



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**ANÁLISIS TÉCNICO DEL USO DEL MATERIAL DE RELAVE EN
UN SISTEMA DE RELLENO HIDRÁULICO PARA EL MÉTODO
DE EXPLOTACIÓN POR CORTE Y RELLENO ASCENDENTE, EN
LA MINA PIQUE DE LA EMPRESA “OROCONCENT S.A.” DEL
CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR:

JEAN MARCO SÁNCHEZ RIVERA

Macas – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS**

**ANÁLISIS TÉCNICO DEL USO DEL MATERIAL DE RELAVE EN
UN SISTEMA DE RELLENO HIDRÁULICO PARA EL MÉTODO
DE EXPLOTACIÓN POR CORTE Y RELLENO ASCENDENTE, EN
LA MINA PIQUE DE LA EMPRESA “OROCONCENT S.A.” DEL
CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR: JEAN MARCO SÁNCHEZ RIVERA

DIRECTOR: ING. MARCO ANTONIO MEJÍA FLORES MSc.

Macas – Ecuador

2022

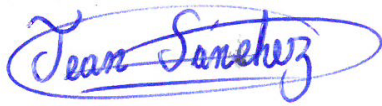
©2022, Jean Marco Sánchez Rivera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jean Marco Sánchez Rivera declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 02 de diciembre de 2022



Jean Marco Sánchez Rivera

140097117-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

SEDE MORONA SANTIAGO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS TÉCNICO DEL USO DEL MATERIAL DE RELAVE EN UN SISTEMA DE RELLENO HIDRÁULICO PARA EL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR CORTE Y RELLENO ASCENDENTE, EN LA MINA PIQUE DE LA EMPRESA “OROCONCENT S.A.” DEL CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO.**, realizado por el señor: **JEAN MARCO SÁNCHEZ RIVERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Alex Estuardo Erazo Lara. Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		22-12-02
Ing. Marco Antonio Mejía Flores. Msc. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		22-12-02
Ing. Fabián Ricardo Ojeda Pardo. Msc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		22-12-02

DEDICATORIA

A mis familiares, padres y amigos, por acompañarme en esta travesía, siendo cada uno de ellos el pilar principal de lucha y esfuerzo para continuar con mis metas actuales y futuras permitiéndome alcanzar cada una de ellas.

Jean

AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento al Ing. Marco Antonio Mejía Flores e Ing. Fabián Ricardo Ojeda Pardo, por cada una de sus asesorías en el desarrollo de mi trabajo de integración curricular y por el acompañamiento en mi crecimiento tanto como estudiante y de un futuro profesional.

De igual manera agradezco la oportunidad brindada por la Empresa Minera OROCONCENT S.A. en nombre del Ing. Juan Diego Varela Rodríguez, gerente general de tan importante empresa, por abrirme sus puertas y brindarme las facilidades, así como la oportunidad de realizar tanto mis prácticas profesionales y el trabajo de integración curricular.

Un agradecimiento al Ing. Juan Pablo León y Ing. José Cisneros los cuales ayudaron en mi crecimiento y formación profesional, fomentaron una admiración ante sus labores profesionales en el ámbito minero.

A mis amigos y compañeros universitarios con los cuales nos hemos apoyado y convivido seis años de duras batallas, tristezas y alegrías que nos han fortalecido tanto como personas y futuros ingenieros mineros del país.

A mi madre la persona más importante en mi vida la cual me ha sostenido y brindado su amor incondicional desde el día de mi nacimiento, siendo ella mi alegría y el motivo por el cual he culminado con orgullo mi trabajo de titulación.

Jean

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1	Planteamiento del Problema	3
1.2	Justificación	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	<i>Objetivo General</i>	4
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPITULO II

2	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1	Antecedentes	5
2.1.1	<i>Geología Regional</i>	6
2.1.2	<i>Geología Local</i>	6
2.2	Generalidades	7
2.2.1	<i>Cantón Portovelo</i>	7
2.2.2	<i>Superficie y Extensión</i>	8
2.2.3	<i>Ubicación de la Mina</i>	8
2.2.4	<i>Accesibilidad</i>	9
2.2.5	<i>Clima y Temperatura</i>	9
2.2.6	<i>Hidrografía</i>	9
2.2.7	<i>Topografía</i>	11

2.3	Aspecto Conceptual del Relleno Hidráulico	11
2.3.1	Relleno Hidráulico.....	11
2.3.1.1	<i>Aplicaciones del Relleno Hidráulico</i>	13
2.3.1.2	<i>Ventajas del Relleno Hidráulico.....</i>	14
2.3.1.3	<i>Desventajas del Relleno Hidráulico</i>	14
2.3.1.4	<i>Características técnicas del Relleno Hidráulico</i>	15
2.3.2	Pulpa	16
2.3.3	Características del Material para Transportar	17
2.3.3.1	<i>Gravedad Específica de los Sólidos</i>	17
2.3.3.2	<i>Tamaño máximo de las partículas.....</i>	18
2.3.3.3	<i>Dureza de los Sólidos</i>	19
2.3.4	Propiedades Físicas y Mecánicas del Relleno Hidráulico	20
2.3.4.1	<i>Porosidad (n).....</i>	20
2.3.4.2	<i>Relación de vacíos (e).....</i>	21
2.3.5	Análisis Granulométrico	24
2.3.5.1	<i>Diámetro efectivo (D10)</i>	24
2.3.5.2	<i>Coficiente de uniformidad (Cu).....</i>	25
2.3.5.3	<i>Velocidad de Percolación (V1P1).....</i>	25
2.3.6	Comportamiento Mecánico del Relleno Hidráulico.....	26
2.3.6.1	<i>Densidad Relativa (DR)</i>	26
2.3.6.2	<i>Efecto del Agua en el Relleno Hidráulico</i>	28
2.3.6.3	<i>Presión Neutra (UW) y Presión Efectiva (P).....</i>	28
2.3.6.4	<i>Consolidación.....</i>	28
2.3.6.5	<i>Compactación.....</i>	29
2.3.6.6	<i>Cementación</i>	29
2.3.6.7	<i>Compresibilidad</i>	29

CAPITULO III

3	ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DEL RELLENO HIRÁULICO	32
3.1	<i>Análisis Geomecánico del macizo rocoso.....</i>	32
3.2	<i>Análisis Químico del Material de Relave</i>	39
3.3	<i>Análisis Físico del Material de Relave.....</i>	41
3.3.1	Calidad del Material de Relleno.....	41
3.3.1.1	<i>Análisis Granulométrico de muestra de relave mediante Tamización</i>	42
3.3.1.2	<i>Curva Ideal de distribución de partículas o Curva de Talbot</i>	43

3.3.1.3	<i>Comparación Curva de Muestras de Relave entre Curva de Talbot.....</i>	44
3.3.2	<i>Características del Material de Relleno en diferentes proporciones de Mezcla</i>	45
3.3.2.1	<i>Cálculo de Gravedad Específica del material de relave</i>	45
3.3.2.2	<i>Ensayos de Mezcla de Pulpa en Proporción 1:1</i>	47
3.3.2.3	<i>Ensayos de Mezcla de Pulpa en Proporción 1.5:1.....</i>	61
3.3.2.4	<i>Ensayos de Mezcla de Pulpa en proporción 2:1</i>	79

