuente: (Quiroz Nuñez, 1986).

Para determinar la velocidad de sedimentación, se precisa tomar datos de la altura de la interface entre las zonas A y B, respecto al tiempo, graficándolos luego para obtener las llamadas curvas de sedimentación.

Gráfico 4. Curvas de sedimentación



Fuente: (Ros Moreno, 2014)

En la porción 1 de las curvas la velocidad de sedimentación R es constante, luego la velocidad disminuye en la sección 2 para finalmente tender a cero cuando los sólidos se encuentran compactados.

El valor del R que deberá utilizarse es el que corresponde a la pendiente de la curva de sedimentación en la zona 1, que será la velocidad de sedimentación de los sólidos para la concentración inicial. Las velocidades de sedimentación en las porciones 2 y 3 de la curva que podrían calcularse por las pendientes respectivas, corresponden a concentraciones diferentes y para el método de Coe-Clevenger no deberán ser usadas.

Realizando varias pruebas similares a la descrita se dispondrá de un conjunto de datos de R y C que permitirán calcular el área unitaria y por lo tanto el diámetro adecuado del Espesador.

Dinámica de sedimentación

“Existe una dinámica que permite la separación sólido - líquido por efecto de la sedimentación, en la cual se ven involucradas dos tipos de fuerzas: la gravedad y el empuje. La primera, es aquella fuerza que la tierra ejerce sobre los objetos y que, en el caso del espesador, hace que las partículas de sólidos se dirijan hacia el fondo del estanque. Por otra parte, el empuje es una fuerza en sentido contrario ejercida por el fluido sobre un objeto sumergido” (Yianatos, 2005).

Si la gravedad específica de cada partícula, es suficiente para que la fuerza de gravedad supere a la de empuje, entonces esta partícula comenzará a sedimentar hacia el fondo del espesador con una determinada velocidad, en función de la diferencia de fuerzas y la concentración de partículas en el medio. Sin embargo, parte importante

de los espesadores incorporan además el concepto de floculación, asociado a la adición de este compuesto químico para favorecer la sedimentación de las partículas, en especial de las más finas.

2.2.5. Variables que intervienen en la sedimentación

En la opinión de (Gálvez, 2003), las variables que se relacionan con la alimentación al cono sedimentador y que tienen que controlarse son:

- a) **Porcentaje de sólidos.** nos indica la cantidad de sólidos que está ingresando por litro de pulpa, a la vez está relacionado con la granulometría del mineral que incide en la sedimentación, por ello sugiere que el porcentaje de sólidos en la alimentación debe oscilar entre 10 a 20%, en dicho rango la variación del porcentaje de sólidos no afecta la sedimentación.
- b) **Densidad.** Esta variable depende del control de la alimentación de carga a la molienda, que repercute en la flotación y en la sedimentación de partículas de minerales, y por ende en la granulometría final del relave. Cuando la densidad es baja; nos indica que la pulpa que ingresa al sedimentador tiene pocos sólidos, esto perjudica la formación del nivel de capa o cama, debido a la baja concentración de sólidos que no permite la compactación de partículas sedimentados en el cono debido a la formación de espacios vacíos. Cuando la densidad es alta; nos indica que la pulpa que ingresa es densa, y provoca el enturbiamiento del rebose de agua del sedimentador, ocasionando el desplazamiento de sólidos en exceso al rebose.

- c) **Granulometría.** La distribución granulometría de partículas es un parámetro importante para obtener pastas minerales, que tiene influencia en la porosidad, permeabilidad y en las propiedades reológicas.

(Louis Salager, 2007), “las pastas mineras pueden habitualmente ser obtenidas desde un amplio rango de granulometría, mientras que contenga un mínimo del 15% de las partículas del material que representa un tamaño de 20 μm ”.

En los espesadores de cono con rastras, este factor es significativo en la elección del torque, debido a que las partículas de mayor tamaño sedimentan más rápido y requiere de un mayor torque, por la alta acumulación de sólidos en las capas profundas del material sedimentado. Por otro lado, cuando las partículas tienen menor granulometría, la sedimentación es lenta y necesitan un menor torque. (Campos, 2016).

2.2.6. Pastas minerales

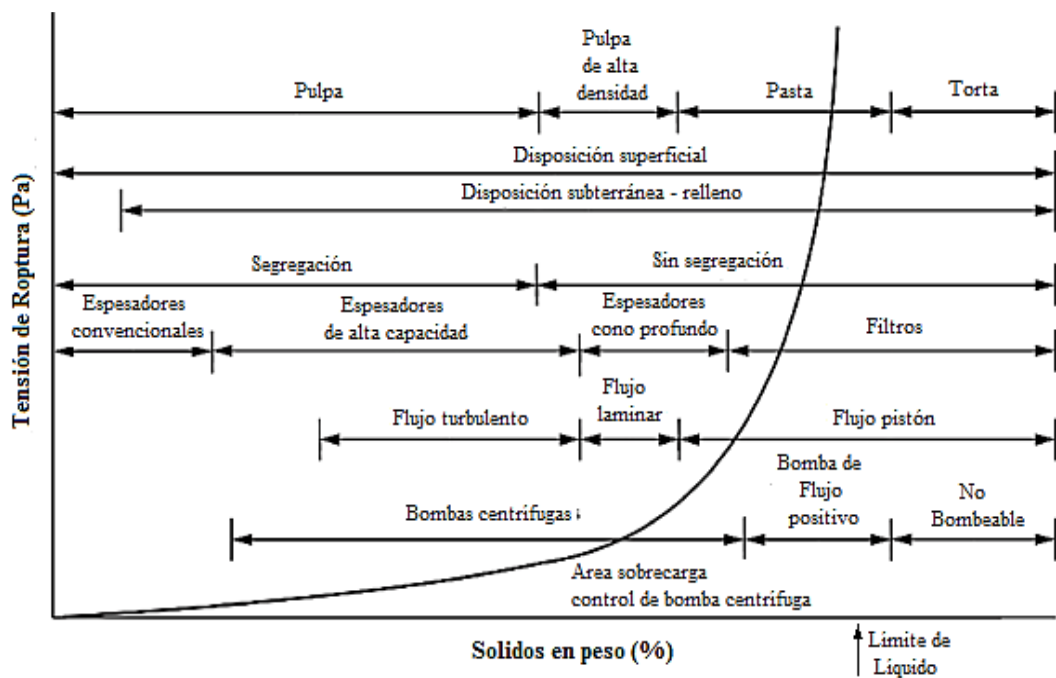
La disposición de relaves en forma de pasta mineral presenta algunas ventajas en comparación al uso de tranques de relaves, por ejemplo: un requerimiento de área menor para la disposición, mayor recuperación de agua, una disposición más estable y segura, mayor facilidad en la recuperación final del área utilizada, entre otras. Las características de las pastas permiten obtener mayores ángulos de disposición, dispuesto en comparación a los tanques de relaves convencionales. (Araujo A. , 2012, pág. 169)

Normalmente la disposición de pasta es realizada empleando espesadores de características especiales, espesadores de pasta, que

representan en la mayoría de las veces la mejor alternativa tecnológica. Las aplicaciones de pasta mineral son muy diversas de acuerdo al trabajo de (Jhonson Houman, 2003), por tanto, la tecnología utilizada se encuentra aún restringida a los fabricantes de equipamientos. Los espesadores desarrollados para laboratorio pueden auxiliar a la mejor comprensión de los mecanismos involucrados en la obtención de pasta mineral. (Olcay Barreda, 2012) utilizando un espesador de pasta modular desarrollado para operación en escala de laboratorio, verificó la posibilidad de simular diferentes condiciones de espesamiento, en presencia de distintos tipos de floculantes para la obtención de pasta.

Para (Landriault, 2002) nos muestra en el **gráfico 5** el esfuerzo de mezclas en función de la concentración de sólidos de la mezcla sólido-líquido en la que se observan distintos estados de consistencia posibles: pulpa, pulpa de alta densidad, pasta y torta.

Gráfico 5. Mezclas sólido/líquido: pulpa, pulpa de alta densidad, pasta y torta



Fuente: (Landriault, 2002).

2.2.7. Pruebas en pasta

El concepto de pasta de mineral, puede ser conceptualizado como un sistema coloidal o casi coloidal, que se presenta como un fluido homogéneo, en el cual no ocurre segregación granulométrica de las partículas y que, al ser dispuesto suavemente sobre superficies estables, no muestra drenaje significativo de agua. Teniendo en cuenta a (Araujo A. , 2012). “Su fluidez y consistencia durante su deposición, pueden ser determinadas mediante técnicas tales como los ensayos de “abatimiento” (slump test) y de “canaleta” (flume test)”. Las pruebas que se realiza a la pasta de relave son:

a) Ensayo de abatimiento (Slump)

La prueba de abatimiento (slump) se utilizó para medir la consistencia o plasticidad de mezclas de hormigón inicialmente, posteriormente se normalizo por la norma ASTM a partir del año 1998. (Clayton, Grice, & Boger, 2003)

La prueba de cono se inicia con el llenado con concreto hasta completar todo su volumen, siendo retirado verticalmente, y verificándose la diferencia entre la altura original y la final, que se denomina altura de "Slump" o altura de abatimiento. (**Gráfico 6**).

El porcentaje de abatimiento (%ABT) se determina mediante la ecuación siguiente:

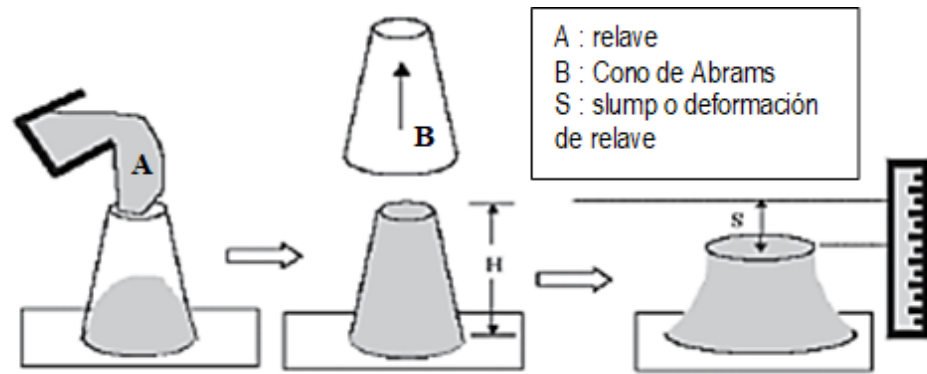
$$\%ABT = \frac{H - h}{H} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

H: altura del cilindro

h: altura de pasta ensayada

Gráfico 6. Procedimiento de ensayos de Slump



Fuente: (Clayton, Grice, & Boger, 2003)

El ensayo de slump se ha realizado para determinar la consistencia de fluidos inelásticos, en concretos y en suspensiones de residuos de minerales. La altura del cono se utiliza como parámetro de control, para evaluar la consistencia de una carpeta. Esta altura es dependiente de la tensión de flujo y la densidad del mineral.

La Tabla 2 presenta algunos tamaños de cilindro utilizados por (Clayton, Grice, & Boger, 2003) y (Hernández, 2005).

Dimensiones y material de construcción de cinco cilindros para la prueba de "slump" de laboratorio, utilizados en los experimentos de (Clayton, Grice, & Boger, 2003) y (Hernández, 2005).

Tabla 2. Tamaño de conos para prueba de consistencia

Cilindro	Altura, H (mm)	Diámetro, D (mm)	Material de construcción
1	75	75	PVC
2	102	102	PVC
3	120	120	Perspex
4	200	200	Lámina metálica
5	100	100	PVC

Fuente: Adaptado de (Clayton, Grice, & Boger, 2003) y (Hernández, 2005)

La prueba de "slump" es muy utilizado para el control de los materiales de relleno.

En las presas, la disposición de relaves y la reducción de uso de concreto en la construcción del muro de contención requiere de estos controles. Los sistemas de "relleno" operan en el rango de concentración de sólidos entre 70 a 90% en masa. A estas altas concentraciones, la tensión de flujo de la pasta es muy sensitivo a las alteraciones de la concentración de sólidos, siendo vital un control efectivo de la estabilidad de la carpeta. (Clayton, Grice, & Boger, 2003).

(Jung, 2002), utilizando pruebas de "slump" en función a la norma ASTM C143, encontró correlaciones consistentes entre los valores de altura de "slump" y las cantidades de agua de las mezclas o pastas estudiadas. Esto fue muy útil para establecer una apropiada consistencia de la mezcla con cemento, ya que un adecuado contenido de agua fue compatible con los criterios de estudios existentes.

2.2.8. Disposición final de relaves

En el pasado la industria minera vertía sus relaves a los campos abiertos, ríos o lagunas sin importar el daño ambiental que ocasionaban, por cierto, con el aval de los funcionarios de turno durante varias décadas. Actualmente la regulación ambiental exige desarrollar estudios que permitan en determinado espacio depositar los relaves en condiciones adecuadas que impidan la expansión de la contaminación y el interés por la deposición de relaves en pasta está creciendo cada vez más dada la importancia que

representa en la simplificación de la separación sólido líquido y asentamiento final de los sólidos.

2.2.9. Tipo de disposición de relave

Del manual de (SERNAGEOMIN, 2007) *Métodos de disposición de relaves*. “El levantamiento de la presa se inicia con un dique de arranque que es construido de material natural de préstamo”, el tamaño de la construcción debe permitir el almacenamiento del volumen de dos o más años de flujo de relave.

Indistintamente del tipo de material empleado en la construcción, el crecimiento de la presa se realiza por tres métodos de disposición: Aguas Arriba, Aguas Abajo y Línea Central. Estas denominaciones son en función del movimiento de la cresta de la presa, respecto a la posición inicial del dique de arranque, a medida que se incrementa su altura.

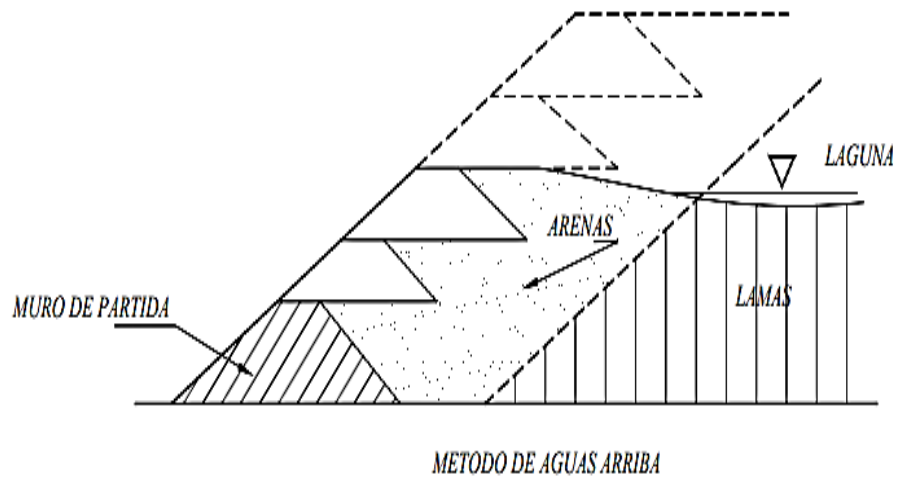
- **Método Aguas Arriba**

Es el sistema más antiguo. Cada recrecimiento se apoya sobre el coronamiento del anterior y la playa de colas depositadas (ver **gráfico 7**).

La presa es levantada por la construcción de muros perimétricos sobre la superficie de la acumulación de relaves precedente, de tal manera que cada dique avanza sucesivamente hacia el interior conforme la presa es levantada. (Rodríguez, 2006). Al respecto (SERNAGEOMIN, 2007) menciona: “Este método produce el tipo de muro menos resistente frente a oscilaciones sísmicas”.

Mittal y Hardy en 1947 indican que “rangos de crecimiento de 45 m/año pueden provocar falla de la presa”.

Gráfico 7. Presa de relaves aguas arriba.



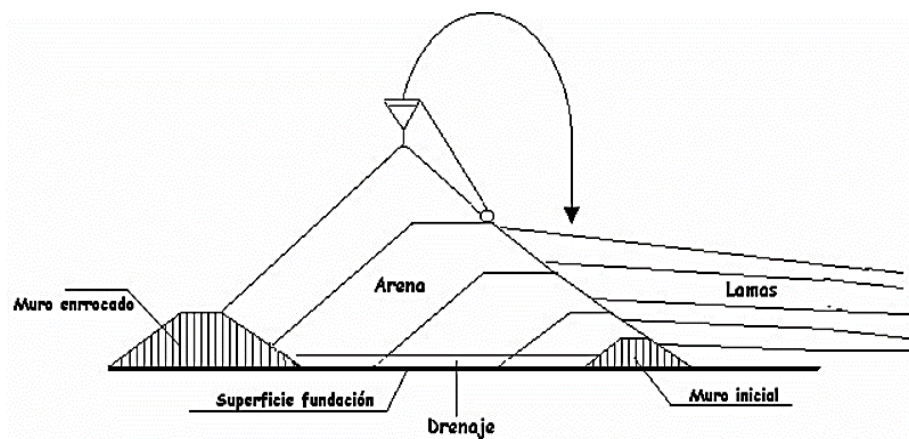
Fuente: (SERNAGEOMIN, 2007)

- **Método aguas abajo**

Se inicia con un muro de partida de material de empréstito compactado desde el cual se vacía la arena cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba (**gráfico 8**) (SERNAGEOMIN, 2007)

Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas y permite lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica.

Gráfico 8. Presa de relaves aguas abajo

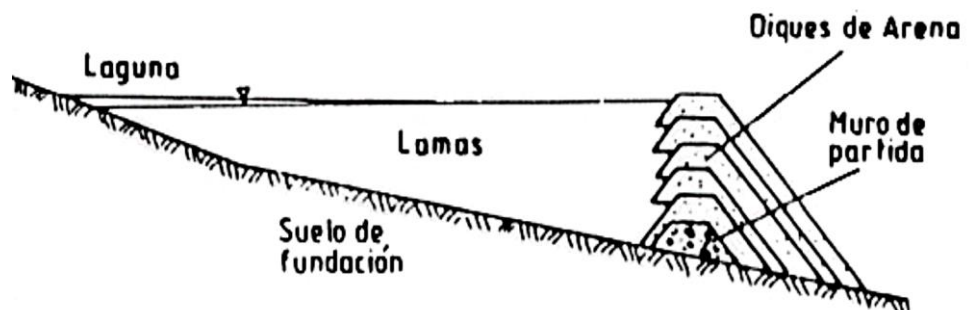


Fuente: (SERNAGEOMIN, 2007)

- **El Método Eje Central o Mixto**

Se inicia al igual que los métodos anteriores con un muro de partida de material de empréstito compactado, sobre el cual se depositan las arenas hacia el lado de aguas abajo y las lamas hacia el lado de aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida (ver **gráfico 9**). Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, el talud de aguas arriba es más o menos vertical, y el talud de aguas abajo puede tener la inclinación que el diseño considera adecuada.