CAPITULO IV

4	RESULTADOS	94
4.1	Resumen de resultados ensayos compresión uniaxial y análisis geomecánico.....	94
4.2	Resumen de resultados de los ensayos físicos con pulpa de relave.	95
4.3	Resultados análisis químico del material de relave.....	97

CONCLUSIONES.....98

RECOMENDACIONES.....100

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Gravedad Específica de Materiales Sólidos con tendencia a ser transportados.	17
Tabla 2-2: Tabla de valores de gravedad específica en materiales sólidos típicos.	17
Tabla 2-3: Tamaño máximo de partículas con tendencia a ser transportados.....	18
Tabla 2-4: Dureza de Sólidos según escala de Mohs.....	19
Tabla 2-5: Abrasividad y la relación existente con la escala de Mohs.	19
Tabla 2-6: Relación de vacíos tomando en cuenta el tipo de Relleno.....	21
Tabla 2-7: Clasificación del material arenoso por su porcentaje de humedad.....	23
Tabla 2-8: Distribución de tamaños de las partículas en una muestra material.	24
Tabla 2-9: Compresibilidad en diferentes materiales utilizados en el relleno.	30
Tabla 2-10: Características mecánicas de rellenos hidráulicos arenosos y arcillosos.....	31
Tabla 3-1: Datos estructurales del subnivel "La China".	32
Tabla 3-2: Datos estructurales del subnivel "La China".	36
Tabla 3-3: Clasificación Geomecánica del Subnivel "LA CHINA" segunda parte.	37
Tabla 3-4: Corrección del RMR por Orientación de las Discontinuidades.....	38
Tabla 3-5: Determinación de elementos por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.	40
Tabla 3-6: Mallado y Porcentaje acumulativo de la Muestra de Relave.....	42
Tabla 3-7: Mallado y Porcentaje acumulativo idea según la Curva de Talbot.	43
Tabla 3-8: Comparativa entre la Curva de Talbot y Material de Relave.	44
Tabla 3-9: Valores para el cálculo de gravedad específica.	46
Tabla 3-10: Datos obtenidos en la prueba de agitación del relave.....	49
Tabla 3-11: Pruebas de Slump con y sin el uso de Cal.	53
Tabla 3-12: Prueba de Decantación y sedimentación del relave.....	54
Tabla 3-13: Datos obtenidos de la segunda prueba de agitación del relave.....	57
Tabla 3-14: Segunda prueba de Slump con y sin Cal.	60
Tabla 3-15: Segunda prueba de decantación y sedimentación del relave.	61
Tabla 3-16: Primera prueba de agitación de mezcla de relave 1.5:1.....	64
Tabla 3-17: Prueba de Filtración de mezcla de pulpa razón 1.5:1.	66
Tabla 3-18: Prueba de Slump mezcla 1.5:1.	68
Tabla 3-19: Prueba de decantación y sedimentación de pulpa razón 1.5:1.....	69
Tabla 3-20: Segunda prueba de agitación de mezcla de relave 1.5:1.	72
Tabla 3-21: Prueba de Filtración de mezcla de pulpa razón 1.5:1.	75
Tabla 3-22: Segunda prueba de Slump mezcla 1.5:1.....	77
Tabla 3-23: Prueba de decantación y sedimentación de pulpa razón 1.5:1.....	78
Tabla 3-24: Prueba de agitación de mezcla de relave 2:1.....	81

Tabla 3-25: Prueba de filtración y consolidación de mezcla 2:1.	82
Tabla 3-26: Prueba Slump en mezcla de pulpa con razón 2:1.	83
Tabla 3-27: Prueba de sedimentación de mezcla de pulpa 2:1.	85
Tabla 3-28: Segunda prueba de agitación de mezcla de relave 2:1.	88
Tabla 3-29: Segunda Prueba de filtración y consolidación de mezcla 2:1.....	90
Tabla 3-30: Prueba Slump en mezcla de pulpa con razón 2:1.	91
Tabla 3-31: Segunda prueba de sedimentación y decantación de mezcla 2:1.	92
Tabla 4-1: Resumen de ensayo de compresión uniaxial ASTM C-170.	94
Tabla 4-2: Análisis semicuantitativo y semicualitativo de los minerales en fase cristalina.....	97

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Mapa geológico del distrito minero Zaruma-Portovelo.....	6
Ilustración 2-2: Ubicación Geográfica del Cantón Portovelo.	7
Ilustración 2-3: Fotografía aérea de la zona Minera.....	8
Ilustración 2-4: Mapa Hidrológico del Cantón Portovelo.	10
Ilustración 2-5: Rangos altitudinales presentes en el cantón Portovelo.	11
Ilustración 2-6: Curva Granulométrica para el uso del Relleno Hidráulico.	13
Ilustración 2-7: Modelo de Funcionamiento del Relleno Hidráulico.	16
Ilustración 2-8: Estados físicos del material utilizado en el relleno hidráulico.....	20
Ilustración 3-1: Concentración de polos en el área analizada.	33
Ilustración 3-2: Representación de polos en el estereograma.	34
Ilustración 3-3: Diagrama de rosetas.....	34
Ilustración 3-4: Planos de discontinuidad y rumbos del subnivel "La China".	35
Ilustración 3-5: Modelamiento de posibles fallas en forma de cuña.	39
Ilustración 3-6: Curva Granulométrica de la Muestra de Relave.	42
Ilustración 3-7: Curva de Talbot o distribución ideal de partículas.	44
Ilustración 3-8: Curvas Granulométricas de Talbot y Relave.	45
Ilustración 3-9: Cálculo del Peso de los Balones o Picnómetros.	47
Ilustración 3-10: Secado de relave para el cálculo de humedad.....	48
Ilustración 3-11: Agitación de la mezcla de relave y agua.....	50
Ilustración 3-12: Prueba de Filtración de Mezcla 1:1.	51
Ilustración 3-13: Cono utilizado para prueba de Slump.....	52
Ilustración 3-14: Prueba de Slump en mezcla 1:1.....	53
Ilustración 3-15: Secado de muestra húmeda de relave.	55
Ilustración 3-16: Agitador de hélice mezclando la muestra de pulpa.....	58
Ilustración 3-17: Segunda Prueba de Filtración de Mezcla 1:1.....	59
Ilustración 3-18: Medición de la altura de la mezcla de pulpa 1:1.....	60
Ilustración 3-19: Medición de Cal tomando en cuenta la proporción de mezcla.	63
Ilustración 3-20: Agitación de mezcla de pulpa en proporción 1.5:1.....	65
Ilustración 3-21: Etapa inicial de la prueba de filtración de pulpa.....	66
Ilustración 3-22: Medición de la altura de la pulpa mediante prueba slump.....	68
Ilustración 3-23: Secado de material de relave para distintas pruebas.	71
Ilustración 3-24: Agitación de segunda mezcla de pulpa en proporción 1.5:1.....	73
Ilustración 3-25: Medición inicial de la prueba de filtración de pulpa.....	74
Ilustración 3-26: Medición de pulpa, filtración y película de agua de mezcla 1,5:1.....	76

Ilustración 3-27: Medición de altura de columna compuesta por pulpa de relave.	77
Ilustración 3-28: Filtración casi nula de mezcla 2:1.....	82
Ilustración 3-29: Prueba de Slump en mezcla 2:1.....	84
Ilustración 3-30: Secado y compactación de la pulpa de relave.....	86
Ilustración 3-31: Pesaje de Muestra para calcular su humedad.....	87
Ilustración 3-32: Agitación de mezcla de pulpa en razón 2:1.	89
Ilustración 3-33: Segunda prueba de Slump en mezcla 2:1.	91
Ilustración 3-34: Secado y compactación de la pulpa de relave 2:1.....	93
Ilustración 4-1: Ensayo de compresión uniaxial.	94
Ilustración 4-2: Comparación de mezclas 1:1; 1.5:1; 2:1 prueba slump.	96

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: VISITA INICIAL A LA MINA “EL PIQUE”.

ANEXO B: VERIFICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO.

ANEXO C: ZONA DE DEPÓSITOS DE RELAVE PARA MUESTREO.

ANEXO D: ÁREA DE DEPÓSITOS DE RELAVE SECO.

ANEXO E: PROCESO DE MUESTREO DEL MATERIAL DE RELAVE EN CAMPO.

ANEXO F: TAMIZACIÓN DE LA MUESTRA SECA DE RELAVE.

RESUMEN

Con el fin de analizar un nuevo sistema de relleno que permita disminuir la inestabilidad en los frentes de extracción, así como aumentar la productividad y el rendimiento hora hombre en la Mina el Pique, en la que se aplica el método de explotación por Corte y Relleno Ascendente por parte de la empresa minera OROCONCENT S.A. El presente trabajo de titulación se ha desarrollado en función de un estudio técnico del material de relave, que se ha propuesto utilizarlo en forma de pulpa, compuesto por dicho elemento y la adición equitativa de agua, obteniendo una mezcla que será ente de comprobación para su aplicación en el relleno hidráulico. El análisis técnico del proyecto evaluará la granulometría adecuada para que el material de relave sea efectivo y se asemeje a la curva de distribución ideal de partículas, que influye en el transporte, decantación, filtración, sedimentación y compactación de dicha pulpa, en la que se deberá adicionar una proporción de material tanto fino como grueso, analizando los resultados de la tamización de relave y comparando con la curva de Talbot. Se ejecutó una caracterización geomecánica del macizo rocoso que demuestre la existencia de discontinuidades y presiones externas, que generan condiciones inestables en los frentes de explotación, elevando el porcentaje de peligrosidad antes, durante y después de realizar labores de extracción. Dicha consecuencia es de las principales razones que encuentran como opción fiable la aplicación del relleno hidráulico como sostenimiento, nivelación y cierre de zonas de explotación. El análisis químico indica el porcentaje de elementos minerales y fases cristalinas pertenecientes a la veta y roca encajante que es procesada en la planta de concentración, evaluando de forma semicuantitativa y semicualitativa dichas partículas, que serán propensas a la adición de otras sustancias como la Cal que permitan el secado y consolidación de la pulpa.

Palabras Clave: <RELLENO HIDRÁULICO>, <COMPACTACIÓN>, <SEDIMENTACIÓN>, <RELAVE>, <INESTABILIDAD>, <PULPA>, <CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA>, <ANÁLISIS QUÍMICO>.



1217-UPT-DBRA-2023

ABSTRACT

With the aim to analyze a new backfilling system to reduce the instability from the mine face, as well as to increase the productivity and men-hour efficiency in El Pique Mine, where the operating method is applied as per ascending Cut and Fill by OROCONCENT S.A. mining company. This thesis has been developed according to a technical study about tailings material, used in the form as pulp and added to an equitable measure of water obtaining a mixture, which will be tested to be applied in the hydraulic backfill. The technical analysis of the project will evaluate the appropriate granulometry of the tailings material to be effective and resemble the ideal particle distribution curve, which affects the transport, decantation, filtration, sedimentation and compaction of the pulp. Then, it has to be added a proportion of both fine and coarse material, analyzing the results of tailings screening and comparing to Talbot curve. A geomechanical characterization of the rock mass was carried out to demonstrate the existence of discontinuities and external pressures, which create unstable conditions in the mine face, increasing the percentage of danger before, during and after carrying out the extraction process. That is the main reason accepted as reliable option according to the hydraulic backfill to be applied as support, leveling and closure of mining areas. The chemical analysis determines the percentage of mineral elements and crystalline phases belonging to the vein and encasing rock that is processed in the concentration plant, evaluating in a semi-quantitative and semi-qualitative way those particles, which will be prone to the addition of other substances such as lime that allow the drying and consolidation of the pulp.

Keywords: <HYDRAULIC BACKFILL>, <COMPACTION>, <SEDIMENTATION>, <TAILING>, <INSTABILITY>, <PULP>, <GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION>, <CHEMICAL ANALYSIS>.



Lic. Jessica Galimberti Mg.
CI: 175646848-2

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de integración curricular se ha realizado en la Empresa Minera OROCONCENT S.A. con el Código: 390299, zona El Pique, posee una mineralización polimetálica de los cuales principalmente destacan oro y plata que se encuentran como inclusión en las vetas, con rumbo sureste y que cada una posee una longitud variable de sus clavos mineralizados entre decenas y varios cientos de metros con una extensión en sentido vertical entre los 100 y 600 metros de profundidad.

La Mineralización explotada en la zona ha sido analizada y verificada como tipo epitermal de subclase Adularia-Sericita (Van Thournout et al., 1996), que se han incrustado en rocas volcánicas, principalmente andesitas como roca de caja alrededor de las vetas auríferas-polimetálicas que poseen un sentido longitudinal con un área aproximada de 48 Km^2 , la cual comprende la estructura regional Piñas-Portovelo y la falla Palestina-Puente Buza (Vykentyev et al., 2005)

Se define como relleno hidráulico al material que es transportado en forma de pulpa por tuberías. En su mayoría el material es el relave de planta concentradora, pero también se utiliza arenas glaciares y otros materiales granulares que se encuentra en la naturaleza. (Gómez de la Torre, M. & et al, 2018)

El material de desperdicio ubicado en la zona de depósitos de relaves provenientes de las colas posteriores a la concentración es el factor a utilizar y/o constituye la materia prima principal para el relleno de los caserones de explotación, por lo que se debe realizar tanto un análisis técnico y a su vez para la aplicación del relleno hidráulico (que podrá ser implementado), por la cual el relave será trasladado a la zona predispuesta a realizar dicho método de sostenimiento mediante el uso de tuberías las cuales transportaran la pulpa, que finalmente será depositada en las zonas de explotación escogidas o tajos.

La Empresa Minera OROCONCENT S.A con el Código: 390299, tiene como objetivo generar un proceso colmado de innovación en el tema de explotación y obtención de recursos minerales tanto auríferos como polimetálicos, por lo que posee una capacidad de procesamiento de 655 Tn/día las cuales aumentarán progresivamente y necesitará la expansión del área de depósitos de relaves.

Por lo que la presente investigación técnica se basa en efectuar un análisis para la aplicación del relleno hidráulico en los diferentes caserones existentes en la planta de la Empresa Minera OROCOCENT, lo que generará un aumento en la capacidad operativa diaria, un mejor sostenimiento de las labores mineras y un incremento en los beneficios operativos como ambientales.

CAPITULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Considerando el método de explotación por Corte y Relleno Ascendente utilizado para la extracción de vetas minerales, se ha ejecutado un análisis del Ciclo de Minado con el que se ha determinado la necesidad de una alternativa en las actividades de nivelación del piso o cierre de frentes de explotación con el motivo de fortalecer la estabilidad del macizo rocoso circundante a las zonas de actividad minera.

Tomando en cuenta dicho factor, surge la importancia de la aplicación de una nueva alternativa del uso del material resultante de la concentración mineral que es ubicado en los depósitos de relaves, que pretende dar una solución tanto a los problemas relacionados a la capacidad de dicho almacén, los fenómenos de inestabilidad y sobre todo para la nivelación del terreno con el que se continuará con la extracción ascendente del bien natural mediante la creación de subniveles.

Por lo dicho anteriormente, la aplicación del Relleno Hidráulico será un punto clave en la recuperación y/o extracción mineral, ya que el ciclo de minado acelerará su producción y aumentará el rendimiento, disminuyendo los costos de minado y mejorando el beneficio económico permitiendo la continuidad del proyecto minero.

1.2 Justificación

En la Zona de Explotación de la Mina El Pique emplea el método del Corte y Relleno con el que se extrae la veta mineral para la recuperación del oro y permite la obtención de beneficios económicos. En la actualidad la nivelación del Caserón o frente de explotación se emplea el relleno detrítico para continuar con el ascenso de los niveles, el cual consiste en realizar la perforación y voladura de la roca de caja que se deposita, se acumula en fragmentos y debe ser nivelado mediante un trabajo manual a lo largo del área circundante permitiendo tanto una estabilización en el sitio y a su vez obtener un piso que favorezca la aplicación correcta del método de explotación.

Por lo cual, el siguiente trabajo investigativo se basa en el análisis de los depósitos de relave los cuales presentan un crecimiento continuo debido a la exploración, descubrimiento, preparación y

la extracción de nuevas vetas minerales dentro de la extensión de la mina, estas después de ser intervenidas mediante el proceso de concentración son desechadas y llevadas a su zona de depositación conocida como depósitos de relaves, lo que genera su crecimiento exponencial en su masa, este motivo es el por el que se ha percibido la necesidad del uso de este material ubicado en su depósito conocido como depósitos de relaves.

Esto explica la finalidad del Relleno Hidráulico (posible a implementar) el mismo que se basa en la utilización de estos desechos, permitiendo así una disminución en la cantidad de material dispuesto en los depósitos de relaves, gastos en perforación/voladura y otorgando un beneficio claro en el sostenimiento de los tajos ya explotados para continuar con el ciclo de minado.

Como punto final la viabilidad del uso del Relleno Hidráulico dependerá de los diferentes análisis realizados al material dispuesto en la depósitos de relaves, de igual manera el conocer si las características del mismo son lo suficientemente adecuadas para su aplicación dentro de los tajos que necesiten el aumento en el nivel de altura para continuar con el ciclo de minado en los caserones o frentes que sean propensos al cierre de sus actividades, tomando en cuenta a las operaciones realizadas mediante el método de corte y relleno con el cual se extraen las vetas minerales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la alternativa del uso del material de relave en un sistema de Relleno Hidráulico en explotación de vetas angostas por el método de Corte y Relleno Ascendente, en la Mina El Pique de la empresa OROCONCENT S.A, ubicada en el Sector el Tablón del cantón Portovelo en la Provincia de El Oro.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características mecánicas de la roca encajante.
- Analizar las características fisicoquímicas del material proveniente de los depósitos de relaves, para su utilización en el Relleno Hidráulico.
- Establecer las características físicas del relleno hidráulico.

CAPITULO II

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes

En años anteriores la Mina “El Pique” correspondiente a la empresa OROCONCENT S.A., ha llevado a cabo la extracción de vetas minerales con alto contenido metálico de oro, plata y otros elementos polimetálicos, mediante la aplicación del método de explotación por Corte y Relleno Ascendente. El cual se basa en la creación de diferentes subniveles, siguiendo la dirección de las vetillas, escalando para continuar con la perforación, voladura, retiro y transporte del recurso mineral hacía la superficie.

El problema principal en este tipo de explotación es la inestabilidad que se crea en los caserones o frentes de explotación debido a la calidad del macizo rocoso circundante. A su vez la existencia de labores mineras artesanales coloquialmente denominadas como cuarenta y cinco, las mismas que desfavorecen la estabilidad de la galería generando riesgos y acumulando presiones tanto al techo y hastiales de toda la sección. La necesidad del análisis del material de relave es el pináculo inicial para identificar la posibilidad de implementación de un sistema de Relleno Hidráulico el cual beneficiará tanto al Ciclo de explotación existente y se convertirá en un desahogo sustancial de los depósitos de relave en cuanto a espacio y volumen de material, para continuar con los procesos de concentración mineral.

La forma actual de relleno y sobre todo nivelación de los caserones y frentes de avance consiste en el Relleno Detrítico el que se basa en la realización de perforaciones a los costados o hastiales de la sección de explotación, por lo que el material desprendido es roca encajante con un porcentaje casi nulo de mineralización que es esparcido a lo largo del piso generando un aumento del nivel y de este modo aplicando correctamente el método por Corte y Relleno Ascendente. Todas estas tareas adicionales de perforación y nivelación del material encajante implican un aumento sustancial de recursos humanos y herramientas necesarias para la realización de la actividad minera lo que incrementa el tiempo de ejecución de las actividades para la extracción mineral y por ende amplifica el costo de minado. Como alternativo al Relleno existente se ha propuesto el análisis de un sistema de Relleno Hidráulico en el que se utilizará el material presente en los depósitos de relaves, el mismo que servirá como material de sostenimiento.

2.1.1 Geología Regional

El distrito Zaruma-Portovelo se encuentra ubicado en la parte sureste de la denominada faja de mineralización aurífera-polimetálica Zaruma Portovelo la cual mediante estudios es conocida como la falla Piñas-Portovelo.

La Unidad Portovelo se encuentra en contacto tectónico con un conjunto de rocas metamórficas del Complejo Metamórfico. En la comarca estudiada define un amplio registro de la actividad magmática plutónica y volcano efusiva terciaria. Esta zona comprende lava basalto-andesítica con textura porfírica, tobas andesíticas y dacíticas. La Serie Portovelo comprende lavas andesíticas y basalto-andesíticas adquiriendo un rumbo noroeste-sureste teniendo en cuenta un buzamiento de entre 35° y 45° al suroeste. (Guevara, 2009, p. 48.).