Gráfico 9. Presa de relaves – método línea central



Fuente: (SERNAGEOMIN, 2007)

2.2.10. Espesador

Según (Ara Gabriel, 2019) describe: “El Espesador es un equipo que trabaja en forma continua, tiene un rastrillo que sirve para empujar lentamente, hacia el centro, las partículas sólidas que se van asentando en el fondo en forma de barro espeso, a fin de sacarlo por la descarga (cono). Al mismo tiempo los

rastrillos evitan que el lodo se endurezca demasiado en el fondo, y si no existieran estos no habría forma de sacarlos o descargarlos”.

Sobre el mismo tema (Chia Aquije, 1984) manifiesta: “La sedimentación industrial de las suspensiones de sólidos en agua, se lleva a cabo generalmente a través de un proceso continuo en tanques cilíndricos llamados espesadores; el cual tiene dos brazos mecánicos de rastrillaje del barro o carga espesada”.

Tipo de espesadores

En función a la producción de relaves en pasta tenemos:

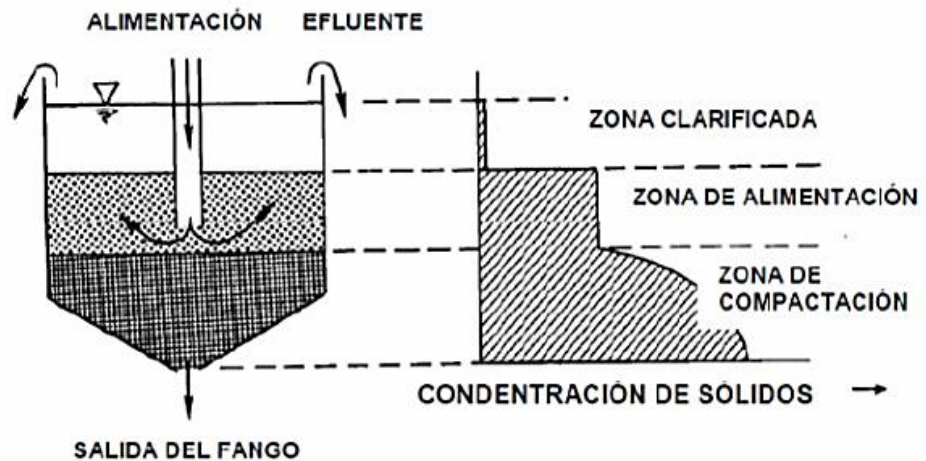
a. Espesador de Alta Capacidad

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

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

Este espesador que maneja razones de 3 a 5 ft²/ton/día. Aunque existen diferentes modelos de espesadores que proporcionan una alta capacidad, dicha facultad no es función del tipo de Espesador si no de la dosificación de floculante como lo muestra el **gráfico 10**.

Gráfico 10. Sólidos vs dosificación de floclante en el espesador de alta densidad



Fuente: (Quiroz Nuñez, 1986)

b. Espesador de cono profundo

Los espesadores de cono profundo fueron desarrollados en la industria del carbón británico en los años 1960 a 1970.

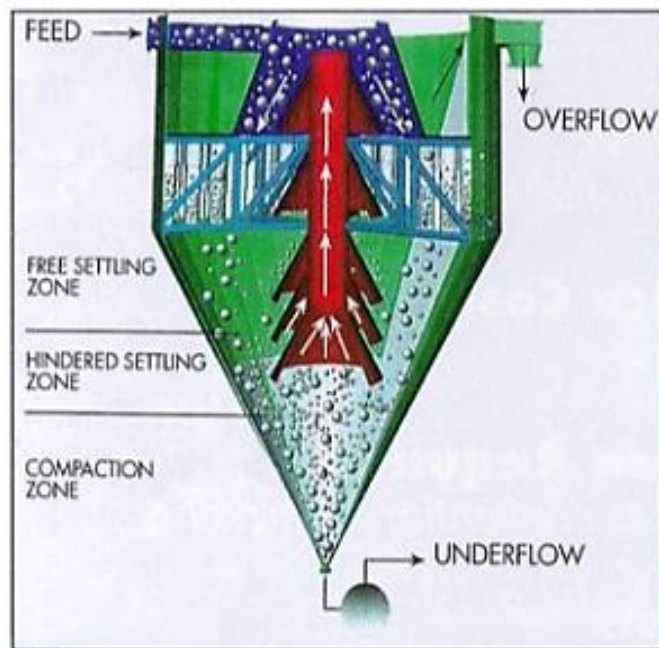
“Con el paso del tiempo el espesador se combinó con las técnicas de floculación, produciéndose cambios en el sistema de alimentación, forma del tanque, rastras y sistema de descarga del underflow. Este espesador se caracteriza por la gran altura que puede alcanzar (varios metros), generando más altas las fuerzas de compresión que origina el aumento de la concentración de los sólidos en la descarga”. (Slotte, 2005).

El espesamiento de sólidos de las pulpas resulta con una elevada tensión necesaria para que se eleve exponencialmente a partir de un determinado porcentaje de sólidos, esto convertido en valores de tensión de flujo superiores a 80 Pa (Araujo, 2003).

En los equipos de separación sólido - líquido, se ha observado una notable sinergia entre floclantes de alto peso molecular y la elevada velocidad de espesamiento. En los últimos años se ha

desarrollo el incremento de la altura de los espesadores, haciendo uso de la compresibilidad natural de las pulpas altamente floculadas para producir así "Underflow" grueso, en muchas situaciones conveniente para la disposición directa. En esto favorece la forma cónica de la descarga que facilita el movimiento de pasta, cuyo ángulo vario de 10 a 60°. Según (Stephen, 2005), los espesadores de pasta mineral se vuelven atractivos por permitir una elevada recuperación de agua en un solo equipo.

Gráfico 11. Espesador sin mecanismo



Fuente: Sedimentación – (Ros Moreno, 2014)

Gráfico 12. Espesador de cono profundo Eimco y espesado en pasta

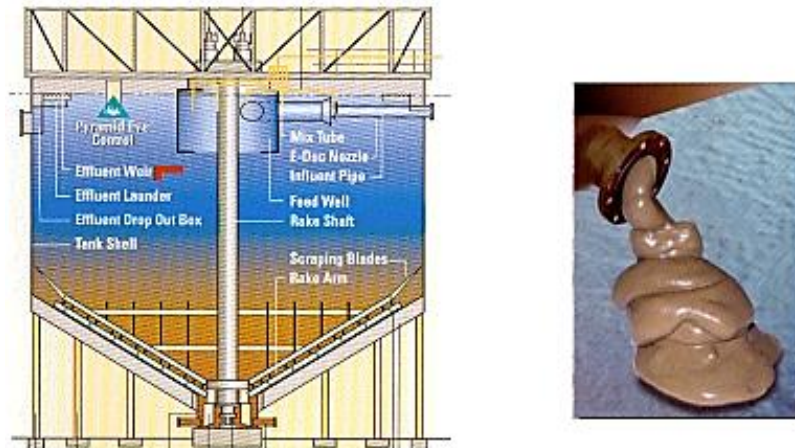


Gráfico 13. Características de espesadores convencional y de cono profundo



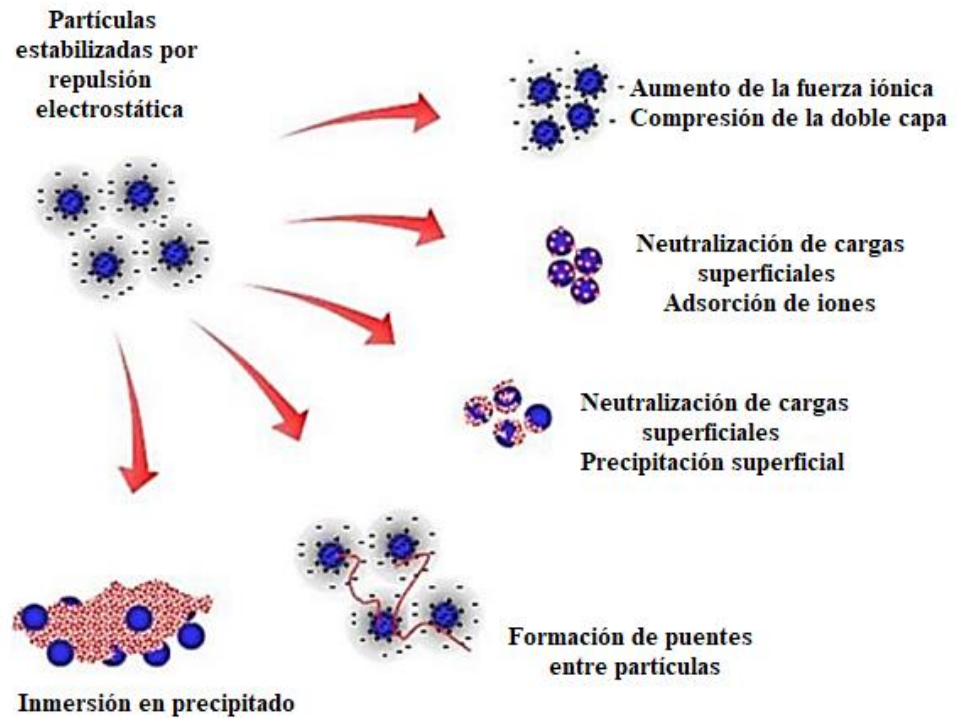
Espesador	Sistema de Alimentación	Hundido Tensión Fluencia	Tanque Talud	"K" Par
Convencional	Sin dilución	Bajo	2°- 5°	K <50
HRT	Con dilución	Bajo	2°- 10°	K <50
HDT	Con dilución	Moderado	8°- 15°	K <125
Cono Profundo	Con dilución	Alto	30°- 45°	K >200

Fuente: Evolución de espesadores – Rodríguez Avello-Sanz

2.2.11. Floculantes

Son insumos que permite la formación de aglomerados o cuerpos nodulares y que permite el asentamiento respectivo por adquirir mayor tamaño de partícula y por cierto más peso. Esto se debe a la aglomeración voluminosa llamados floculos, para favorecer de mayor tamaño al grupo denominado floculantes. Ver **gráfico 14**.

Gráfico 14. Mecanismo de floculación



Fuente: Palli Calla, 2016

Como expresa (Castillo Juversay, 2011) Consiste en la aglutinación de las partículas coaguladas y crecimiento a través de los floculantes para luego ser precipitado con facilidad. Además, menciona “La floculación es beneficiada por la homogenización lenta que permite acumular poco a poco los flóculos; una agitación intensa rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerzas óptimas”

"Partículas de floculación" son aquellas producidas por la unión de partículas coloidales por medio de reactivos químicos. Se denomina "sedimentación floculenta" o "decantación", al proceso unitario de depósito de partículas floculadas, las cuales cambian de características (forma, tamaño, densidad, resistencia) durante el proceso (Ros Moreno, 2014, pág. 16).

En el proceso de separación sólido-líquido el método más utilizado es la floculación con reactivos poliméricos, los que son solubles en agua y, por consecuente, son hidrofílicos (Ros Moreno, 2014, pág. 24).

Floculación significa que es una parte de la coagulación, que se determina por la formación de una malla tridimensional suelta y porosa, generalmente promovida por la acción de una macromolécula que actúa de puente entre las partículas. Generalmente, el flóculo tiene mayor volumen que su correspondiente coagulo (Ros Moreno, 2014, pág. 226).

Los floculantes son polímeros orgánicos de cadena larga y alta masa molecular, solubles en agua, que al establecer puentes entre partículas forman una partícula con un mayor tamaño aparente. (Torres, 2016, págs. 30,31).

A. Tipos de Floculación

a) Floculación Pericinética

Movimiento natural de las moléculas de agua y esta inducida por la energía térmica.

b) Floculación Ortocinética

Se basa en los choques de partículas de mineral debido a la agitación del agua, el que es provocado por una energía exterior mecánica a la masa de agua o hidráulico.

B. Parámetros de la Floculación

- Floculación Ortocinética
- Pendiente de velocidad
- Numero de choques
- Tiempo de retención
- Densidad y tamaño de floculación

- Volumen de lodos

C. Floclantes

- ✓ Floclantes Minerales

Sílice activada que es el primer floclante empleado, que debe ser preparado antes de ser utilizado.

- ✓ Floclantes Orgánicos Naturales

Polímeros de origen naturales que se obtienen de sustancias animales y vegetales

- ✓ Floclantes Orgánicos de Síntesis

Macromoléculas de una gran serie, alcanzados por monómeros sintéticos.

D. Floclación usando polímeros

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

$$\frac{dCN_f}{dt} = -kCN_pCN_f \quad (3)$$

Donde:

CN_f = Número de moléculas del polímero por unidad de volumen

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

En la floclación con polímeros, el flóculo que se forma inicialmente es suelto y voluminoso. Al aplicar las fuerzas

fluctuantes locales y desiguales sobre la superficie del flóculo, ocurre una densificación del medio de dispersión. Este mecanismo adicional de la floculación tiene el nombre de sinéresis mecánica.

E. Factores que afectan la floculación

De la experiencia se ha podido observar que los siguientes factores afectan en los resultados al realizar una floculación en un medio acuoso (Quispe Ordoñez M, 2011).

- **Porcentaje de sólido en una pulpa:** Conforme se incrementa el porcentaje de sólido en una pulpa, se incrementa la edición de floculante ya que hay que mantener los g/Ton del floculante para no afectar.
- **Carga superficial de las partículas:** Dependiendo de esta carga superficial en medio acuoso dependerá el tipo de carga del floculante (aniónico, no iónico o catiónico).
- **Estabilidad de los coágulos:** A veces cuando los coágulos no son lo suficientemente estables, una ligera agitación ocasiona que se rompan impidiendo que el floculante pueda atraparlos.
- **Tamaño de partícula:** Los floculantes tienen la limitación de perder eficiencia conforme se reduzca el tamaño de partícula, cuando estas partículas son menores a 1 micrón es preferible coagular y luego flocular.
- **pH:** a pH bajo se obtendrá mejores resultados con floculantes de baja densidad de carga, a pH alto se obtendrá mejores resultados con floculantes con alta densidad de carga; esto independientemente de si son aniónicos o catiónicos.

2.2.12. Método Coe & Clevenger

La teoría de Coe & Clevenger se basa en el concepto de que, dentro de un espesador, cualquier masa de sólidos que intente descender a una zona de mayor densidad debe tener una velocidad de subsidencia igual o mayor que la velocidad de ascenso del líquido desplazado. Por lo tanto, un espesador adecuadamente dimensionado será aquel que, para distintas diluciones, entre la de la alimentación y la de descarga, tenga suficiente área disponible para que la velocidad de ascenso del líquido nunca exceda la velocidad de subsidencia. Además, asume las siguientes condiciones para el diseño:

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

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

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

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

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

Despejando At:

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

Donde:

F: Relación en peso de la alimentación (líquido/sólido)

D: Relación en peso de la descarga (líquido/sólido)

$Q_{M(F)}$: Capacidad de alimentación en peso, t/h

V_S : Velocidad de sedimentación.

A_t : Área transversal del tanque en m².

P_L : Gravedad específica del líquido.

- 1) De acuerdo a Coe & Clevenger puede haber muchas zonas que sedimentan, pero el área de un espesador se determina en base a las condiciones en el sector de sedimentación o “zona de sedimentación libre”
- 2) Coe & Clevenger no explican en su teoría la razón por la cual la velocidad de sedimentación disminuye entre la zona de transición y de compresión en una prueba batch.
- 3) Para aplicar la fórmula de Coe & Clevenger no es necesario dibujar toda la curva de sedimentación, sino sólo el principio de la curva para determinar la velocidad de sedimentación.
- 4) Para hallar D se mide la altura final (HF) del sólido decantada al cabo de 24 horas.
- 5) El método de Coe & Clevenger requiere, por lo tanto, múltiples pruebas de sedimentación a distintas diluciones iniciales con el objetivo de seleccionar un área unitaria adecuada. Se recomienda repetir la prueba al menos 4 veces.
- 6) Ya que, por lo general, este método arroja valores subestimados del área unitaria, es común el empleo de factores de seguridad entre 1,25 a 1,5 para espesador menores a 15m de diámetros, y de factores de 1,3 a 1,5 para unidades de mayor diámetro.

- 7) El principal error del modelo de Coe & Clevenger es la asunción de que la sedimentación de un producto floculado es independiente de la concentración de sólidos iniciales. Esta asunción no es siempre correcta.
- 8) La teoría de Coe & Clevenger propone que el área del espesador puede determinarse únicamente por las condiciones que se encuentran en la zona de libre sedimentación, en la que los flósculos generados caen sin ejercer presión sobre las capas de flóculos que se encuentran debajo. Se sabe que esto no es necesariamente cierto, y hay otras consideraciones que deben tenerse en cuenta para analizar el fenómeno de sedimentación.

2.3. Definición de términos básicos

Aglomeración

Es el proceso de aglomerado-curado consiste en la adhesión de las partículas finas a las gruesas, o a las partículas finas – gruesas adherirse con el floculante.

Las fuerzas que mantienen unidas las partículas en los aglomerados se deben a la tensión superficial y a las uniones químicas interpartículas.

Efluentes líquidos

Los efluentes son todas las emisiones al ambiente que producen efectos no deseables en el mismo.

En este sentido amplio cualquier emisión, sea de líquidos o sólidos como olores, ruidos y radiaciones puede considerarse como efluente.

En conclusión, el manejo de los efluentes líquidos es una de las principales problemáticas ambientales, porque si se realiza de una forma inadecuada puede provocar enfermedades infecciosas.

Espesador de Cono Profundo

Según (Claudia U, 2007), son estanques de gran diámetro y de poca profundidad relativa, desde los cuales se separa el líquido claro en su parte superior y la pulpa con alta concentración de sólidos en el fondo.

Floculante

Los floculantes son polímeros orgánicos de cadena larga y alta masa molecular, solubles en agua, que al establecer puentes entre partículas forman una partícula con un mayor tamaño aparente. La mayoría de los floculantes utilizados en minería son reactivos aniónicos, pero también los hay del tipo catiónicos (se adsorben a las partículas por algún tipo de interacción química), pero también hay del tipo catiónicos y los no iónicos (la adsorción sólo se produce por una reacción química específica, denominada enlaces de hidrógeno).

Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

En conclusión, la floculación es la aglomeración de partículas finas incrementando de tamaños y densidad de las partículas coaguladas y de esta manera aumentando la velocidad de sedimentación.

Pasta mineral

Es el relave con mayor concentración de sólidos a quien se le ha quitado el agua en un 25 a 35 %, mediante el uso de espesadores para obtener una concentración de sólidos con valores entre 65 o 75 %.

Reología

Es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Dentro de la minería estudia el comportamiento de los fluidos espesados que son utilizados en el relleno hidráulico. En minería las pruebas reológicas determinan el comportamiento del material espesado, en términos de viscosidad y "Yield Stress" del mismo.

Sedimentación

Material sólido transportado por una corriente de agua y se posa en el fondo de un tanque. Según (Concha arcil F, 2001), "Es el proceso de asentamiento de un material sólido o líquido desde un fluido, generalmente agua o aire, desde un estado de suspensión".

Según (Cabrera Jara, 2016), "Es una operación unitaria consistente en la separación por la acción de la gravedad de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro".