2.1.2 Geología Local

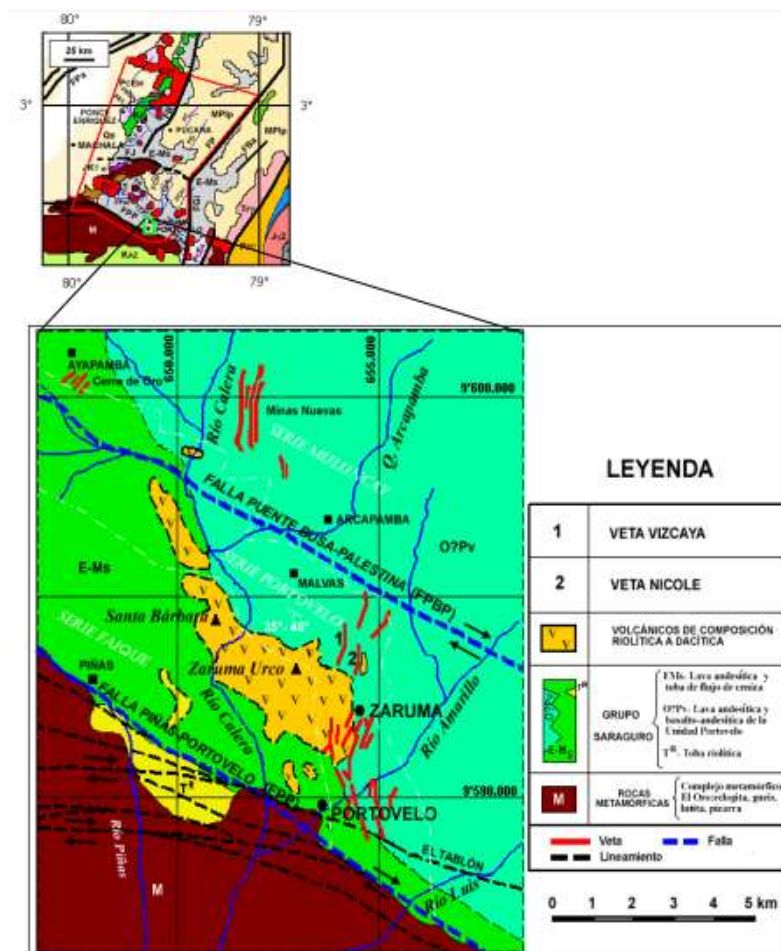


Ilustración 2-1: Mapa geológico del distrito minero Zaruma-Portovelo.

Fuente: Guevara, 2009, p. 49.

El sector minero conocido como el Tablón se encuentra constituido por los siguientes filones mineralizados conocidos como: Tablón, Fortuna y Elena, los cuales son explotados por la empresa minera OROCONCENT S.A. en la zona de extracción “El Pique” que se localizan al Sureste del sistema de filones Curipamba, en el extremo suroriental del distrito minero (x: 9’588.680; y:654.722), encontrándose a una cota de 740 m.s.n.m. Se debe identificar que es un sistema aislado comprendido por vetas y vetillas que alcanzan 2 metros de potencia. El filón el Tablón posee un rumbo noreste-suroeste el cual promedia un buzamiento de 45° al sureste, del mismo modo, los filones Fortuna y Elena tienen un rumbo noroeste-sureste promediando un buzamiento entre 60° y 70° al Noreste, respectivamente. (Guevara, 2009, p. 66.)

2.2 Generalidades

2.2.1 Cantón Portovelo

El Cantón Portovelo está localizado en la provincia de El Oro ubicado en la parte alta de la misma, atravesado tanto por las estribaciones pertenecientes a la Cordillera de los Andes y él río Amarillo el cual es su característico y principal afluente. El cantón Portovelo limita al norte con el cantón Zaruma, al sur y al este con la provincia de Loja y finalmente al oeste interactúa con el cantón Piñas. (Zhigüe, 2017, p. 21.)

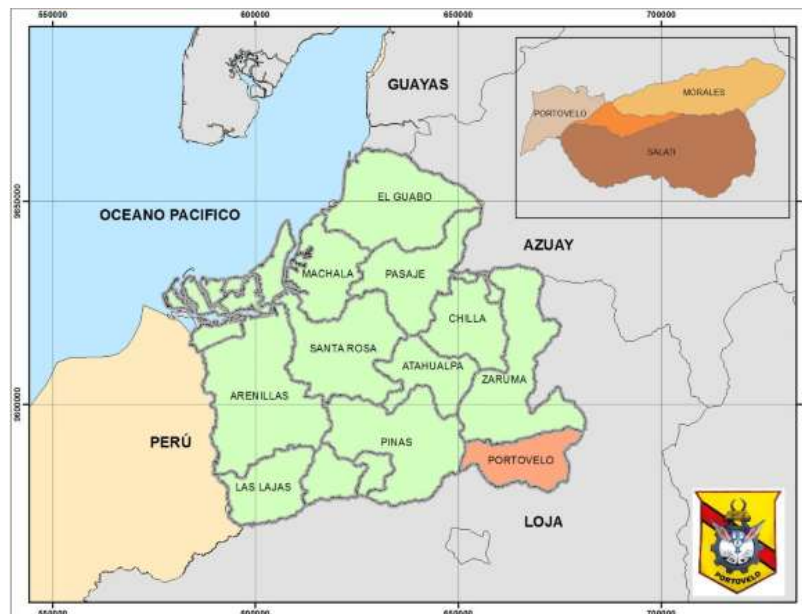


Ilustración 2-2: Ubicación Geográfica del Cantón Portovelo.

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2020, p. 1.

2.2.2 Superficie y Extensión

El Cantón Portovelo posee una superficie de 286,20 km^2 en su totalidad, considerando la provincia de El Oro, que vendría a ser el 4,78% del área total de dicha provincia. La altura o cota a la que se encuentra el cantón Portovelo es de 640 metros sobre el nivel del mar.

El área anteriormente dicha está constituida por 4 parroquias de las cuales 1 es urbana y lleva el mismo nombre que el cantón y los tres sobrantes son parroquias rurales conocidas como: Morales, Salatí y Curtincapac. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2017, p. 14.)

2.2.3 Ubicación de la Mina

La Empresa Minera OROCONCENT S.A se encuentra localizada en el Cantón: Portovelo: Provincia de el Oro, a su vez sus instalaciones están ubicadas en la zona el Tablón cerca al barrio San José de la ciudad de Portovelo a 2 km de la vía que conduce a la parroquia Salatí. Como dato importante sus coordenadas geográficas específicas de la mina se encuentran en el punto: X= 654337.88; Y= 9588111.99



Ilustración 2-3: Fotografía aérea de la zona Minera

Fuente: Espinoza, 2015, p. 57.

2.2.4 Accesibilidad

La ruta de acceso a la cabecera cantonal y/o ciudad de Portovelo se realiza mediante dos vías de acceso, la más conocida y la principal es la denominada vía Troncal de la Costa E25, a su vez afronta un cambio de dirección entre las zonas de Santa Rosa y Arenillas, la vía dicha anteriormente tiene un cruce con la ruta Transversal Sur (E50), que permite ser el nexo con la Y de Saracay, su recorrido avanza directamente a la vía suroriental girando a mano izquierda la misma que conectará directamente con la ciudad de Portovelo. (Zhigüe, 2017, p. 22.)

2.2.5 Clima y Temperatura

El Cantón Portovelo posee dos estaciones meteorológicas definidas, que son: el invierno entre los meses de diciembre a mayo, del mismo modo, el verano que abarca los meses de junio a noviembre. Definiendo su temperatura está se encuentra establecida como cálida húmeda que considera como factor la clave la altura en la que se ubica por lo que en zonas altas la temperatura es de 11° a 15° C y en las partes bajas del territorio la temperatura fluctúa entre los 16° a 23° C con una humedad entre el 40 y 50%. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2017, p. 36-37)

Por lo tanto, al cantón Portovelo se lo define como poseedor de un clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo, con una temperatura media que se extiende a lo largo de su territorio.