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La selección de los factores influye significativamente en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

2.4.2. Hipótesis Específica

- La selección de floculante adecuado influye considerablemente para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

- Mediante la selección de los factores influyentes se logrará la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.
- El control de los factores influyentes mejora en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

La variable independiente (VI) es:

“Los factores influyentes del efluente y disposición de relave”

2.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente (VD) es:

“Optimización”

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 3. Variables e indicadores

Variables	Dimensiones	Indicadores	Tipo
Independiente: Los factores influyentes del efluente y disposición de relave	Selección de floculante	<ul style="list-style-type: none"> Distribución del tamaño de partícula % de sólidos 	Cuantitativo
	Selección de factores influyentes	<ul style="list-style-type: none"> Floculante AR 5215 g/t floculante 	
	Mejorar los factores influyentes	<ul style="list-style-type: none"> Altura de cama Tiempo de residencia % sólidos de descarga 	
Dependiente: Optimización	% sólidos en pasta Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> % solidos NTU 	Cuantitativo

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio de investigación es de carácter aplicativo experimental; debido a que busca resolver el problema real que se presenta en el proceso operacional, para la mejora de la eficiencia y productividad.

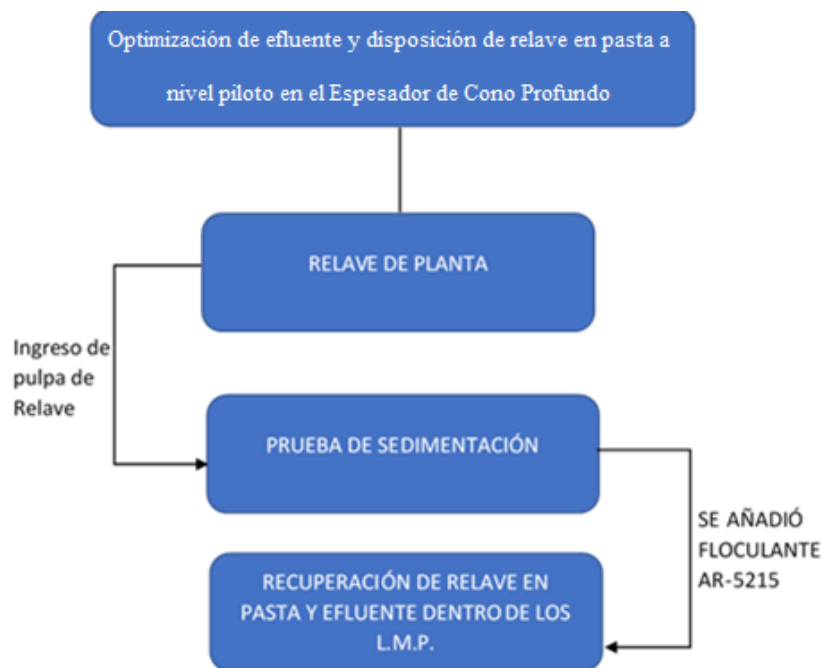
3.2. Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio experimental y descriptivo.

3.3. Método de investigación

El método desarrollado es experimental, las técnicas integran a los procedimientos concreto que el investigador utiliza para lograr la eficiencia; las técnicas son específicas y tienen carácter práctico y operativo.

Por ser de carácter aplicativo el presente estudio de investigación ha sido empleado con método experimental, ya que se tienen hipótesis basadas en resultados reales a las cuales fueron sometidos los elementos de estudio.



El trabajo a desarrollar es cuantitativo, basado a determinados parámetros y datos reales.

3.4. Diseño de la investigación

La investigación experimental se caracteriza fundamentalmente, por establecer básicamente la manipulación y control de las variables o condiciones, que practica el investigador durante el proceso experimental.

En un proceso experimental, una variable independiente produce una alteración o variación específica en la variable dependiente; depende esencialmente de la manera como esté diseñado el experimento. Los procesos estadísticos permiten validar el procedimiento empleado, que permite afirmar que el procedimiento este bien desarrollado, al punto que se puede ratificar que las variaciones producidas en el experimento sólo y exclusivamente son atribuidas a los factores de la variable independiente.

El diseño empleado en la presente investigación es **experimental**; mediante diseños factoriales, ya que es necesario realizar las pruebas en el laboratorio manipulando valores de los factores experimentales y controlando

aleatoriamente los factores intervinientes en el proceso, para lograr un óptimo resultado en el proceso operacional.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Como población de estudio se consideró al relave tratado que evacúa la planta diariamente en su tratamiento de mineral polimetálico (Pb, Ag, Cu y Zn) durante 360 días, que ingresan a las operaciones de Planta concentradora Carahuacra de 5200 TMD, para posterior ser sometidos los 4170 TMD a pruebas de clarificación y bombeo de pasta de relave.

3.5.2. Muestra

Como muestra de estudio se consideró el caudal de relave que ingresa al espesador de cono profundo de 1050 m³/h, 694 l/min, que es muestreado cada 1 hora en probeta de 1000ml. Muestra que será sometida a analizar para cada prueba sedimentación con y sin floculante, y verificar la turbidez de agua clarificada.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos, son los procedimientos y actividades que permiten al investigador obtener la recopilación de datos necesario para dar validez a su objetivo de investigación, se dice que todo método incluye técnicas.

Las técnicas constituyen en un conjunto de mecanismo, medio o recursos dirigidos a recolectar, analizar y emitir los datos de los fenómenos sobre los cuales se investiga.

Las principales técnicas de recolección de datos que se usaron en la investigación fueron:

- **Muestreo:** Se realizaron tomas de muestras de pulpa de relave y se realizó los análisis cuantitativos.
- **Pruebas experimentales:** Desarrollado en base a la toma de muestras y la sedimentación de los relaves.
- **Observación no experimental:** Son los monitoreos visuales del comportamiento operacional de dicho estudio experimental.
- **Entrevista:** Realizado a los profesionales expertos en el campo metalúrgico con respecto al tema; haciendo posible acercarnos a los investigados a fin de conocer de fuente directa, con algunas búsquedas de datos realizados en un cuestionario dirigida al informante. (figura 6. Cuestionario adoptado en la recolección de información)
- **Datos recolectados:** La recolección es directa, enviados por el laboratorio Químico de Yauli.

En las investigaciones se usan fundamentalmente la técnica de la observación:

- a. **La observación de campo** es un recurso principal de la observación descriptiva; se realizan en los lugares de los hechos investigados. La investigación educativa y social recurren en gran medida a esta modalidad.
- b. **La observación de laboratorio** se entiende de dos maneras: son lugares preestablecidos para realizar efectos tales como archivos, bibliotecas y naturalmente en los laboratorios, por otra parte, es una investigación de laboratorio que observa sus comportamientos y actitudes.

Los instrumentos de recolección de datos son principios de cualquier recurso que puede usar el investigador para llegar a los fenómenos y extraer de ello los datos necesarios o información.

Entre los equipos de laboratorio y los cuestionarios que se utilizaron fueron:

- Caudalímetro.
- Densímetro.
- Balanza electrónica.
- Reactivos de floculación.
- Probetas de 1000 ml
- Cono de Abrams.
- Balanza Marcy
- Medidor de Turbidez portátil
- Cronómetro
- Agitador manual

Presentamos la siguiente tabla y cuestionario utilizados para el acopio de datos en las pruebas realizadas en campo, que fueron las siguientes:

Tabla 4. Muestreo de alimentación de pulpa

Nº Prueba	Flujo m ³ /h	Densidad inicial g/l	Sólidos %	Tratamiento Ton/h
1	987.79	1090	12.60	135.69
2	972.88	1080	11.31	118.79
3	1,041.08	1070	9.99	111.23
4	1,092.81	1120	16.35	200.16
5	896.96	1070	9.99	95.83
6	916.78	1130	17.56	181.91
7	856.33	1060	8.64	78.42
8	993.71	1180	23.28	273.01
9	937.51	1190	24.37	271.88
10	954.32	1180	23.28	262.19
11	868.13	1180	23.28	238.51
12	918.34	1100	13.88	140.17
13	993.55	1180	23.28	272.96
14	892.80	1200	25.44	272.54
15	898.91	1170	22.18	2353.24
Total	14222	17000	265	2886.53
Promedio	948	1133	17.69	192

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15. Cuestionario adoptado en la recolección de información

¿Qué condiciones cuenta el relave en pasta?

El relave en pasta se considera mayormente el transporte de pulpa de mas de 68% de concentración de peso pudiendo llegar hasta un 92 %, depende mucho de la gravedad específica de los sólidos

¿En qué proceso afecta, si el proceso metalurgia de disposición de relave y el agua de rebose no cumplen con las condiciones operacionales?

Las aguas de rebose son recirculadas a los diversos procesos metalúrgicos de la Planta Concentradora de Carahuacra; generando problemas metalúrgicos diversos, consecuencia de la presencia de iones metálicos en el agua. Además, el agua no recirculada se almacenaba en el vaso de la relavera afectando su estabilidad física.

¿Esté Espesador de Cono Profundo (DCT), ayudaría en el tiempo de vida en la Relavera Rumichaca?

Ayudaría bastante en el tiempo de vida, ya que, en el recrecimiento con este proceso actual, apresura la vida de la relavera constantemente, por eso se implantó y/o construyo el espesador de cono profundo.

¿Cómo eligieron el tipo de floculante que usarian en el proceso del espesador de cono profundo?

Se eligió de acuerdo al proceso de agua ácidas en operación que actualmente se usa; en el espesador de agua ácida el floculante en el proceso es bueno, de acuerdo a ello se como como referencia inicial y se uso este floculante (MT-4219), que también en el uso en el espesador fue resultando bien en el proceso.

Gráfico 16. Resultados del laboratorio químico en el análisis de agua



Volcan Cia. Minera S.A.A.
Laboratorio Químico Yauli
(01) 4167000 Anexo 83330

Código	Reg LQY 7.5.6-142
N° Versión	1
Páginas	1/1
Emisión Inicial	01-03-2018

laboratorio	Ce. Laboratorio Yauli		
Unidad Cliente	Carahuacra		
Referencia del cliente / Orden	---		
Fecha de Resultados	07/10/2019	Fecha de Recepción: 05/10/2019	Hora: 15:45

INFORME DE RESULTADOS
DATOS DE CALIDAD

Resultados de la Muestra					Parámetros Físicoquímicos		ABSORCION ATOMICA - METALES TOTALES					
N°	Código de muestra	Descripción	Procedencia	Fecha de Muestreo	pH	TSS (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)
1	2187031	MA-19 Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas de Mina	CARAHUACRA	5/10/2019	-	10	0.03	0.03	0.64	0.51	47.53	0.14
2	2187034	DCTI	CARAHUACRA	5/10/2019	-	6.0	0.05	0.03	0.29	0.41	0.12	<0.02
3	2187039	MA-01 Rio Yauli antes de las Operaciones	CARAHUACRA	5/10/2019	-	8.5	0.04	0.03	0.27	0.69	1.05	<0.02
4	2187040	MA-03 Rio Yauli aguas abajo.	CARAHUACRA	5/10/2019	-	9.0	0.02	0.03	0.51	0.56	19.54	0.20
5	2187038	P-4 Rio Rumichaca, aguas abajo del punto de vertimiento P-1	CARAHUACRA	5/10/2019	-	0.5	0.04	0.02	0.21	0.47	0.85	1.12

Resultados de la Muestra					Parámetros Físicoquímicos		ABSORCION ATOMICA - METALES DISUELTOS					
N°	Código de muestra	Descripción	Procedencia	Fecha de Muestreo	pH	TSS (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)
1	2187031	MA-19 Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas de Mina	CARAHUACRA	6/10/2019	-	-	-	-	-	0.06	-	-
2	2187034	DCTI	CARAHUACRA	6/10/2019	-	-	-	-	-	<0.01	-	-
3	2187039	MA-01 Rio Yauli antes de las Operaciones	CARAHUACRA	6/10/2019	-	-	-	-	-	0.08	-	-
4	2187040	MA-03 Rio Yauli aguas abajo.	CARAHUACRA	6/10/2019	-	-	-	-	-	0.06	-	-
5	2187038	P-4 Rio Rumichaca, aguas abajo del punto de vertimiento P-1	CARAHUACRA	6/10/2019	-	-	-	-	-	0.08	-	-

METODO DE ENSAYO

N°	Método	Descripción
1	LQY-MA-ME-01	DETERMINACION DE Cu,Pb,Zn,Mn,Fe Y As EN MUESTRAS DE AGUA POR AAS

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

- ✓ **Selección de instrumentos de investigación.** - La selección de los instrumentos de investigación optados para este estudio, fueron en recoger informaciones de las muestras, pruebas experimentales (utilizando instrumentos de laboratorio), Observaciones no experimentales, entrevistas y reportes de pruebas que emitía el laboratorio químico, y con las técnicas aprendidas en los entornos universitarios.
- ✓ **Validación.** – Se entiende por validez de un instrumento de medición, al valor que nos indica, que este instrumento está midiendo lo que pretende hallar. Se dice que el instrumento es válido, cuando mide lo que realmente se quiere medir, que nos permitirá lograr resultados equivalentes.

Para el cálculo de validez se utilizó la validez predictiva, para lo cual se correlacionó todos los datos obtenidos en el laboratorio químico y en las

pruebas metalúrgicas, en ambos instrumentos se predice lo que se pretende predecir, luego de allí se incluye siempre un análisis factorial de los datos. Toda esta recolección de datos se validó con el jefe de guardia y el laboratorio químico de la Unidad Minera Volcan (reporte como se aprecia en el **gráfico 17**, que da validez de resultados.


Laboratorio	Ce. Laboratorio Yauli			INFORME DE RESULTADOS						
Unidad Cliente	Carahuacra			DATOS DE CALIDAD						
Referencia del cliente / Orden	---	Fecha de Recepción: Hora: 14:18								
Fecha de Resultados	24/11/2019 23/11/2019									
Resultados de la Muestra			Parámetros Físicoquímicos		ABSORCION ATOMICA - METALES TOTALES					
N°	Descripción	Procedencia	Turbi. (NTU)	TSS (ppm)	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm	As ppm
1	ESPEJO DE AGUA	CARAHUACRA	4.67	1.01	0.02	0.01	0.18	0.08	0.12	0.02
METODO DE ENSAYO										
N°	Descripción									
1	DETERMINACION DE Cu,Pb,Zn,Mn,Fe Y As EN MUESTRAS DE AGUA POR AAS									

Gráfico 17: Reporte de resultados de validación por el laboratorio químico de

Yauli, en la calidad clarificada

- ✓ **Confiabilidad.** - La confiabilidad es un grado de consistencia obtenido en una serie de mediciones tomadas con el mismo instrumento.

La confiabilidad denota estabilidad y constancia de los resultados, esperando que no se presenten variaciones significativas en las pruebas metalúrgicas.

Los análisis de confiabilidad, fueron basados a través de cálculos estadísticos empleado en campo y reportes del laboratorio químico por los profesionales involucrados, al cual garantiza los ensayos y la correcta toma de muestras realizadas con el mayor cuidado posible por todas las muestras obtenidas.

Por tanto, las observaciones de los valores obtenidos en el proceso, a través del análisis estadístico de confiabilidad del instrumento de recolección de datos, empleado en el estudio de campo nos permite arribar a la conclusión

que el instrumento es confiable, tal como como se muestra en el cálculo efectuado con el floculante, que indica resultados óptimos en el proceso metalúrgico.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se define a las herramientas o programas estadísticos para el procesamiento de datos. Existen programas que se utilizan para almacenar datos como, programas estadísticos, hojas de cálculos, entre otros, para ello es necesario elegir algo que se adapte a las características de datos del proceso de investigación y al que dominaremos mejor.

El análisis de datos requiere un conocimiento de la estadística, para que una investigación sea verídica, el investigador tiene que someter datos de prueba estadística y para ello se debe tener conocimiento a la metodología estadística a utilizar.

3.8.1. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos obtenidos a lo largo de la investigación se utilizó el paquete estadístico denominado Statgraphics centurión XVIII, para formular los gráficos de efecto, tablas, modelo matemático del fenómeno investigado y análisis de factores influyentes que fueron interpretados.

Se utilizó herramienta de estadística descriptiva que son obtenidos del grupo de observaciones sujeto a estudio y análisis gráfico aplicando el software Microsoft Excel.

Se evaluó las muestras para determinar las siguientes propiedades:

- Flujo del caudal
- Densidad
- Gravedad específica

- Granulometría
- Análisis de agua

Todos estos datos obtenidos nos sirven para ver la optimización de la conducta física y química del Efluente, y el Relave

3.8.2. Análisis de datos

Para el estudio del trabajo, la herramienta utilizada para el análisis de datos es la estadística. Esta disciplina proporciona innumerables beneficios a la investigación científica. La estadística descriptiva se entiende como el conjunto de métodos para procesar información en funciones de los datos cualitativos y cuantitativos de tal forma que les da un significado. La estadística inferencial estudia la confiabilidad de las inferencias de que los fenómenos observados en la muestra son extensivos a la población de donde se obtuvo la muestra, es decir, facilita implantar inferencias de la muestra analizada hacia la población de origen.

3.9. Tratamiento Estadístico

Se realizó la interpretación de la tabla de análisis de varianza, determinando los factores significativos de diseño, también se analiza los factores óptimos en la fuente cuyo efecto sobre la respuesta es de particular interés.

Se usaron formulas establecidas para el análisis de datos descriptivos y datos inferenciales, de ello se utilizan medidas de variabilidad, asimismo para la inferencia se utilizará las pruebas de hipótesis.

Se usaron elementos de apoyo como los paquetes estadísticos tales como el statgraphics centurión XVIII y el Microsoft Excel, los cual nos permitió desarrollar la generalización de los resultados.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la voluntariedad), los procedimientos justos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta, revisión científica previa y las leyes aplicables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

- **Muestra de relave inicial**

Se tomaron muestra de relave a intervalos de 1 hora en baldes no contaminados, con el muestreador adecuado y seguidamente se pesó la muestra en una balanza Marcy (densímetro), dando como datos de densidades, porcentaje de sólidos; y la medición de caudal proveniente de un caudalímetro que se encuentra instalado en el Espesador de Cono profundo.

Ver tabla siguiente.

Tabla 5. Variables de alimentación del relave en Pulpa

N° Prueba	Flujo m3/h	Densidad inicial g/l	Sólidos %	Tratamiento Ton/h
1	987.79	1090	12.60	135.69
2	972.88	1080	11.31	118.79
3	1,041.08	1070	9.99	111.23
4	1,092.81	1120	16.35	200.16
5	896.96	1070	9.99	95.83
6	916.78	1130	17.56	181.91
7	856.33	1060	8.64	78.42
8	993.71	1180	23.28	273.01

9	937.51	1190	24.37	271.88
10	954.32	1180	23.28	262.19
11	868.13	1180	23.28	238.51
12	918.34	1100	13.88	140.17
13	993.55	1180	23.28	272.96
14	892.80	1200	25.44	272.54
15	898.91	1170	22.18	2353.24
Total	14222	17000	265	2886.53
Promedio	948	1133	17.69	192

Fuente: Datos obtenidos del proceso (Elaboración propia)

Se puede apreciar las variaciones de la alimentación al proceso en la tabla 5; las cuales estas variaciones de flujo del relave comprenden de 856,33 m³/h a 1092,81 m³/h que no tienen una correlación con las densidades que varía entre un rango de 1060 a 1200 g/l, teniendo un promedio de 1133 g/l con un porcentaje de sólido de 17,69 %.

- **Gravedad específica**

Para determinar la gravedad específica de los sólidos de la muestra representativa de relave, emplearon la siguiente ecuación:

$$Ge = \frac{W}{(w_{pw,t} - (w_{pws,t} - w))}$$

Donde:

W = Peso de muestra, g,

$w_{pw,t}$ = Peso del Picnómetro + agua contenida, g,

$w_{pws,t}$ = Muestra + picnómetro + agua no desplazada, g,

$(w_{pw,t} - (w_{pws,t} - w))$ = Peso del agua desplazada por la muestra.

Tabla 6. Gravedad específica de la muestra

Gravedad Especifica		
Formula=	W Mineral/L Final - L Inicial	
W mineral	L. Inicial	L. Final
30.00	89.68	99.7
Ge. =	2.99	

Fuente: Laboratorio Metalúrgico – Carahuacra

Según reporte de laboratorio metalúrgico como se aprecia en la tabla 6, nos da la gravedad específica del relave en 2,99 g.

- **Análisis químico**

Se reporta en la tabla 7 el resultado de análisis químico del relave, reportado por el laboratorio químico.

Tabla 7. Resultado de análisis químico del relave

Muestra	Análisis químico						
	% SiO ₂	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	% Mn	% S
Composito	50,13	0,08	0,23	0,45	24,60	0,42	3,62

Fuente: Laboratorio Químico – Minera Volcan - Yauli

4.1.1. Análisis granulométrico del relave

El análisis granulométrico determinado en la tabla 8 nos muestra la distribución granulométrica del relave, encontrándose que el 59,57% se encuentra por debajo de las 75 μm , así dando a conocer que, para la disposición de relave en pasta, se tiene mínimo contenido de partículas finas en el relave.

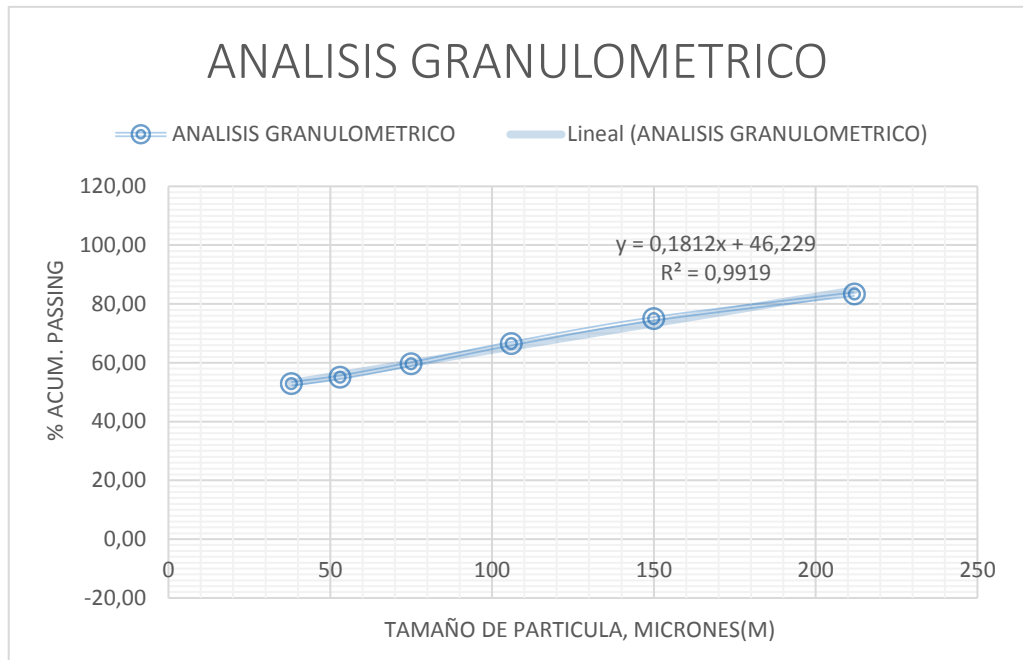
En el gráfico 18 se aprecia el comportamiento distribuido de las partículas de relave, con un coeficiente de determinación de 0,9919, que se estudiaron en las pruebas experimentales.

Tabla 8. Análisis granulométrico de muestra del relave

ANÁLISIS GRANULOMETRICO						
Malla	Abertura (micras)	Peso (gramos)	% Peso	Acumulado (+)	Pasante (-)	
70	212	83.05	16.61	16.61	83.39	
100	150	42.28	8.46	25.07	74.93	
150	106	42.13	8.43	33.50	66.50	
200	75	34.66	6.93	40.43	59.57	
270	53	22.59	4.52	44.95	55.05	
400	38	10.99	2.20	47.15	52.85	
-400	-38	264.20	52.85	100.00	0.00	
Cab Cal.		499.90	100.00			D80= 187.17
Cab Ensy				Corr.		D50= 33.90

Fuente: Laboratorio Metalúrgico Minera Volcan (Elaboración propia)

Gráfico 18. Distribución del tamaño de partículas de la muestra del relave



4.1.2. Evaluación de sedimentación sin floculante

Se procedió a elegir como primer estudio, la realización de las pruebas de sedimentación con pulpa de relave a un 17% de sólidos, sin la adición de floculante, estos valores de cada indicador o factor, son tomados en relación a los parámetros establecidos. Según en la tabla 9 nos demuestra el comportamiento sin la adición de floculante la sedimentación de las partículas; en los primeros 15 seg la velocidad de sedimentación es rápida, luego como se aprecia en el gráfico 19 a partir de los 20 seg hacia adelante la sedimentación de las partículas varía lentamente hasta llegar a una altura de 4,18 cm en 60 seg como punto crítico de asentamiento.

Tabla 9. Pruebas de sedimentación sin floculantes

Sin floculante	
Tiempo (seg)	Altura (cm)
0	32
5	26.5
10	16.8
15	9.5
20	6.9
25	5.7
30	5.2
35	4.98
40	4.75
45	4.6
50	4.4
55	4.25
60	4.18

Fuente: Elaboración propia

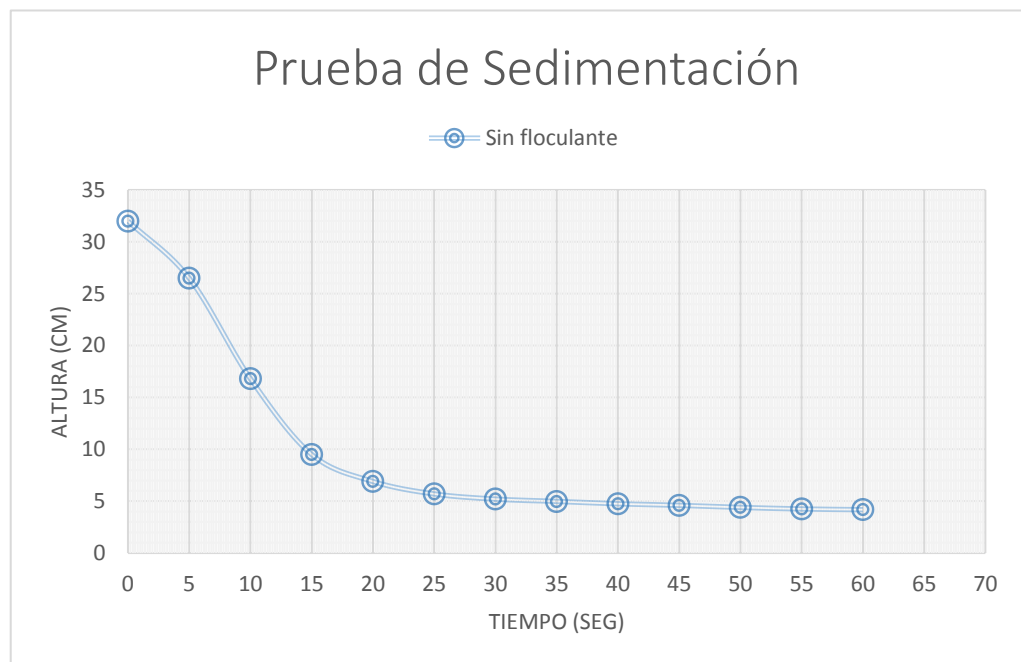


Gráfico 19. Velocidad de sedimentación del relave sin floculantes

4.1.3. Evaluación de sedimentación con floculantes

Previamente se realizaron pruebas con los floculantes de Arenas, Mercantil y Mathiesen, según como punto de referencia a iniciar las pruebas de sedimentación, el floculante Mercantil MT-4219 actualmente se viene usando en la operación de la planta DCT (deep cone thickener), lo cual nos demuestra que viene trabajando regularmente, debido a ello se selecciona

floculantes como, el de Arenas AR-5215 y Mathiesen AS-23. Lo cual se determinará la adición de un floculante que trabaje en cualquier cambio de dilución y ph que presente el proceso. De ellos se seleccionará al floculante de mayor eficiencia de acuerdo a la velocidad de sedimentación y en solución clarificada de turbidez (NTU) óptima. Los floculantes seleccionados fueron:

- ✓ Floculante Arenas AR - 5215
- ✓ Floculante Mercantil MT - 4219
- ✓ Floculante Mathiesen Met - S 23

Tabla 10. Floculantes y parámetros utilizados para la Sedimentación de Relave

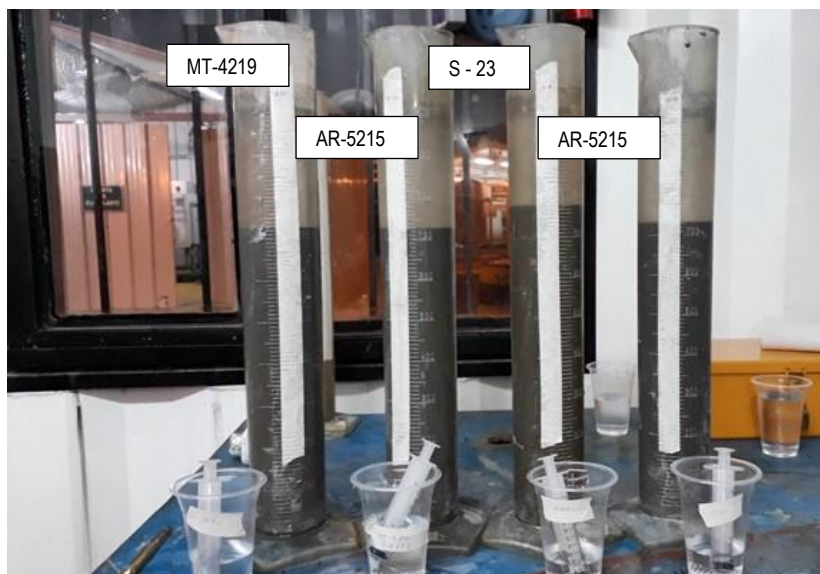
FLOCULANTES UTILIZADOS		PARÁMETROS				
		CONCENTRACION (%)	DOSIFICACION (CC)	G.S.	DENSIDAD DE PULPA g/l	% SOLIDOS
MERCANTIL	MT-4219	0.05	5	2.99	1194	17.69
ARENAS	AR-5215	0.05	5	2.99	1194	17.69
MATHIESEN	AS-23	0.05	5	2.99	1194	17.69



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la preparación de los floculantes a una concentración 0.05% y se adicionó 5 cc de cada tipo de floculante a todos los volúmenes de relave contenidos en las muestras homogenizadas en probetas de 1000 cc, continuando se agitó por 10seg a cada uno de ellos para luego proceder a tomar los datos de comparación de floculantes en la sedimentación (tiempo vs altura) y medición de la turbidez (NTU) como se aprecia en la foto 1.

Foto 1. Pruebas de sedimentación con floculantes



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 11 se verifica datos sobre las velocidades de sedimentación con los floculantes Arenas AR – 5215, Mercantil MT – 4219 y Mathiesen Met - S 23, demostrándonos el comportamiento de sedimentación de las partículas de relave.

Para el floculante Arenas AR – 5215, en los primeros 30 seg la velocidad de sedimentación es rápida, luego como se aprecia que a partir de los 35 seg hacia adelante la sedimentación de las partículas varia lentamente hasta llegar a una altura de 7.1 cm en 60 seg como punto de asentamiento y una turbidez de 5,85 NTU.

Para el floculante Mercantil MT – 4219, en los primeros 30 seg la velocidad de sedimentación es rápida, luego como se aprecia que a partir de los 35 seg hacia adelante la sedimentación de las partículas varia lentamente hasta llegar a una altura de 8,5 cm en 60 seg como punto de asentamiento y una turbidez de 10.6 NTU.

Para el floculante Mathiesen Met - S 23, en los primeros 35 seg la velocidad de sedimentación es rápida, luego como se aprecia que a partir de

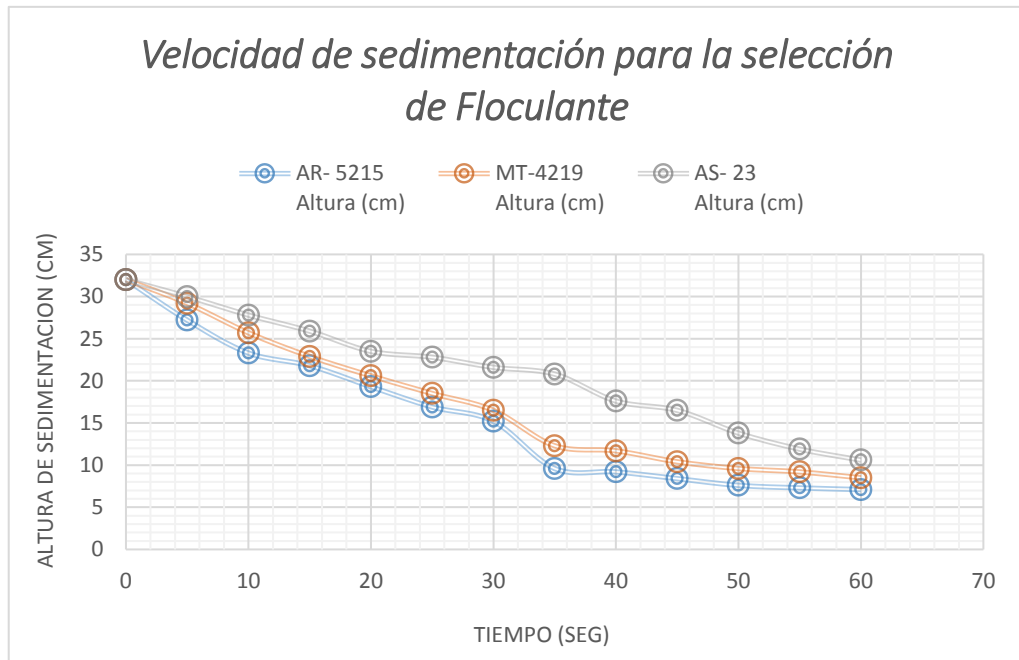
los 40 seg hacia adelante la sedimentación de las partículas varia lentamente hasta llegar a una altura de 10,6 cm en 60 seg como punto de asentamiento y una turbidez de 20,8 NTU.

Tabla 11. Pruebas de comparación con floculantes

PRUEBA DE COMPARACION DE FLOCULANTES			
Tiempo (seg)	AR- 5215 Altura (cm)	MT-4219 Altura (cm)	AS- 23 Altura (cm)
0	32	32	32
5	27.2	29.2	30
10	23.3	25.7	27.8
15	21.8	22.9	25.9
20	19.3	20.6	23.5
25	16.9	18.5	22.8
30	15.2	16.5	21.6
35	9.6	12.3	20.8
40	9.2	11.7	17.6
45	8.4	10.4	16.5
50	7.6	9.6	13.8
55	7.3	9.2	11.9
60	7.1	8.5	10.6
Turbidez (NTU)	5.85	10.6	20.8

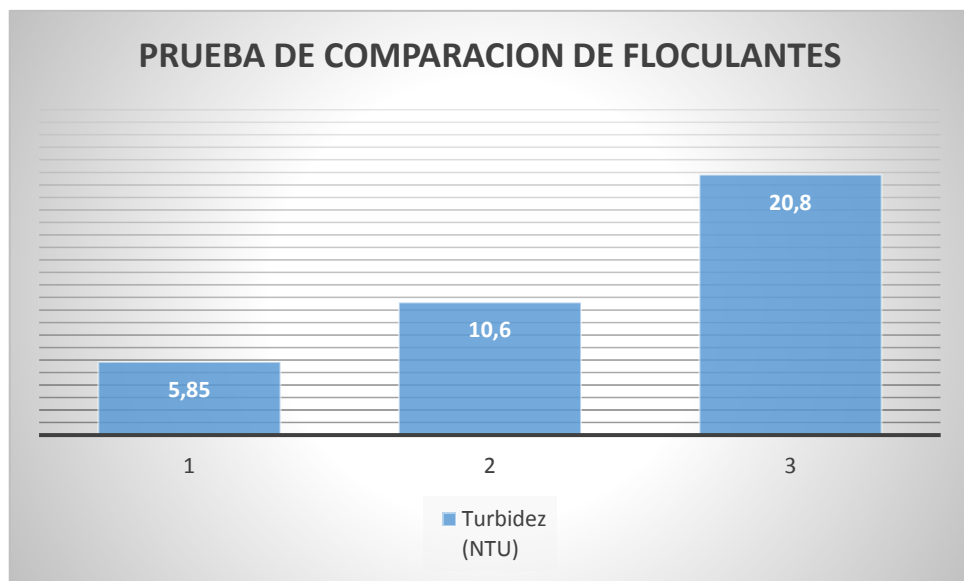
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20. Tendencias de sedimentación con diferentes floculantes



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21. Diferencias de turbidez en comparación de floculantes



Fuente: Elaboración propia

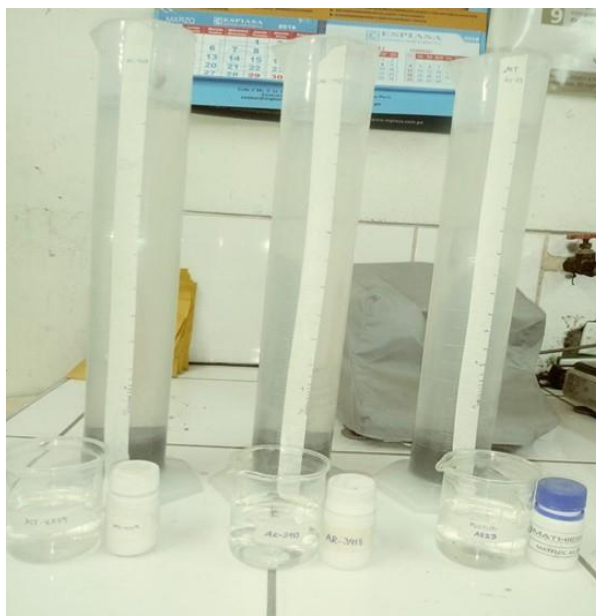
En el gráfico 20 se observa las curvas de sedimentación con respecto a los floculantes seleccionados, lo cual estos floculantes son influyentes en las aglomeraciones de partículas, actuando como puentes entre ellas y permitiendo así que sedimenten de acuerdo a una buena aglomeración lo más rápido. Sus compuestos que se usan como floculante son

generalmente, polímeros de un alto peso molecular que poseen cargas eléctricas opuestas a las partículas en suspensión que se quiere sedimentar, es por eso verificando la reacción de sedimentación más rápido se aprecia con el floculante Arenas AR – 5215 que es ligeramente aniónico, dando como altura de 7,1 cm en 60 seg como punto de sedimentación y teniendo una óptima solución clarificada con una turbidez de 5,85 NTU, como se aprecia en el gráfico 21.