2.2.6 Hidrografía

El Cantón Portovelo se encuentra delimitado por una gran cantidad de afluentes o ríos, quebradas que lo potencian como una zona altamente hídrica, ya que es atravesado por los ríos: El Amarillo, Salatí, San Luis y Ambocas. Los tres últimos afluentes forman diferentes lagunas cristalinas que demuestran la pureza del recurso hídrico y a su vez constituyen el gran río Pindo.

Por su parte el Río Amarillo es aquel que traspasa o corta a la ciudad en sentido noreste-sureste y que al final desemboca con el río Puyango.

El Cantón Portovelo forma parte de la cuenca hidrográfica del Río Puyango, que se origina a 3800 m.s.n.m., teniendo como principales aportadores de líquido vital a los Páramos de Arcos, Corredores y Chiguango. (Zhigüe, 2017, p. 23.)



Ilustración 2-4: Mapa Hidrológico del Cantón Portovelo.

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2017, p. 23.

2.2.6. Mineralogía

El Cantón Portovelo posee una asociación mineralógica precedida por dos tipos de elementos minerales conocidos como mena y ganga, reconocidos como sulfuros (en los cuales se encuentran Oro y Plata dentro de los intersticios de los sulfuros polimetálicos); Pirita (FeS_2), Calcopirita (CuFeS_2), Arsenopirita (FeAsS), Feldespatos Potásicos (AlSi_3O_8) (K-Na-Ca), Cuarzo (SiO_2), Plagioclasas (Si_3AlO_8) Na-Ca. Clorita, Óxidos, Limonita (FeO), Carbonatos -Calcita (CaCO_3). En la actualidad, gracias al incremento de las actividades de explotación mineral se reconoce que las mismas se realizan sobre varias estructuras mineralizadas conocidas como vetas o vetillas tomando en cuenta su potencia o ancho, las cuales poseen un rumbo entre $\text{N}10^\circ\text{E}$ y 80°E de las que se han identificado como: Miranda, Pillacela, Mercadillo, Cascada, Tamayo, Portovelo, Abundancia, Agua Dulce, Cantabria, Soroche, Jorupe, San León, Barbasco, Curipamba, La Bomba, Quebrada del Banco, Tascón Blanco, Fortuna, Elizabeth, Tablón, Murciélagos, Catillo, Ernesto, Nudo, Matalanga, Tres Reyes, Sansón, Konkof, Octubrina, Viscaya. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2017, p. 113.)

2.2.7 Topografía

El territorio del Cantón Portovelo posee una variación de altura que comienza desde los 560 a 3720 m.s.n.m., que genera esa particularidad abrupta y accidentada en su superficie. Los terrenos con mayor altitud se ubican al Este del cantón los cuales se acercan a la zona de la cordillera de los Andes por la limitación con la provincia de Loja. Las parroquias Morales y Salatí poseen una altitud entre los 2500 y 3720 m.s.n.m. Por lo tanto, las cotas con las que se realizan los diferentes estudios dentro del cantón se encuentran desde los rangos de 700 a 1300 m.s.n.m. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2020, p. 45.)

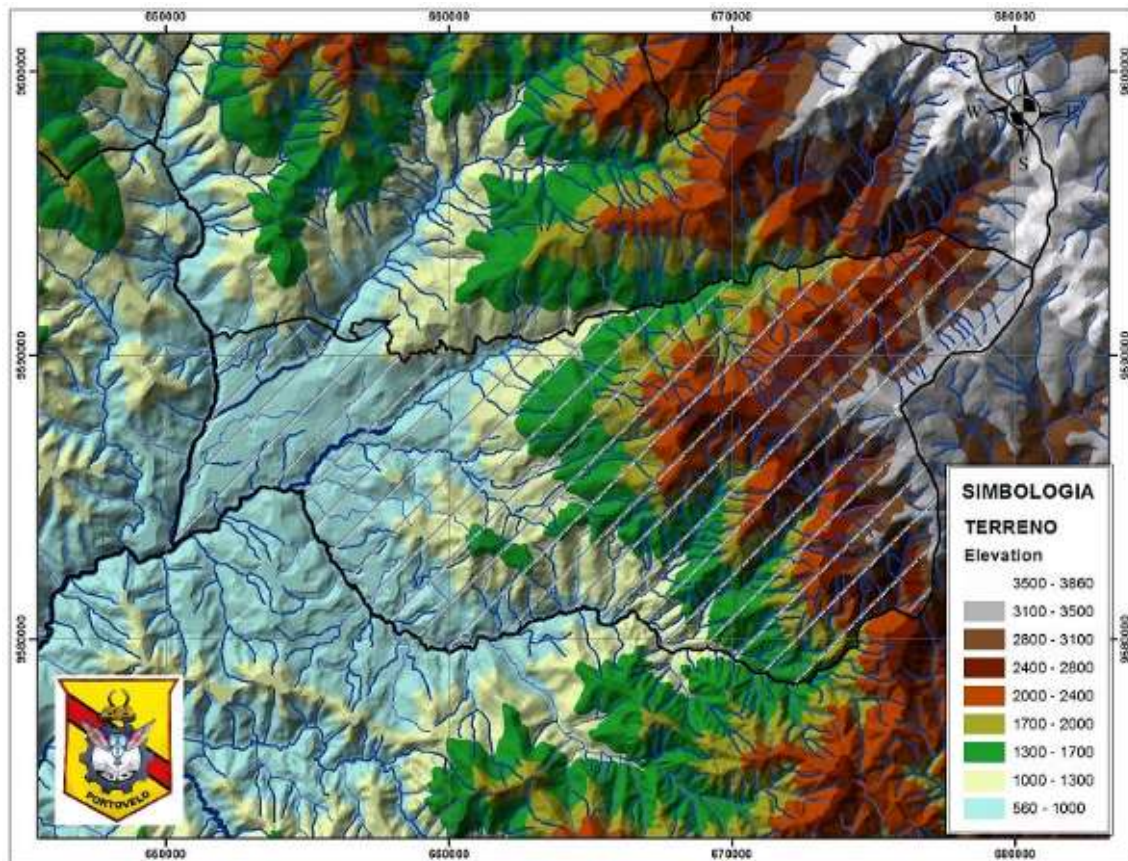


Ilustración 2-5: Rangos altitudinales presentes en el cantón Portovelo.

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2020, p. 1.

2.3 Aspecto Conceptual del Relleno Hidráulico

2.3.1 Relleno Hidráulico

Se define como relleno hidráulico a la utilización del material de relave, arenas y otros tipos de elementos granulares, que es transportado en forma de pulpa utilizando tuberías. La utilización

de un sistema de Relleno Hidráulico en la actualidad se dispone como una atractiva y favorable solución a los problemas, que permite la optimización del ciclo de minado y la reutilización del material de relave dispuestos en los depósitos de relaves los cuales son una fuente constante de dificultades para la minería, ya que el relleno hidráulico posee ventajas tanto técnicas y mejoras en el beneficio económico aumentando la producción desde el uso inicial de este método de relleno.