4.1.4. Dosificación de floculante seleccionado AR-5215

Dada a las condiciones se procedió a realizar las pruebas correspondientes con el floculante AR – 5215, las pruebas se dieron con dosificación de floculante de 20 g/t, 23 g/t y 28 g/t, como se aprecia en la foto 2, lo cual realizando los estudios estadísticos se puede observar en la tabla 12, la toma de mediciones realizadas, según visualizando como mayor velocidad de sedimentación es de 28 g/t con una altura de cama de 4,2 cm en 45 seg y el de 20 g/t con una altura de 4,2cm en 50 seg también se mantiene con un rango apropiado; y la sedimentación más lenta es de 23 g/t con una altura de 5,3 cm en 60 seg, y el gráfico 22 se presenta los tiempos de asentamiento según las dosificaciones usadas en las pruebas.

Foto 2. Pruebas de sedimentación con el AR - 5215



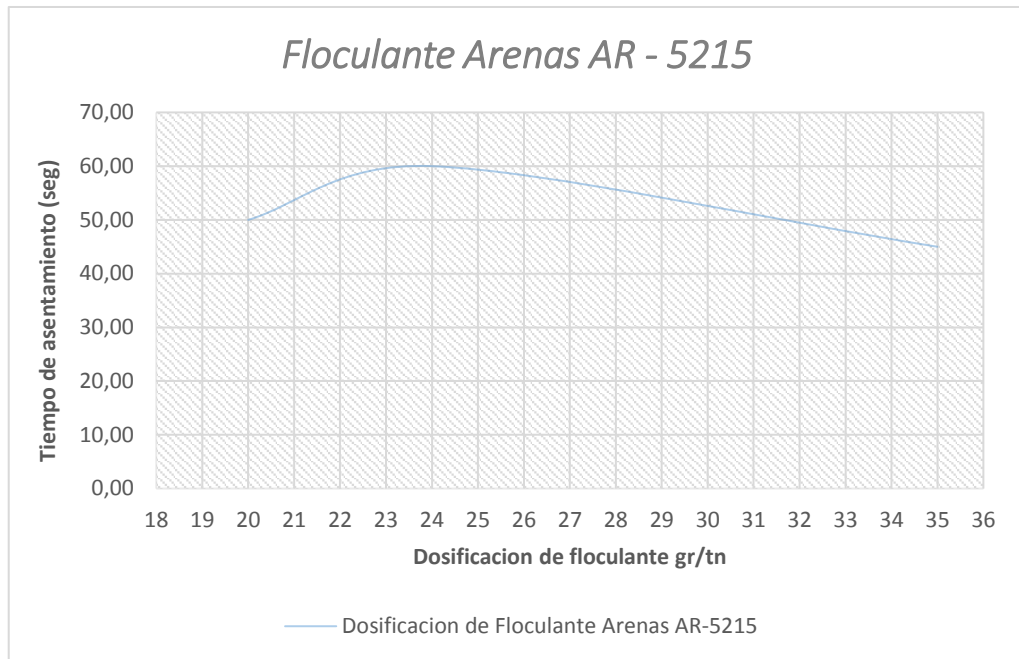
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Pruebas de dosificación con floculante seleccionado

Tiempo (seg)	FLOCULANTE AR-5215						
	0.05% 20 gr/tn	0.02% 23 gr/tn	0.05% 28 gr/tn)				
	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)				
0	36.5	36.5	36.5				
5	33.5	33.5	32.5				
10	29.5	28.6	27.5				
15	23.6	26.1	25.6				
20	20.8	22.6	23.5				
25	18.6	18.5	20.3				
30	12.8	16.5	13.8				
35	9.3	12.3	7.5				
40	7.6	11.7	5.6				
45	5.9	10.4	4.2				
50	4.2	9.6					
55		7.8					
60		5.3					
Turbidez (NTU)	4.59	5.23	4.86				
				Gravedad Especifica de Solidos	2.99		
				Densidad de muestra, kg/ml	1.194	1.194	1.194
				Dosificación de floculante gr/tn	20	26	35
				Altura de asentamiento, cm	4.20	5.30	4.20
				Tiempo de asentamiento, s	50.00	60.00	45.00
				Flujo de asentamiento, tons/hr/ft ²	0.0296	0.0312	0.0329
				Flujo de asentamiento, ton/hr/m ²	0.290	0.304	0.322
				Flujo de Asentamiento, m ² /hr/d	0.144	0.137	0.130
				Area Unitaria, m ² /hr/tn	3.454	3.285	3.109
				NTU	4.59	5.23	4.86

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22. Curva de asentamiento con dosificaciones del floculante seleccionado



Fuente: Elaboración propia

- **Pruebas piloto en el Espesador de Cono Profundo**

Dada a las condiciones operacionales en la planta de Espesador de Cono Profundo (DCT), se procedió a realizar las pruebas correspondientes con el floculante AR – 5215, tomando datos de operaciones cada 2 hrs; como dato de conocimiento, las condiciones de floculación están determinadas para mantener la calidad estructural de floculo a mínimas dosificaciones de floculante, para lo cual la alimentación de relave requiere una dilución de 8 a 10% de sólidos, a que se logra mediante la dilución interna en el Espesador (auto dilución).

El floculante utilizado es de tipo ligeramente aniónicos de mediana carga molecular, preparado a una concentración de 0,05% para su dosificación con un consumo de 28 gramos por tonelada tratada.

En la tabla 13 se puede verificar que se tienen optimizadas las condiciones de floculación en la separación sólido - líquido que es inmediata, dando un valor promedio en la descarga de relave en pasta de 1889 g/l a un 71,79 % de

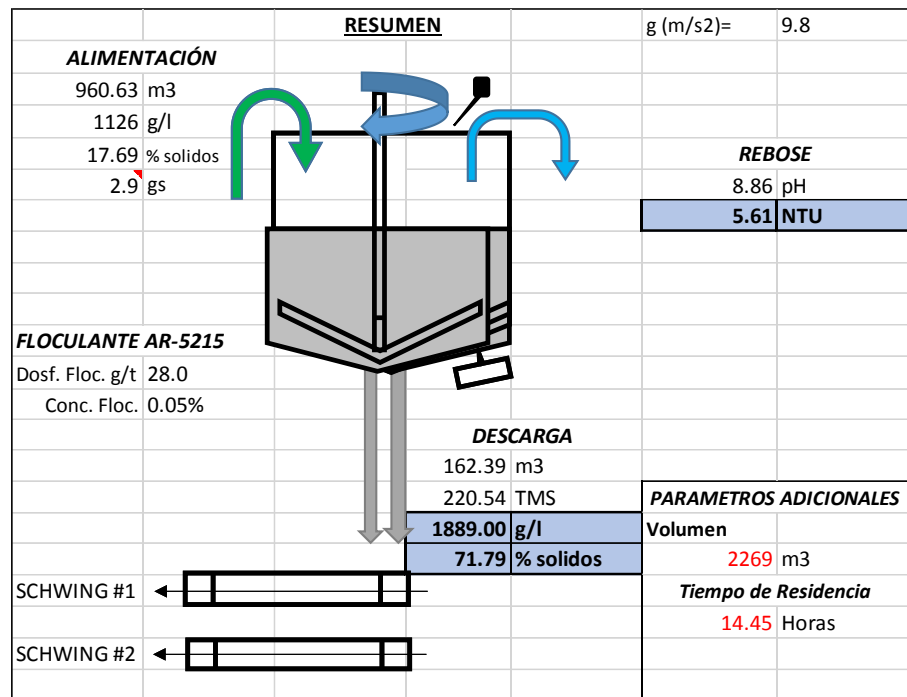
sólidos en peso, siendo la calidad de pasta deseada en la descarga del Espesador, teniéndose tiempo de residencia 14,45 horas como se verifica en el diagrama 1.

Tabla 13. Resultado de optimización en el espesador de cono profundo

HORA	ALIMENTACIÓN			REBOSE		DESCARGA			
	FLUJO VOLUMÉTRICO (m ³ /h)	DENSIDAD INGRESO (g/l)	DOSIFICACIÓN FLOCULANTE (g/t)	pH	NTU	FLUJO VOLUMÉTRICO (m ³ /h)	FLUJO MÁSIICO (t/h)	DENSIDAD SALIDA (g/l)	Sólidos (%)
28/05/2018 20:00	979,3	1090	28	9.14	5,18	169.87	225.57	1870	71.01
28/05/2018 22:00	916.78	1150	28	9	6,23	176.4	231.55	1860	70.57
29/05/2018 00:00	856.33	1120	28	8.99	4,64	170.32	239.17	1920	73.14
29/05/2018 02:00	993.71	1080	28	9.06	3,08	179.4	246.44	1900	72.30
29/05/2018 04:00	937.51	1160	28	8.97	6.47	162.86	223.72	1900	72.30
29/05/2018 06:00	954.32	1090	28	8.84	4.56	179.42	232.77	1850	70.13
29/05/2018 08:00	987.79	1080	28	8.85	6.68	158.62	215.47	1890	71.87
29/05/2018 10:00	972.88	1140	28	8.76	4.51	160.54	240.13	1980	75.54
29/05/2018 12:00	1041.08	1120	28	8.76	5.41	171.46	225.06	1860	70.57
29/05/2018 14:00	1092.81	1140	28	8.75	5.75	178.75	242.82	1890	71.87
29/05/2018 16:00	896.96	1130	28	8.93	5.31	158.1	224.42	1930	73.55
29/05/2018 18:00	916.78	1160	28	8.92	6.22	164.7	211.16	1840	69.68
29/05/2018 20:00	1043,9	1130	28	8.76	5,12	156.51	219.77	1920	73.14
29/05/2018 22:00	977,39	1120	28	8.76	6,38	158.75	215.65	1890	71.87
30/05/2018 00:00	932,5	1150	28	8.64	5,33	153.7	211.14	1900	72.30
30/05/2018 02:00	1032,4	1160	28	8.65	4,16	98.88	123.76	1820	68.77
Total, promedio	960.63	1126	28	8.86	5.61	162.39	220.54	1889	71.79

Fuente: Elaboración propia

Diagrama 1. Flowsheet operativo del Espesador de Cono Profundo




Fuente: Minera Yauli

En la calidad de agua obtenida en el rebose del espesador, se puede apreciar en la tabla 13 el promedio de turbidez que se encuentra en 5,61 NTU, estos valores de turbidez obtenidos en el tratamiento de relaves del espesador de cono profundo están en el rango de 3,08 NTU a 6,68 NTU, es decir, agua clarificada dentro de los límites máximos permisibles.

Por consiguiente, se lleva muestra de agua del rebose del Espesador de Cono Profundo para el laboratorio químico, para sus respectivos análisis, dando como resultados como sólidos suspendidos totales 1,79 mg/l, como se aprecia en la tabla 14.

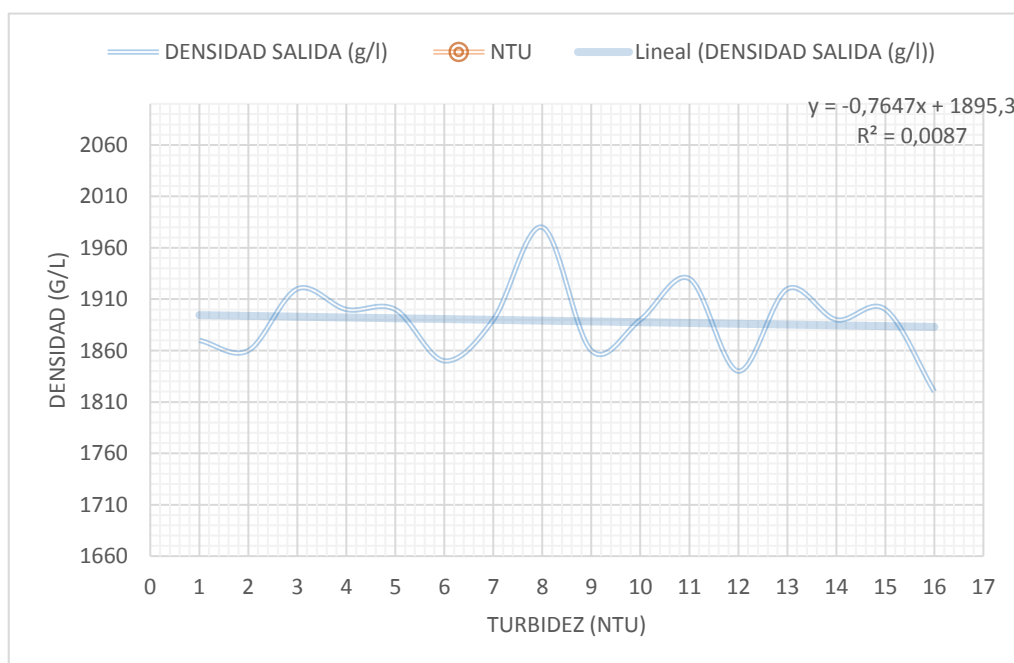
En la gráfica 23 se demuestra la tendencia del comportamiento de las densidades del relave en pasta de la descarga al depósito de relave y conjuntamente el comportamiento de división de la solución clarificada.

Tabla 14. Resultados de parámetros (turbidez)

Volcan Cía. Minera S.A.A. Laboratorio Químico Yauli (01) 4167000 Anexo 83330				Código: Reg LQY 7.5.6-142 N° Versión: 1 Páginas: 1/1 Emisión Inicial: 01-03-2018								
INFORME DE RESULTADOS												
DATOS DE CALIDAD												
Laboratorio: Ce. Laboratorio Yauli Unidad Cliente: Carahuacra Referencia del cliente / Orden: --- Fecha de Resultados: 01/06/2018 Fecha de Recepción: 30/05/2018 Hora: 08:10												
Resultados de la Muestra					Parámetros Físicoquímicos		ABSORCIÓN ATÓMICA - METALES TOTALES					
N°	Código de muestra	Descripción	Procedencia	Fecha de Muestreo	Turbi. (NTU)	TSS (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)
1	2196203	DCT I	CARAHUACRA	30/05/2018	4.59	1.53	0.06	0.11	0.26	0.52	0.64	0.06
2	2196204	DCT II	CARAHUACRA	30/05/2018	6.15	2.05	0.05	0.06	0.18	0.61	1.35	0.03
*LMP DS 010 - 2010 Promedio al año					5.37	1.79	0.4	0.16	1.2			0.08
Valor en cualquier Momento					5.37	1.79	0.5	0.2	1.5			0.1
METODO DE ENSAYO												
N°	Método	Descripción										
1	LQY-MA-ME-01	DETERMINACION DE Cu,Pb,Zn,Mn,Fe Y As EN MUESTRAS DE AGUA POR AAS										

Fuente: Laboratorio químico Minera Volcan - Yauli.

Gráfico 23. Curva de la Densidad de relave en pasta y la turbidez (NTU)



Fuente: Elaboración propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Formulación del diseño factorial

El diseño empleado, tratará de comprobar o refutar una hipótesis mediante el análisis estadístico; para ello, en la tabla 15, de acuerdo a la experiencia se procedió a elegir los niveles de las variables a nivel pilotaje, realizando como estudio entre el nivel máximo y nivel mínimo, siendo estos valores de cada indicador o factor.

Tabla 15. Indicadores experimentales del diseño factorial

VARIABLES		Dominio experimental		
		Nivel (-)	0	Nivel (+)
X_1	DENSIDAD DE PULPA (g/l)	1060	1130	1200
X_2	DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE (g/t)	23	25.5	28
X_3	TIEMPO DE RESIDENCIA (hr)	12	14	16

Fuente: Elaboración propia.

Con estos indicadores o factores establecidos se empezó a realizar el diseño factorial $N = 2^k$, donde N = Número de pruebas, K = Factores y 2 = Niveles experimentales de la variable (menor y mayor), además tiene tres factores experimentales que son la Densidad de Pulpa, Dosificación de Floculante y el tiempo de Residencia; aplicando al diseño tenemos: $N = 2^3 = 8$ pruebas, que nos dan como resultados el relave en Pasta (% solidos) y las unidades nefelométricas de Turbidez (NTU); para así tener la veracidad del trabajo experimental.

Realizando las corridas experimentales en el proceso mediante el uso del Statgraphics Centurion, se llegó a obtener los resultados con los valores del porcentaje del relave en pasta y los valores de las NTU de la solución clarificada, ver tabla 16.

Tabla 16. Resultados de las corridas experimentales

cristhian Pasta1.sfx						
	BLOQUE	Densidad	Dosificación	Residencia	PASTA	Turbidez
		g/l	g/t	Hr	%	NTU
1	1	1130	25.5	14	71.01	10.75
2	1	1060	23	12	67.84	8.43
3	1	1200	23	12	67.84	9.56
4	1	1060	28	12	73.96	7.56
5	1	1200	28	12	72.53	8.94
6	1	1060	23	16	55.63	12.4
7	1	1200	23	16	58.39	11.3
8	1	1060	28	16	70.13	10.02
9	1	1200	28	16	70.57	8.21
10	1	1130	25.5	14	71.01	9.78

Fuente: Elaboración propia.

Análisis o interpretación de los efectos de los factores experimentales:

Para análisis del relave en pasta y de la solución clarificada (turbidez), se realizó fundamentalmente tomando en cuenta el signo de los factores, lo cual la tabla 17 y tabla 18 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

Para la gráfica 24 y la gráfica 25 se muestra los estimados en orden decreciente de importancia, de acuerdo al Diagrama de Pareto.