El Relleno Hidráulico tiene sus inicios en el año 1864 en Estados Unidos, Pennsylvania, siendo la mina Shenandoah la primera en aplicar este sistema de nivelación tanto de subniveles, caserones y frentes de explotación que continúan su extracción y otros que requieren un cierre del mismo, mediante el uso del relave, el cual permite obtener una mayor estabilidad dentro de las instalaciones de las minas que utilizan el método de explotación por Corte y Relleno Ascendente. (Gomez Inado, y otros, 2012, p. 25.)

El país Latinoamericano que fue el pionero en el uso del Relleno Hidráulico fue Perú en el año 1937 la que estuvo enfocada en la mina Lourdes en la zona del Cerro de Pasco, su aplicación se basó en el control de incendios y posteriormente a la mejora de la producción en la explotación del mineral. (Huamán Montes, 2007, p. 32)

El diseño de un sistema de Relleno Hidráulico busca encontrar una distribución ideal de los granos resultado de los procesos de concentración mineral y que son dispuestos dentro de los depósitos de relaves por lo al analizar este elemento se lo representa mediante una curva granulométrica. La curva dicha anteriormente representa en el comportamiento de la pulpa compuesta de relave y acompañada de una cantidad proporcional, tomando en cuenta la humedad del material de relave que posee para que se obtenga un resultado homogéneo favorable para la aplicación del relleno hidráulico. (Choque, 2022, p. 8.)

Según Jinny Alberto Gomez y Henry Jhulyano Sanchez (2007, p.24.), las normas o requisitos con los cuales se considera a la pulpa resultante del relave y la mezcla de agua favorable para el relleno hidráulico son:

- El tamaño y volumen máximo con el cual se presenta el material grueso y con el que se puede trabajar en el relleno hidráulico para el transporte del mismo mediante el uso de tuberías.
- El tamaño y volumen mínimo de la mezcla de pulpa que será clave para el drenaje adecuado del material.
- Curva de la distribución ideal de los granos para los rellenos hidráulicos.

- Se debe tomar en cuenta que el material de mayor tamaño posee una dificultad al momento de quedarse en suspensión sin importar las altas velocidades con la que es transportado.
- Las partículas de mayor tamaño generan un mayor desgaste dentro de las tuberías de transporte con el transcurso tanto de uso y de tiempo.
- La cantidad de partículas de menor tamaño tendrá una influencia existencial en la velocidad de drenaje en la pulpa a la hora de extraer el agua sobrante, la cual no debería ser menor a 2.5 cm/hr.
- Para evitar un proceso de licuefacción por la presencia de cargas dinámicas en la pulpa a un 8%, y se debe considerar un monto máximo de material de menor tamaño bajo los 20 μm o 800 mallas.

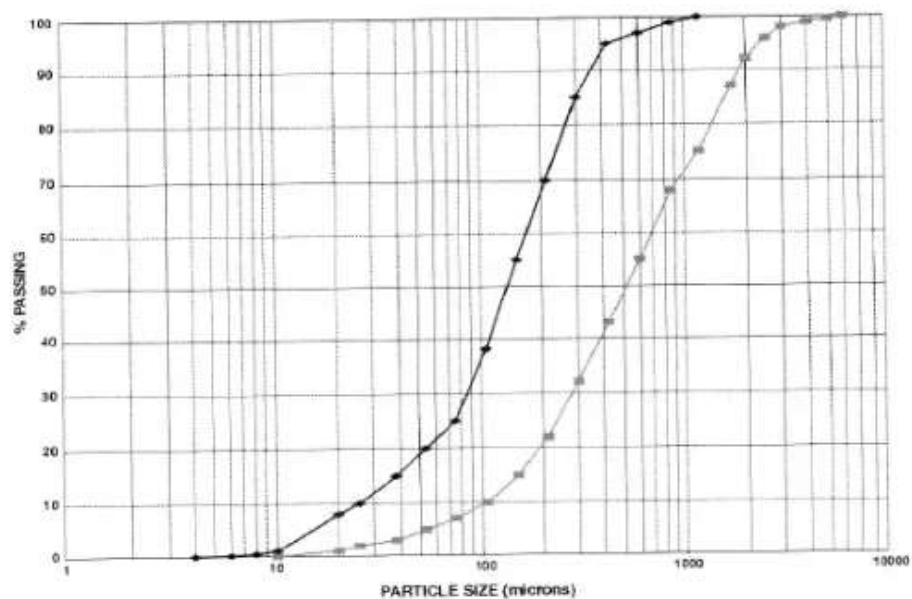


Ilustración 2-6: Curva Granulométrica para el uso del Relleno Hidráulico.

Fuente: Choque, 2022, p. 8.

2.3.1.1 Aplicaciones del Relleno Hidráulico

La creación de un sistema de Relleno Hidráulico teniendo en cuenta el criterio de Jinny Alberto Gomez y Henry Jhulyano Sanchez (2007, p.25.), tiene las siguientes aplicaciones:

- Otorga un piso de trabajo y nivelación de altura dentro de la zona requerida.
- Otorga una mayor estabilidad a la roca de caja circundante.
- Facilita la recuperación de pilares.
- Permite estabilizar el macizo rocoso dentro de la zona de explotación reduciendo drásticamente el porcentaje de peligros referentes a los estallidos de roca.
- Dentro de la mina es un excelente controlador de incendios.

- Evita el desprendimiento de rocas.
- Permite la reutilización del material de relave depositado ayudando al control ambiental.

2.3.1.2 Ventajas del Relleno Hidráulico

Según Jinny Alberto Gomez y Henry Jhulyano Sanchez (2007, p. 25.), la utilización del Relleno Hidráulico sobre todo en minas que utilizan un método de explotación por corte y relleno generan las siguientes ventajas tanto económicas como productivas las cuales serán descritas a continuación:

- La obtención del material de relave utilizado para el Relleno Hidráulico posee un valor nulo ya que el mismo es el resultado de los procesos de reducción y concentración realizados en la planta concentradora.
- La utilización de tuberías que permitan el transporte de la pulpa hacia la zona requerida del relleno posee una mayor eficiencia, rapidez y genera una mayor productividad mediante una disminución de costos.
- La pulpa depositada dentro del tajo a rellenar se expande hasta buscar su nivel adecuado mediante un efecto natural, evitando la utilización de otros elementos adicionales para esparcirlo ya sea de forma mecánica o manual.
- El sistema de Relleno Hidráulico posee una granulometría fácil de manejar lo que aumenta la resistencia de la roca de caja generando una mayor estabilidad dentro de la mina.
- El relleno Hidráulico genera un aumento exponencial del ciclo productivo por lo versátil que es este sistema al momento de su utilización y a su vez mejora la extracción del mineral desde el interior de los tajos disminuyendo la utilización de otros tipos de métodos de sostenimiento minero.

2.3.1.3 Desventajas del Relleno Hidráulico

Basándose en el criterio de Jinny Alberto Gomez y Henry Jhulyano Sanchez (2007, p. 26.) se han encontrado las siguientes desventajas que genera la utilización del relleno hidráulico:

- La implementación y/o uso de un sistema de Relleno Hidráulico dentro de la mina y zona de explotación para generar un aumento de productividad es motivo de inversión por lo que es eficiente la existencia de un fondo de financiamiento
- Existe un problema al momento de realizar el drenaje del agua sobrante, mediante el uso del bombeo, la cual es introducida previamente como relleno hidráulico.