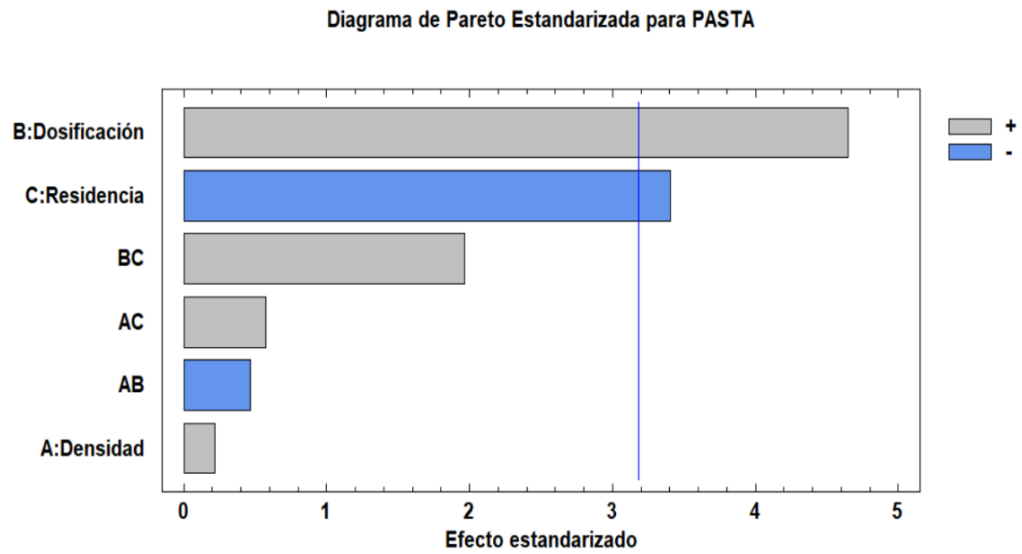
Tabla 17. Efecto estimado del relave en pasta

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	67.891	0.902209	
A: Densidad	0.4425	2.0174	1.0
B: Dosificación	9.3725	2.0174	1.0
C: Residencia	-6.8625	2.0174	1.0
AB	-0.9375	2.0174	1.0
AC	1.1575	2.0174	1.0
BC	3.9675	2.0174	1.0

Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 24. Diagrama de Pareto estandarizada para relave en pasta



Fuente: Elaboración propia

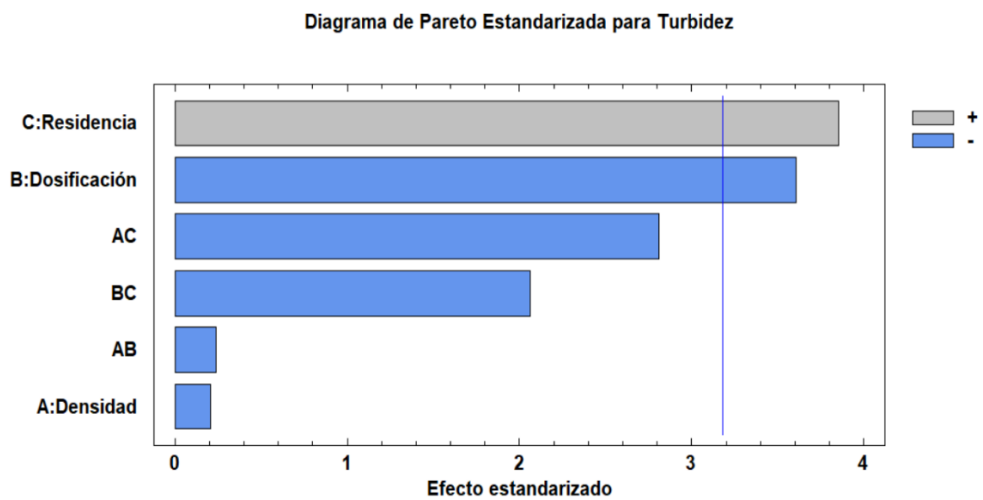
Tabla 18. Efecto estimado de Solución clarificada (turbidez)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	9.695	0.215863	
A: Densidad	-0.1	0.482683	1.0
B: Dosificación	-1.74	0.482683	1.0
C: Residencia	1.86	0.482683	1.0
AB	-0.115	0.482683	1.0
AC	-1.355	0.482683	1.0
BC	-0.995	0.482683	1.0

Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 25. Diagrama de Pareto estandarizada para turbidez



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Análisis de varianza de los datos del proceso

Para el análisis de varianza del relave en pasta de acuerdo a la tabla 19 nos confirma que mayor efecto significativo tienen los factores B (Dosificación) y C (Residencia), evaluando a partir del P-value de Pareto, el cual indica que es menor al 0,05 de nivel significancia, lo cual para la Densidad no tiene significativo en la pasta, debido a que se aleja del cero con un nivel de confianza de 95%; y el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 92,6137 % de la variabilidad en pasta (relave en pasta).

Tabla 19. Análisis de Varianza para relave en pasta (ANOVA)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Densidad	0.391613	1	0.391613	0.05	0.8405
B: Dosificación	175.688	1	175.688	21.58	0.0188
C: Residencia	94.1878	1	94.1878	11.57	0.0424
AB	1.75781	1	1.75781	0.22	0.6738
AC	2.67961	1	2.67961	0.33	0.6063
BC	31.4821	1	31.4821	3.87	0.1439
Error total	24.4194	3	8.1398		
Total (corr.)	330.606	9			

R-cuadrada = 92.6137 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 77.8412 por ciento

Fuente: Elaboración propia.

También para el análisis de varianza de la turbidez en la tabla 20 nos explica que mayor efecto significativo tienen los factores B (Dosificación) y C (Residencia), evaluando a partir del P-value de Pareto, el cual indica que es menor al 0,05 de nivel significancia, lo cual para la Densidad no tiene significativo en la solución clarificada, debido a que se aleja del cero con un nivel de confianza de 95%; y el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 93,0352% de la variabilidad en la turbidez (solución clarificada).

Tabla 20. Análisis de Varianza para solución clarificada (ANOVA)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Densidad	0.02	1	0.02	0.04	0.8491
B: Dosificación	6.0552	1	6.0552	12.99	0.0366
C: Residencia	6.9192	1	6.9192	14.85	0.0309
AB	0.02645	1	0.02645	0.06	0.8270
AC	3.67205	1	3.67205	7.88	0.0674
BC	1.98005	1	1.98005	4.25	0.1313
Error total	1.3979	3	0.465967		
Total (corr.)	20.0709	9			

R-cuadrada = 93.0352 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 79.1055 por ciento

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Modelo matemático de primer orden del proceso

Para la pasta la constante del modelo matemático (170,394), viene a ser el promedio del vector respuesta, el valor positivo indica que existe una relación directa entre las variables. Por lo tanto, la tabla 21 y el modelo matemático de primer orden nos permiten establecer los valores óptimos de los factores para realizar la optimización del proceso de Relave en pasta que se puede visualizar en la tabla 22.

Tabla 21. Coeficiente de regresión lineal para relave en pasta

<i>Coefficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	170.394
A: Densidad	0.0135893
B: Dosificación	-0.653214
C: Residencia	-16.5041
AB	-0.00267857
AC	0.00413393
BC	0.39675

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de primer orden del modelo ajustado es:

$$\text{RELAVE EN PASTA} = 170.394 + 0.0135893*\text{Densidad} - 0.653214*\text{Dosificación} - 16.5041*\text{Residencia} - 0.00267857*\text{Densidad}*\text{Dosificación} + 0.00413393*\text{Densidad}*\text{Residencia} + 0.39675*\text{Dosificación}*\text{Residencia}$$

Tabla 22. Valores óptimos de los factores

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Densidad	1060.0	1200.0	1060.0
Dosificación	23.0	28.0	28.0
Residencia	12.0	16.0	12.0

Valor óptimo = 74.851

Fuente: Elaboración propia.

Y para la turbidez la constante del modelo matemático (-108,681), viene a ser el promedio del vector respuesta, el valor negativo indica que se encuentra en el mínimo y debe ser maximizado la respuesta. Por lo tanto, la tabla 23 y el modelo matemático de primer orden nos permiten establecer los valores óptimos de los factores para realizar la optimización de la solución clarifica que se verifica en la tabla 24.

Tabla 23. Coeficiente de regresión lineal para turbidez

<i>Coficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-108.681
A: Densidad	0.0754143
B: Dosificación	1.41629
C: Residencia	8.47064
AB	-0.000328571
AC	-0.00483929
BC	-0.0995

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de primer orden del modelo ajustado es:

$$\text{Turbidez} = -108.681 + 0.0754143*\text{Densidad} + 1.41629*\text{Dosificación} + 8.47064*\text{Residencia} - 0.000328571*\text{Densidad}*\text{Dosificación} - 0.00483929*\text{Densidad}*\text{Residencia} - 0.0995*\text{Dosificación}*\text{Residencia}$$

Tabla 24. Valores óptimos de los factores

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Densidad	1060.0	1200.0	1060.0
Dosificación	23.0	28.0	23.0
Residencia	12.0	16.0	16.0

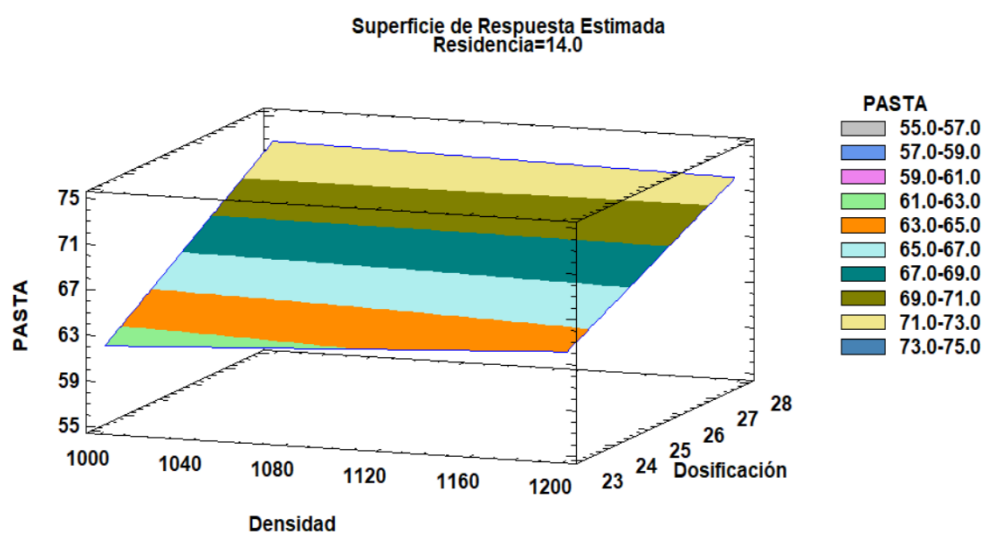
Valor óptimo = 12.6625

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Gráfico de superficie respuesta

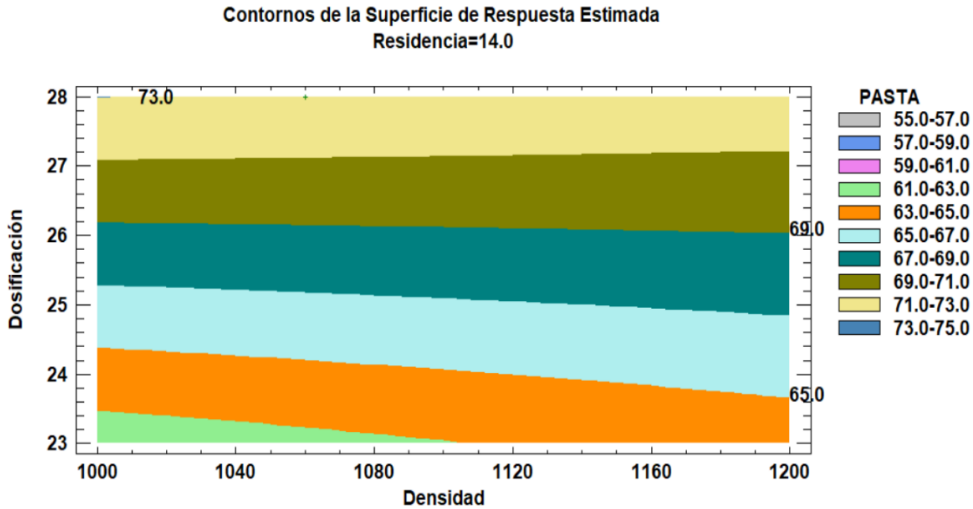
Los gráficos 26 y 27 del relave en pasta; y el gráfico 28 y 29 de la turbidez, representan un modelo matemático de primer orden y se observa que la superficie respuesta es un hiperplano. Por lo tanto, el modelo de primer orden es adecuado para pasar a un modelo matemático de segundo orden.

Gráfico 26. Superficie de respuesta estimada de pasta



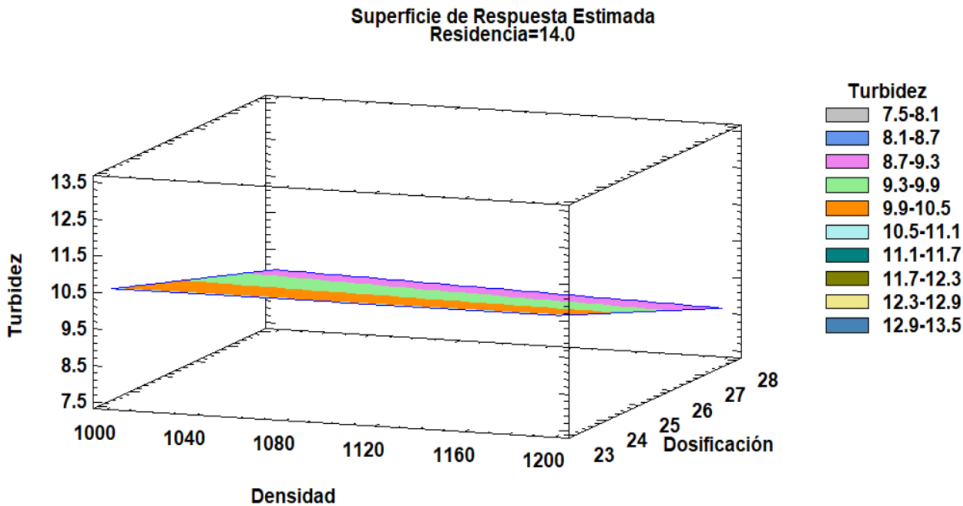
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 27. Contorno de la respuesta estimada de pasta



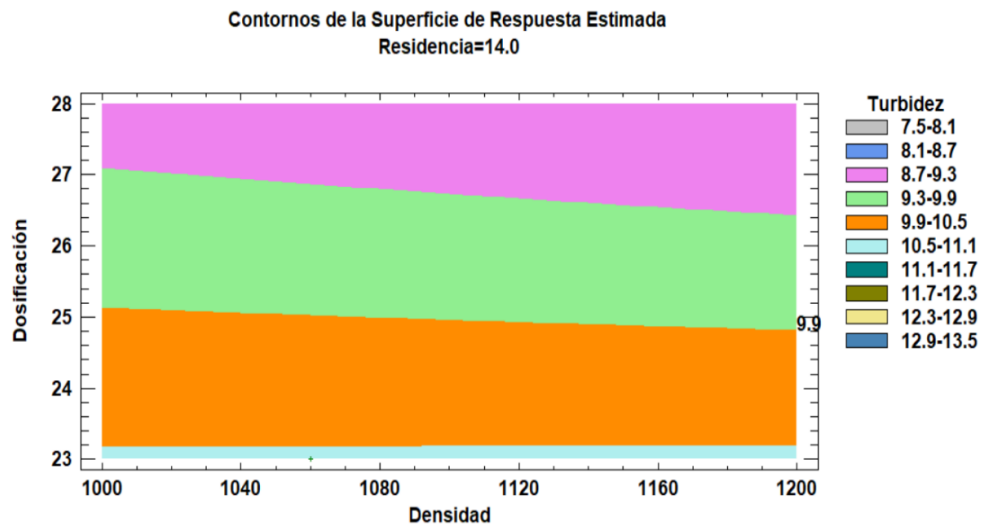
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 28. Superficie de respuesta estimada de la turbidez



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 29 Contorno de la superficie estimada de la turbidez



Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Optimización del proceso

Mediante el diseño pentagonal se optimizó el proceso para permitir optimizar el gasto en recurso por ser más utilizado en la etapa de búsqueda del modelo matemático de segundo orden, lo cual se aprovechó el modelo matemático de primer orden, siendo la superficie ajustada hiperplano encontrado en la primera parte del proceso experimental.

Para ello mediante la plantilla usado se realizará las corridas de las pruebas experimentales, que se llegó a obtener la tabla 25 los resultados del relave en pasta y la turbidez.

Tabla 25 . Resultados del diseño pentagonal

Opti Pasta.sfx					
	BLOQUE	Dosificación	Residencia	Pasta	Turbidez
				g	g
1	1	1	0	79.5	8.3
2	1	0.309	0.951	77.6	6.6
3	1	-0.809	0.588	78.2	7.2
4	1	-0.809	-0.588	72.6	2.9
5	1	0.309	-0.951	73.6	2.6
6	1	0	0	78.9	7.9
7	1	0	0	79.1	8.1

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. Análisis estadístico de los datos obtenidos del proceso

Cumplido el análisis estadístico del diseño experimental de optimización, obtenemos la tabla 26 y el gráfico 30; analizando el efecto del factor A y B es positivo, esto significa que es significativo.

Las curvaturas AA y BB son negativos, estos nos indican que ambas están en el valor mínimo y se debe maximizar hasta el punto óptimo, para mejora el resultado.

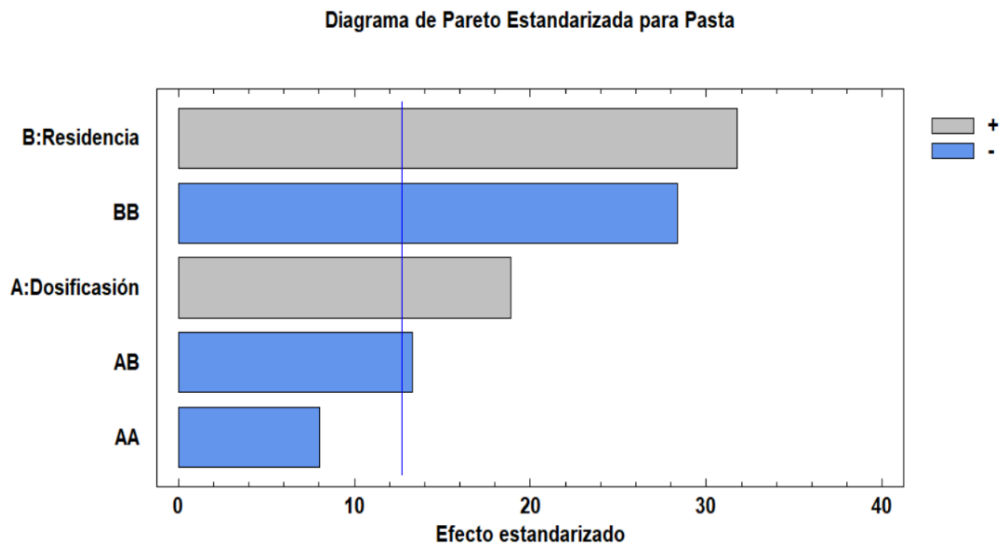
Analizando la interacción AB es negativo, esta interacción A y B indica que se debe maximizar.

Tabla 26. Efecto estimado para el relave en pasta (%)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	79.0	0.1	
A: Dosificación	3.37737	0.178888	1.0
B: Residencia	5.67584	0.178875	1.0
AA	-2.37737	0.296637	1.08025
AB	-4.75645	0.357693	1.0
BB	-8.42172	0.296671	1.08025

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 30 Diagrama de Pareto estandarizada para relave en pasta



Fuente: Elaboración propia.

Realizando el análisis para la turbidez de la tabla 27 y el gráfico 31; A y B es positivo, entonces son significativos.

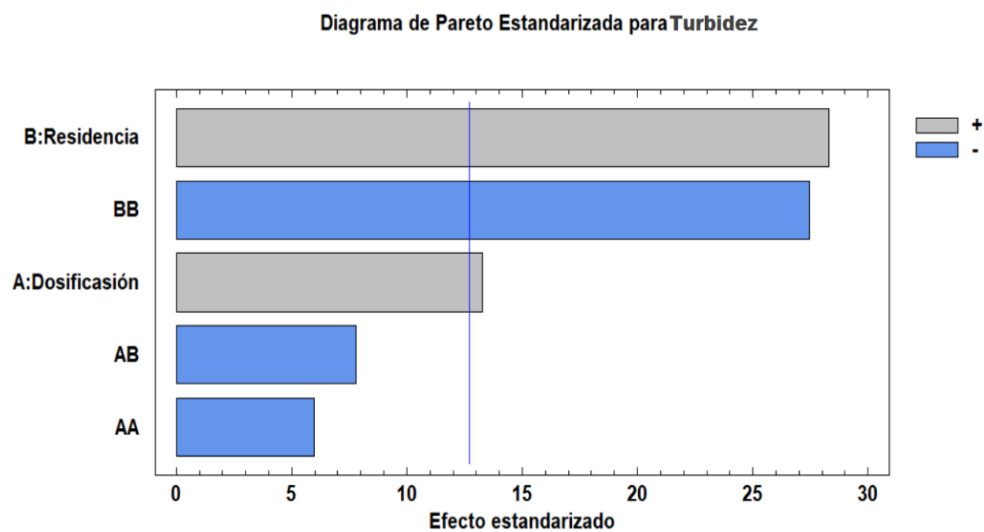
Las curvaturas AA y BB son negativos, estos nos indican que ambas están en el valor mínimo y se debe maximizar hasta el punto óptimo, para mejora el resultado.

Analizando la interacción AB es negativo, esto significa que hay interacción entre los factores A y B, además indica que dicha interacción está en su valor mínimo que debe ser maximizado.

Tabla 27. Efecto estimado para la turbidez (NTU)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	8.0	0.1	
A: Dosificación	2.37602	0.178888	1.0
B: Residencia	5.06478	0.178875	1.0
AA	-1.77602	0.296637	1.08025
AB	-2.77891	0.357693	1.0
BB	-8.14309	0.296671	1.08025

Gráfico 31 Diagrama de Pareto estandarizada para Turbidez



Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Análisis del ANOVA para el proceso

La tabla 28 de ANOVA correspondiente al relave en pasta, particiona la variabilidad de Pasta en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Interpretación de la Tabla de ANOVA se verifica la observación de la primera y última columna. Si el valor de p-value (p-valor) es menor que el nivel de significancia prefijada α , se concluye contundentemente que dichos factores influyen de manera significativa sobre la respuesta.

Por tanto, en el presente caso, los 2 factores y las cuadraturas tienen P-valores muy inferiores al 5% de nivel de significancia; por lo tanto, todos ellos influyen de manera significativa sobre la respuesta (efecto).

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, explica 99,9574% de la variabilidad en pasta.

Tabla 28. Análisis de Varianza para pasta

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Dosificación	7.12894	1	7.12894	356.45	0.0337
B: Residencia	20.1368	1	20.1368	1006.84	0.0201
AA	1.28462	1	1.28462	64.23	0.0790
AB	3.53651	1	3.53651	176.83	0.0478
BB	16.1169	1	16.1169	805.84	0.0224
Error total	0.02	1	0.02		
Total (corr.)	46.9543	6			

R-cuadrada = 99.9574 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.7444 por ciento

Error estándar del est. = 0.141421

Error absoluto medio = 0.0285714

Así mismo para la turbidez en la tabla 29 de ANOVA, también se cuenta en el presente caso, a los 2 factores y la cuadratura, tienen P-valores inferior al 5% de nivel de significancia; por lo tanto, todos ellos influyen de manera significativa sobre la respuesta. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, explica 99,9443 % de la variabilidad en turbidez.

Tabla 29. Análisis de Varianza para Turbidez

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Dosificación	3.52832	1	3.52832	176.42	0.0478
B: Residencia	16.0344	1	16.0344	801.72	0.0225
AA	0.71693	1	0.71693	35.85	0.1054
AB	1.20714	1	1.20714	60.36	0.0815
BB	15.0681	1	15.0681	753.40	0.0232
Error total	0.02	1	0.02		
Total (corr.)	35.9143	6			

R-cuadrada = 99.9443 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.6659 por ciento

Error estándar del est. = 0.141421

Error absoluto medio = 0.0285714

4.2.8. Modelo matemático de segundo orden

De acuerdo a los datos obtenidos en el primer orden, realizando la ecuación de regresión, es obtenido un modelo matemático de segundo orden, que ajusta a los datos obtenidos.

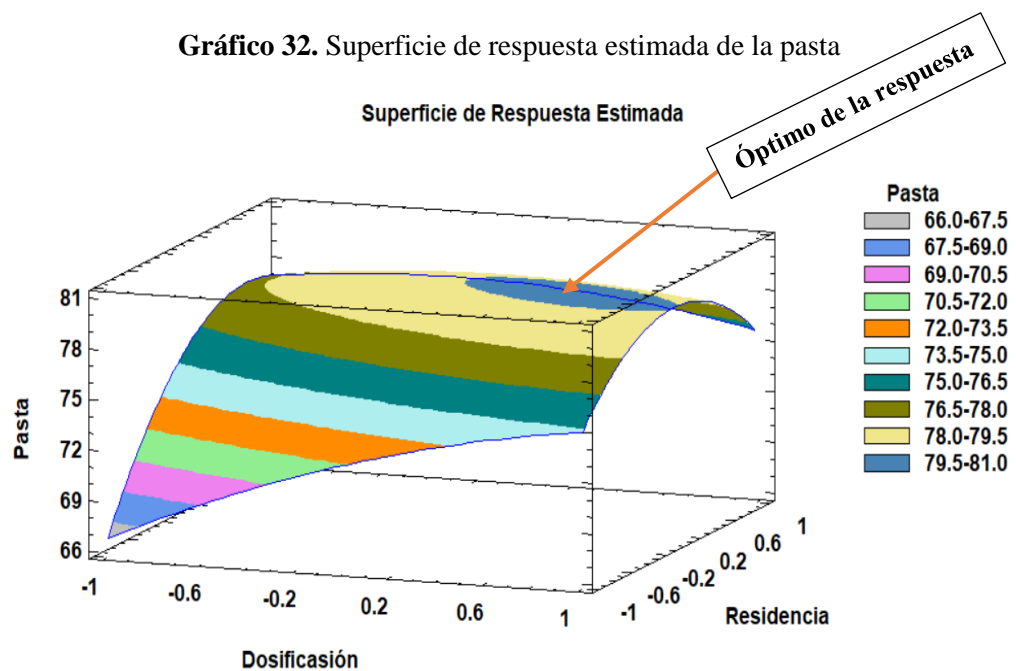
La ecuación del modelo de segundo orden ajustado para el relave en pasta y la solución clarificada (turbidez), con valores de los factores experimentales están especificados en sus unidades originales, y son:

$$\text{Pasta} = 79.0 + 1.68869 \cdot \text{Dosificación} + 2.83792 \cdot \text{Residencia} - 1.18869 \cdot \text{Dosificación}^2 - 2.37822 \cdot \text{Dosificación} \cdot \text{Residencia} - 4.21086 \cdot \text{Residencia}^2$$

$$\text{Turbidez} = 8.0 + 1.18801 \cdot \text{Dosificación} + 2.53239 \cdot \text{Residencia} - 0.888012 \cdot \text{Dosificación}^2 - 1.38946 \cdot \text{Dosificación} \cdot \text{Residencia} - 4.07154 \cdot \text{Residencia}^2$$

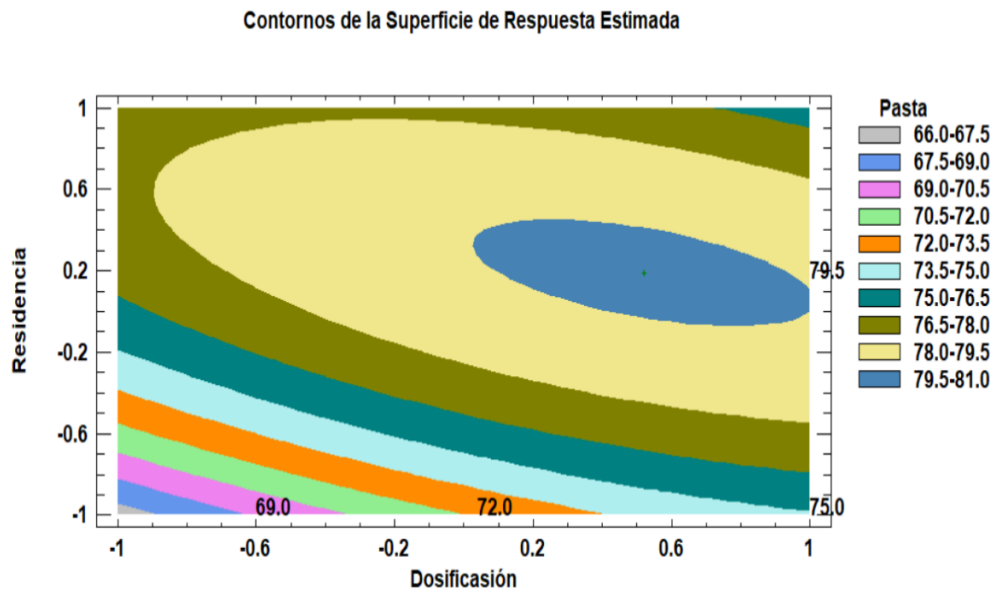
Según el gráfico 32 y gráfico 33, ambos factores establecen un punto estacionario, lo cual entonces estaremos ante una posibilidad de un máximo.

Gráfico 32. Superficie de respuesta estimada de la pasta



Fuente: Elaboración propia.

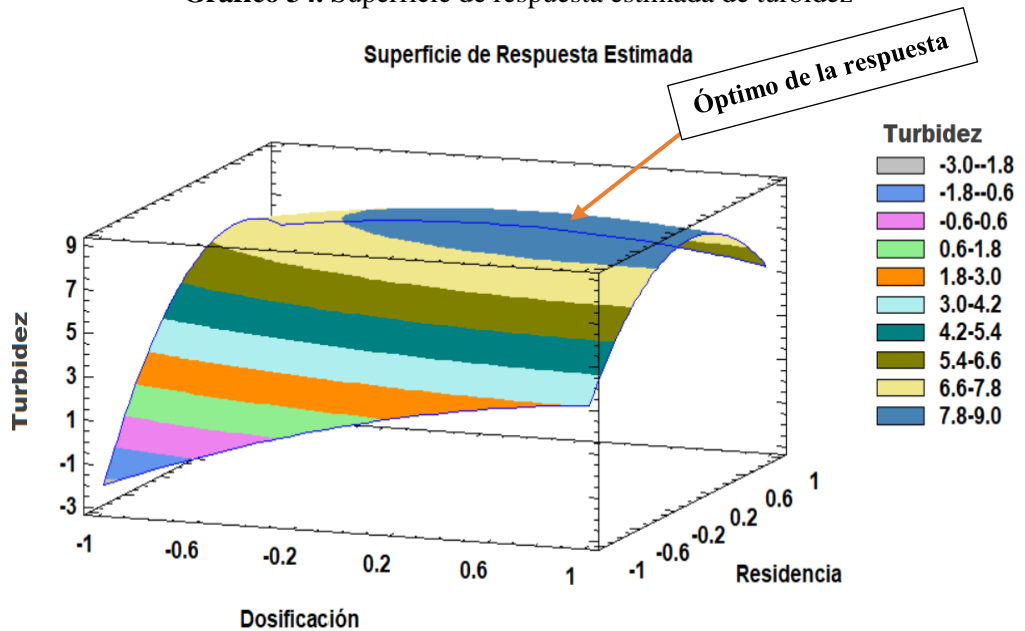
Gráfico 33. Contorno de la superficie de respuesta de la pasta



Fuente: Elaboración propia.

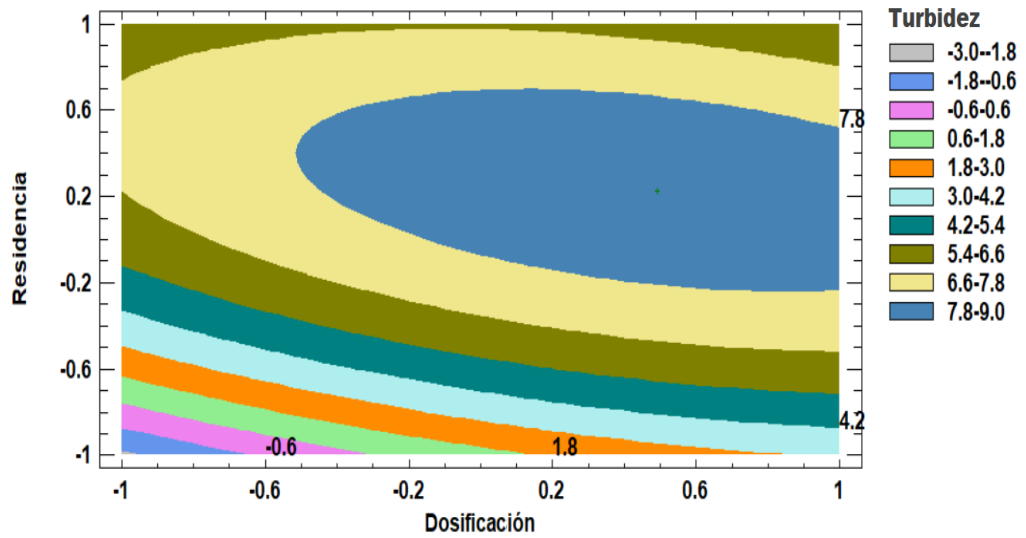
Según el gráfico 34 y gráfico 35, ambos factores también para la turbidez, establecen un punto estacionario, lo cual entonces estaremos ante una posibilidad de un máximo.

Gráfico 34. Superficie de respuesta estimada de turbidez



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 35. Contorno de la superficie de la turbidez
Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



Fuente: Elaboración propia.

4.2.9. Determinación de las condiciones óptimas del proceso

De acuerdo con los resultados óptimos se determinó; la meta máxima de Relave en pasta, Valor óptimo = 79,7089 y la meta máxima de solución clarificada (turbidez), Valor óptimo = 8,57942.

En la tabla 30 y tabla 31, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Pasta y la turbidez sobre la región indicada.

Tabla 30. Optimización de respuesta de pasta

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Dosificación	-0.809	1.0	0.520082
Residencia	-0.951	0.951	0.190182

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Optimización de respuesta de turbidez

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Dosificación	-0.809	1.0	0.491205
Residencia	-0.951	0.951	0.22713

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Prueba de Hipótesis

Para una hipótesis en el contexto de la estadística inferencial son usados los programas estadísticos tales como el statgraphics, entre otros, que calcularan el valor-P respecto a uno o varios factores; estas distribuciones se emplearan en la prueba de hipótesis estadística.

4.3.1. Hipótesis en función al ANOVA

Hipótesis Nula (H_0)

La optimización de los factores influyentes a nivel pilotaje no mejora en la operación del espesador de cono profundo - Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

Hipótesis alterna (H_a)

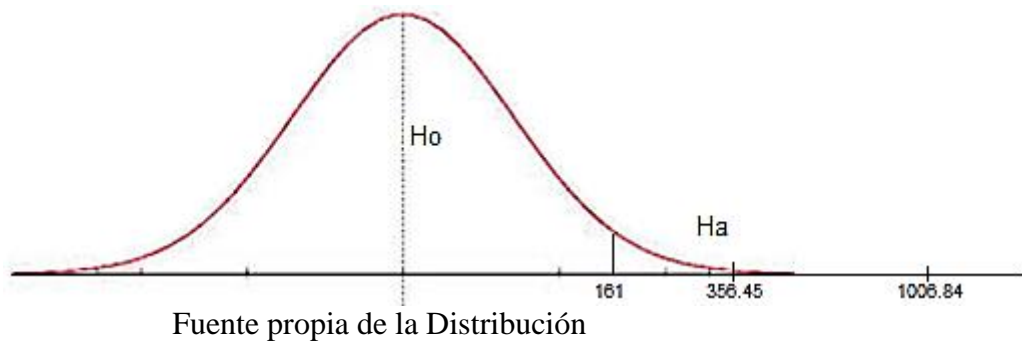
La optimización de los factores influyentes a nivel pilotaje mejora en la operación del espesador de cono profundo - Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

Para la demostración de la prueba de hipótesis hacemos uso de la tabla de análisis de varianza de la pasta de relave que es similar al análisis de varianza de turbidez.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Dosificación	7.12894	1	7.12894	356.45	0.0337
B: Residencia	20.1368	1	20.1368	1006.84	0.0201

Valor de decisión (Si P -valor $< 0,05$ acepta la H_a)

Como se observa el P value de la dosificación es $0,0337 < 0,05$ y el tiempo de residencia es $0,0201 < 0,05$. Por lo que se demuestra que ambos factores son influyentes en el rebose y en la pasta de relave.



Decisión

Se acepta la Hipótesis Alternativa

Conclusión

Existe suficiente evidencia para afirmar que la optimización de los factores influyentes a nivel pilotaje mejora el rebose y pasta de relave en la operación del espesador de cono profundo, con 95% de significancia.

4.4. Discusión de resultados

1. El objetivo general fue determinar los factores influyentes para optimizar a nivel pilotaje en la operación del espesador de cono profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.

Aplicando la metodología de relación de variables se observó que la selección de flocculantes tiene correlación con la obtención de relaves en pasta a nivel pilotaje en Volcan Compañía Minera – Yauli, esto se comprueba por lo obtenido que tiene un Valor P-value de la dosificación que es $0,0337 < 0,05$ y el P-value del tiempo de residencia que es $0,0201 < 0,05$, por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, existe suficiente evidencia para afirmar que la optimización de los factores influyentes a nivel pilotaje mejora el rebose y el relave en pasta en la operación del espesador de cono profundo.

2. Con respecto a la selección de los floculantes adecuados en la recuperación de relave en pasta, llegamos a concluir que no tiene efecto en la densidad de relave en pasta, si trabajamos de 1060 g/l a 1200 g/l, por tanto, se obtendrá pasta con una concentración favorable y una mejora de solución clarificada, para ello el control de la alimentación en las operaciones, determina en porcentaje de sólidos y no perjudica la sedimentación de las partículas.
3. En cuanto al diseño factorial los factores influyentes realizaron la optimización, llegando a la conclusión que, si influye significativamente en la obtención de pasta trabajando con 28 g/t, esto debido a la selección de floculante que acelera la sedimentación de partículas y realiza una buena compactación de sólidos en el cono y por ende en la obtención de pasta mineral en la descarga, además tenemos una buena clarificación de agua en el rebose, mejorando favorablemente la turbidez para la reutilización en la planta concentradora.
4. Para optimización, los factores seleccionados influyen considerablemente en la recuperación de relave en pasta y la turbidez, llegando a la conclusión que la concentración de los sólidos, si tiene influencia significativa en la sedimentación para el tiempo de residencia, y así poder obtener la pasta con 79,5 % de sólidos en peso y 6,6 NTU.

CONCLUSIONES

1. Ejecutadas los ensayos experimentales mediante el uso del diseño factorial, se obtiene en los ensayos un factor favorable de relave en pasta entre 72,6% a 79,5% Sólidos (con rango de densidades entre 1800 a 1980 g/l); y obtenidas con 6 valores de turbidez de 5,95 NTU de la solución clarificada, mediante el control adecuado de los factores significativos del proceso: Flocculante AR-5215 resultó eficiente.
2. Se tiene como aportación de datos, que la densidad de alimentación se encuentra entre el rango de 1060 a 1200 g/l, que no influye directamente en la calidad del relave en pasta en la Compañía Minera Yauli – Carahuacra, debido a que este factor se controló dentro del rango establecido en las pruebas experimentales y a nivel piloto. Puesto que el Valor P-value de la dosificación que es $0,0337 < 0,05$ y el P-value del tiempo de residencia que es $0,0201 < 0,05$, tiene como valor-P menor de 5% en el nivel de significancia, resultando rechazar a la hipótesis nula.
3. Se determinó en el diseño factorial que la dosificación de flocculante en el rango de 20 g/t a 28 g/t, si tienen efecto en la obtención del relave en pasta en la Compañía Minera Yauli - Carahuacra, este factor se debe controlar con rigurosidad para obtener pasta con 79,5 % de sólidos, trabajando con una dosificación entre 3 y 5 cc/min y/o 28 g/t de flocculante.
4. Realizada la optimización mediante el diseño factorial, los resultados evaluados en el tiempo de residencia de separación de sólidos-líquidos en la formación de nivel de cama en un rango de 8 min a 20 min, tienen efecto en la calidad de relave en pasta de la relavera Rumichaca, presentando un rango de 72,6 % y 79,5% de sólido, determinados experimentalmente; y conjuntamente este criterio óptimo

mejora en la clarificación, ayudando en la disminución de los NTU en la solución rica clarificada con rango promedio entre 3 y 6 NTU.

5. El factor seleccionado en la optimización de la operación del espesador de cono profundo, responde eficientemente en la minimización de las partículas en suspensión del agua (NTU) en la solución clarificada.

RECOMENDACIONES

1. A nivel piloto e industrial, el ingreso de alimentación del relave debe tener un control estricto para lograr el asentamiento preestablecido en el relave en pasta y el agua del rebose cumpla con los NTU deseados.
2. En periodos realizar las pruebas microscópicas del relave para prever el caudal de ingreso y la adición de floculantes para un correcto espesamiento.
3. Controlar la floculación de las partículas sólidos en el ingreso al espesador de cono profundo para poder controlar a tiempo si los flóculos son muy débiles, que es un parámetro importante, para la pasta de relave deseado.

BIBLIOGRAFIA

- Américo Zuzunaga, P. (2016). *Enfoque Holístico a la Optimización de procesos*.
- Ara Gabriel. (2019). *Espesamiento y Filtrado*. CETEMIN. Obtenido de https://www.academia.edu/24608295/ESPESAMIENTO_Y_FILTRADO
- Araujo. (2003). *Consistencia, Fluidez y Viscosidad de Pastas Minerales de Relaves de Hierro*. Brasil: Depto. de Ingeniería de Minas, Grupo de Procesamiento de Minerales.
- Araujo, A. (2012). *Nuevas alternativas para disposición de relaves*. Grupo de Tratamientos Mineros.
- Cabrera Jara, J. (2016). *Sedimentación y espesamiento de minerales*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos82/sedimentacion-y-espesamiento-minerales/sedimentacion-y-espesamiento-minerales>
- Campos, M. (2016). *Estudio de pasta mineras a partir de espesamiento de lamas de procesamiento fosfático*. Universidad Federal de Minas Generales Belohorizonte: Tesis de maestría.
- Castillo Juversay. (2011). *Coagulación y floculación*. Cartagena: Univerisas Politécnica de Cartagena.
- Chia Aquije, J. (1984). *Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*. LIMA: UNI.
- Claudia U. (2007). *FLSmidth. Deep Cono Thickener Data Sheet*. Santiago de Chile.
- Clayton, S., Grice, & Boger. (2003). *Analysis of the Slump Test for on-site Yield Stress Measurement of Mineral Suspensions*. International Journal of Mineral Processing.
- Concha arcil F. (2001). *Manual de Filtración y Separación*. Chile: CETTEM.

- Gálvez, B. (2003). *variables que se relacionan con la alimentación al cono sedimentador*.
- Gómez Paredes, P. (2012). *Evaluación pruebas de espesamiento de relaves en la planta piloto*. Valparaiso.: Pontificia Universidad Católica de Valparaiso, Tesis de suficiencia.
- Gutiérrez Conde, M. A. (2015). *peración de la presa de relaves Toromocho*. PERU: Universidad Nacional San Agustín.
- Hernández. (2005). *Efecto de la adición de reactivos agregantes y de ligantes sobre la consistencia en pasta minerales*. Brasil: Universidad de Minas Generales.
- Hernández Osorio, A. (2007). *Características principales de pastas minerales de relaves preparadas en espesador de escala de laboratorio*. Brasil: Minas Gerais.
- Jhonson Houman. (2003). *Quantifying the Effect of Pump Shear on Slurry Rheology*. Australian: Centre for Geomechanics, Perth, pp. 163-174.
- Jung, S. (2002). *Paste & Thickened Tailing in the Australian Mining Industry*. High Density & Paste.
- Landriault, D. (2002). *Thickened tailings and paste technology*.
- Louis Salager, J. (2007). *Granulometria teoria*. Venezuela: cuaderno firp s554-a -
MODULO DE ENSEÑANZA EN FENOMENOS INTERFACIALES.
- Min-minería. (2019). *Glosario Minero*. Chile. Obtenido de <http://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/MC0047730.pdf>
- Olcay Barreda, R. (2012). *Características principales de pastas minerales de relaves de manganeso preparadas en espesador de escala de laboratorio*. I Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM.

- Oviedo Tejada, R. (2007). *Aseguramiento y control de calidad de las obras de recrecimiento de la presa Alpamarca*. Alpamarca: Universidad Ricardo Palma.
- Quiroz Nuñez, I. (1986). *Ingeniería metalúrgica operaciones unitarias en procesamiento de minerales*. Lima: UNI.
- Quispe Ordoñez M. (2011). *Uso y Selección de coagulantes y floculantes orgánicos en la industria minero Metalúrgica*. Lima: UNI.
- Rivero Galviz, N. (2015). *Metodología para el diseño por confiabilidad de presas de relaves construidas en arena por el método aguas abajo*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Rodriguez, R. (2006). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas y conductividad de los relaves mineros*. Obtenido de http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/INGENIERIA/4,2006/art_008.pdf
- Ros Moreno, A. (2014). *Separación Sólido – Líquido en Hidrometalurgia*.
- SERNAGEOMIN. (2007). *Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/GuiaTecOperacionDepRelaves.pdf>
- Slotte. (2005). OPTIMIZACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE AGUA DE LOS RELAVES DE MINERALES CONCENTRADOS. En J. L. IBARRA ARROYO.
- Stephen. (2005). *Geotechnical Earthquake Engineering*. USA.
- Torres. (2016). OPTIMIZACIÓN DEL FLOCULADOR TIPO ALABAMA EN LA PLANTA DE. En E. J. CARVAJAL. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14031/4/DOCUMENTO_OPTIMIZACION%20DEL%20FLOCULADOR%20TIPO%20ALABAMA

A%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20ACU

ANAMAY%20CON%20L.pdf

Yianatos, J. (2005). *Flotación de minerales*. Valparaíso: UTFSM.

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumentos de recolección de datos

Foto 1. Ficha de Técnica de Datos de Seguridad (hojas MSDS) de los floculantes

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD de acuerdo con el Directiva 93/112/CEE		ARENAS S.R.L.
FLOCULANTE AR 5215		
Versión 1	Fecha de revisión: 21.05.2015	Fecha: 21.03.2019
1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA / PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA		
Información del Producto		
Nombre del producto	:	FLOCULANTE AR 5215
COMPañIA	:	ARENAS S.R.L. Los Olivos Lima
Teléfono	:	521-6672
Telefax	:	521-4615
2. COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES		
Caracterización química:		
Descripción:	:	Copolímero de amida acrílica y acrilato de sodio.
3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS		
No se conocen riesgos particulares.		
4. PRIMEROS AUXILIOS		
Contacto con los ojos	:	Lavar largo tiempo con mucha agua; eventualmente buscar ayuda médica.
Contacto con la piel	:	Lavar con agua y jabón. Deshacerse de la ropa contaminada.
Ingestión	:	En caso de malestar acudir al médico.
5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS		
Peligros específicos para la lucha contra el fuego.	:	En caso de incendio: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno
Equipo de protección especial para los bomberos	:	Medidas especiales no son necesarias.
Medios de extinción adecuados	:	Agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono, agentes extintores secos.

MT - 4219

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

1. Identificación de La Sustancia / Preparación y de la Compañía

Descripción del Producto	Copolimeros de acrilamida con grupos acrilato en aumento
--------------------------	--

2. Composición / Identificación de Componentes

Ingredientes Peligrosos
No presenta componentes peligrosos

3. Identificación de peligros

Peligros Humanos
Ninguno

4. Medidas de Primeros Auxilios

Ingestión	No se encontró que el material sea lesivo por ingestión. No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios.
Contacto con la piel	Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.
Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua durante por lo menos 15 minutos.
Inhalación	No se anticipa que el material sea lesivo por inhalación. Retirar la víctima al aire libre.

5. Medidas Contra Incendio

Medios de extinción	Utilizar agua, dióxido de carbono o un agente químico seco.
Equipamiento protector	Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben usar aparatos respiratorios independientes.
Peligros especiales	El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición.

6. Medidas de Liberación Accidental

Precauciones personales	Evitese el contacto con los ojos y la piel. Los derrames son muy resbalosos cuando están mojados.
Métodos para la limpieza	Resbaladizo cuando esta mojado. Barrer y colocarlo en recipientes para descarte. Enjuagar con agua el área del derrame. Si permanece resbaladizo, aplicar mas compuesto para barrido en seco. Evitar que el liquido ingrese a desagües sanitarios.



Tabla 01. Toma de datos de alimentación

N° Prueba	Flujo m3/h	Densidad inicial g/l	Sólidos %	Tratamiento Ton/h
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
Total				
Promedio				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 02. Análisis granulométrico

ANALISIS GRANULOMETRICO							
Malla	Abertura (micras)	Peso (gramos)	% Peso	Acumulado (+)	Pasante (-)	Micrones 80% Pass	Micrones 50% Pass
70	212						
100	150						
150	106						
200	75						
270	53						
400	38						
-400	-38						
Cab Cal.							F80=
Cab Ensy				Corr.			F50=

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: Procedimiento de validación y confiabilidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante: Zacarias Ramos Eduardo Isael
- 1.2. Grado académico: Ingeniero Titulado en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales
- 1.3. Cargo e institución donde labora: Supervisor de Relave y Planta DCT
- 1.4. Título de Investigación: Optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.
- 1.5. Autor del instrumento: Rojas Baldeón Cristhian Danny
- 1.6. Nombre del instrumento:
 - ✓ Cuestionario adoptado en la recolección de información
 - ✓ Resultados del laboratorio químico en el análisis de agua

II. ASPECTO DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20 %	Regular 21 – 40%	Buena 41 – 60%	Muy buena 61– 80%	Excelente 81 – 100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y formulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende de calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para la optimización					X
CONSISTENCIA	Basados en pruebas de laboratorio					X
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación					X

III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN: 98%

IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN: El instrumento de reporte de laboratorio es adecuado para la optimización y la encuesta de apoyo en la investigación.

Yauli, 21 de Julio de 2022	42257200	 Eduardo Isael Zacarias Ramos CIP: 203263	988588219
Lugar y Fecha	DNI	Firma del experto	Nº Celular



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante: Padilla Paucar Aldrin Alan
- 1.2. Grado académico: Ingeniero Titulado en Ingeniero Metalurgista
- 1.3. Cargo e institución donde labora: Jefe de Relavera y Planta DCT (Espesador de Cono Profundo) – Compañía minera Volcan
- 1.4. Título de Investigación: Optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.
- 1.5. Autor del instrumento: Rojas Baldeón Cristhian Danny
- 1.6. Nombre del instrumento:
 - ✓ Cuestionario adoptado en la recolección de información
 - ✓ Resultados del laboratorio químico en el análisis de agua

II. ASPECTO DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20 %	Regular 21 – 40%	Buena 41 – 60%	Muy buena 61– 80%	Excelente 81 – 100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y formulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende de calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para la optimización					X
CONSISTENCIA	Basados en pruebas de laboratorio				X	
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación					X

III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN: 96%

IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN: El instrumento de reporte de laboratorio es adecuado para la optimización y la encuesta de apoyo en la investigación.

Yauli, 18 de Marzo de 2022	43387910		945434481
Lugar y Fecha	DNI	Firma del experto	Nº Celular



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante: Ramos Canchanya Truadio Jorge
- 1.2. Grado académico: Ingeniero Titulado en Ingeniero Metalurgista
- 1.3. Cargo e institución donde labora: Superintendente Planta Concentradora
- 1.4. Título de Investigación: Optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.
- 1.5. Autor del instrumento: Rojas Baldeón Cristhian Danny
- 1.6. Nombre del instrumento:
 - ✓ Cuestionario adoptado en la recolección de información
 - ✓ Resultados del laboratorio químico en el análisis de agua

II. ASPECTO DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20 %	Regular 21 – 40%	Buena 41 – 60%	Muy buena 61– 80%	Excelente 81 – 100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y formulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende de calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para la optimización					X
CONSISTENCIA	Basados en pruebas de laboratorio					X
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación					X

III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN: 98%

IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN: El instrumento de reporte de laboratorio es adecuado para la optimización y la encuesta de apoyo en la investigación.

Yauli, 09 de Mayo de 2021	21257672		964241138
Lugar y Fecha	DNI	Firma del experto	Nº Celular

ANEXO 3: Matriz de consistencia

OPTIMIZACIÓN DE EFLUENTE Y DISPOSICIÓN DE RELAVE EN PASTA A NIVEL PILOTO EN EL ESPESADOR DE CONO PROFUNDO – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA – YAULI – 2019

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión	Método	Técnica	Instrumento
¿Cómo optimizar el efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?	Determinar los factores influyentes para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	La selección de los factores influye significativamente en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	V. Independiente:	V.I. Nivel 1 – Selección de floculante	Tipo de Investigación Aplicado Experimental Método de investigación Método Experimental	Muestreo Pruebas Experimentales Observación no experimental	Ficha de recojo de datos de muestras. Ficha de recojo de datos de pruebas en laboratorio.
¿Cómo seleccionar el floculante adecuado para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?	Seleccionar el floculante adecuado para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	La selección de floculante adecuado influye considerablemente para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	Los factores influyentes del efluente y disposición de relave	Nivel 2 – Selección de factores influyentes Nivel 3 – Mejorar los factores influyentes	Diseño investigación Experimental Población La población de estudio fue representada por el relave nativo de operaciones para ser sometido a prueba de clarificación y bombeo.	Observación de Campo Entrevista Datos recolectados	Ficha de recojo de información en campo. Encuesta
¿Cómo seleccionar los factores influyentes para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?	Seleccionar los factores influyentes para la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	Mediante la selección de los factores influyentes se logrará la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	V. Dependiente: Optimización	V.D. - % Sólido en pasta - Turbidez	Muestra Caudal de alimentación El Relave que ingresa al espesador de cono profundo cada 1 hora		Ficha de información en laboratorio.
¿Cómo mejorar el control de los factores influyentes en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019?	Mejorar el control de los factores influyentes en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.	El control de los factores influyentes mejora en la optimización de efluente y disposición de relave en pasta a nivel piloto en el Espesador de Cono Profundo – Volcan Compañía Minera – Yauli – 2019.					

ANEXO 4: Panel fotográfico



Foto 1. Planta de Espesador de relave de Cono Profundo (DCT) – Relavera Rumichaca



Foto 2. Espesador de Cono Profundo (DCT)



Foto 3. Muestra de la densidad del Relave inicial

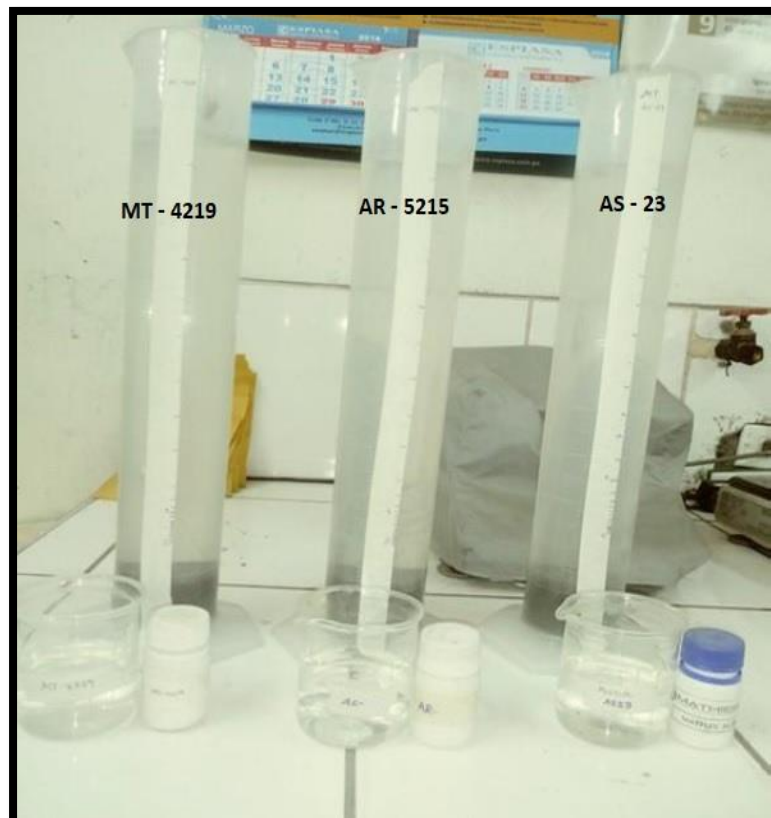


Foto 4. Prueba con los Floculantes en las probetas



Foto 5. Pruebas de tiempo de separación sólido-líquido en probetas



Foto 6. Pruebas de sedimentación en probetas



Foto 7. Medición del relave en pasta, en la prueba de Slump



Foto 8. Pruebas de sedimentación en probetas



Foto 9. Mezcla de relave y floculante en el feed well



Foto 10. Overflow del espesador, con turbidez óptimo



Foto 11. Llenado de relave en pasta de la descarga y medición de la densidad



Foto 12. Descarga de relave en pasta al depósito de relave Rumichaca



Foto 13. Manera óptima del relave en pasta



Foto 14. Relavera Rumichaca