- Por la presencia excesiva de elementos como piritita o pirrotita, se genera una reacción exotérmica mediante la oxidación de estos minerales que da como resultado un aumento de temperatura en su composición y produciendo anhídrido sulfuroso.
- Se debe considerar que al momento de arrastrar o drenar el agua sobrante del relleno hidráulico, la misma transportará o retirará una gran cantidad de material fino ya que los mismos por su composición tienden a depositarse en el fondo de las áreas que son rellenadas.

2.3.1.4 Características técnicas del Relleno Hidráulico

Según Luís Arpi Choque (2022, p. 8.), la utilización del Relleno Hidráulico sobre todo en minas que utilizan un método de explotación por corte y relleno generan las siguientes ventajas tanto económicas como productivas las mismas que serán descritas a continuación:

- Este tipo de relleno se lo utiliza cuando la explotación del yacimiento se da por corte y relleno convencional u corte y relleno ascendente.
- La utilización de drenaje es efectiva en varias ocasiones ya que el mismo permite la reducción del tiempo del proceso de percolación la que significa un punto de quiebre crítico para la factibilidad del proceso, del mismo modo, evitando la extracción del material fino por efecto del retiro violento del agua sobrante.
- Para el efectivo transporte de la pulpa en el método de relleno hidráulico su velocidad se debe encontrar en un rango de 1.3 a 1.7 m/s.
- El material granular o de arena influye directamente en el ángulo de fricción aparente el cual es de 37 grados y a su vez afecta en la compactación de la pulpa.
- La densidad efectiva de la pulpa se encuentra estandarizada en 1.6 g/cm^3 lo que demuestra que la cantidad de huecos u orificios intergranulares en el relleno hidráulico se encuentra en un 70%.
- Existe una cohesión aparente en el relleno hidráulico por la interacción de las partículas tanto finas como gruesas y las húmedas produciendo así una compactación porosa y capilar ya que en sí no se denota una cohesión definida por efecto de la arena suelta.
- El Relleno Hidráulico alcanza una altura máxima de 3 a 4 metros en su aplicación ya que al tomar en cuenta las condiciones dichas anteriormente permite así obtener la estabilidad requerida para su aplicación segura.

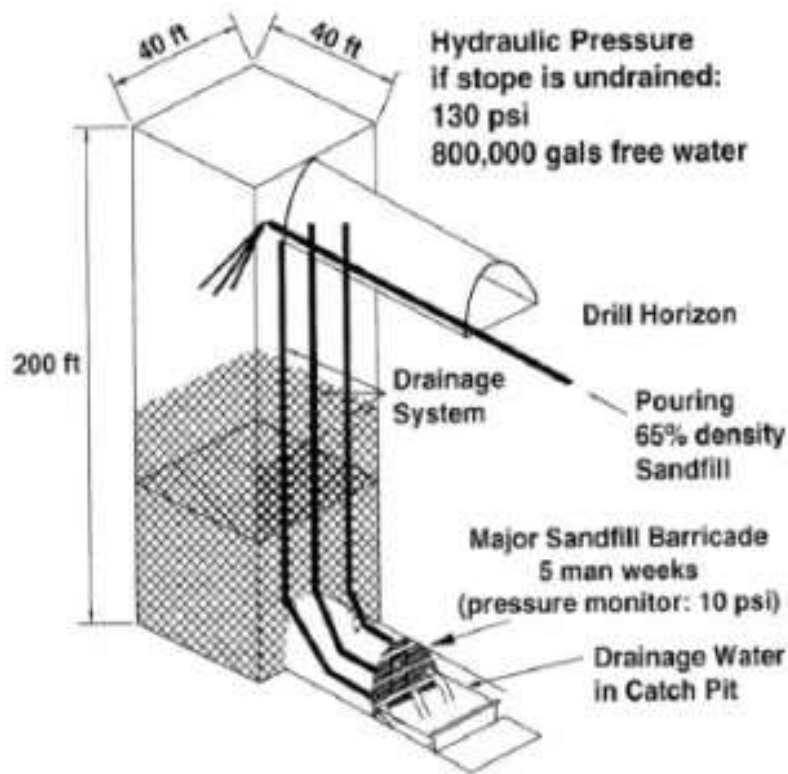


Ilustración 2-7: Modelo de Funcionamiento del Relleno Hidráulico.

Fuente: Choque, 2022, p. 12.

2.3.2 Pulpa

Para la aplicación del Relleno Hidráulico se utiliza el material de relave resultante de los procesos de concentración mineral al cual se le adiciona agua a una proporción adecuada creando una pulpa donde la fase líquida será la encargada de transportar a la fase sólida que se encuentra en un estado de suspensión. (Gomez Inado, y otros, 2012, p. 27.)

2.3.2.1 Pulpa homogénea

La Pulpa homogénea tiene como su característica principal que el agua parte de su composición se ve afectada por la existencia del material sólido o relave creando un fluido plástico de Bingham.

2.3.2.2 Pulpa heterogénea

La Pulpa heterogénea predestinada como relleno hidráulico está compuesta por una fase líquida y sólida las cuales se comportan como mezclas en las que tanto su estado líquido como sólido actúan de forma independiente y no afecta a su transporte para su aplicación.

2.3.3 Características del Material para Transportar

Como un análisis previo, se debe conocer las características que poseen mayor relevancia en cuanto a las partículas sólidas que serán transportadas como relleno hidráulico y que cada una de dichas propiedades influirán en su transporte, evitando de esta manera inconvenientes futuros al momento de la aplicación del material de relave como un sistema de relleno hidráulico, dichas características son:

2.3.3.1 Gravedad Específica de los Sólidos

La gravedad específica de los sólidos se la define como la existencia de una relación mediante valores numéricos tomando en cuenta los siguientes factores, el peso en el aire de dichas partículas sólidas analizadas en una muestra de suelo la cual posee una temperatura establecida, a su vez el peso en el agua de un volumen similar al del material sólido la misma que puede ser tomada utilizando agua destilada teniendo en cuenta dicha temperatura previamente dicha.

Para analizar eficientemente la gravedad específica de los materiales sólidos se presentará dos tipos de tablas que indican los elementos que poseen una mayor frecuencia a ser transportados, y la siguiente define los valores típicos de gravedad específica de varios materiales los cuales se asemejan a las características del relave encontrado en los depósitos de relaves. (Anaya, 2018, p. 3.)

Tabla 2-1: Gravedad Específica de Materiales Sólidos con tendencia a ser transportados.

Material Sólido	Gravedad Específica
Asfalto	1.05
Carbón	1.40
Fosfatos	2.70
Caliza	2.70
Concentrado de cobre	4.30
Mineral de hierro	4.90

Fuente: Huamán, 2007, p. 35.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 2-2: Tabla de valores de gravedad específica en materiales sólidos típicos.

Material Sólido	Gravedad Específica
Grava	2.65

Arena Gruesa a media	2,65
Arena fina	2,65
Polvo de piedra y limo arenoso	2,67
Arena (arenosa)	2,65
Limo arenoso	2,66
Arena arcillosa	2,67
Limo arcillo arenoso	2,67
Arcilla arenosa	2,7
Arcilla limosa	2,75
Arcilla	2,72-2,8
Limo con material orgánico	2,3
Lodos aluviales orgánicos	2,13-2,6
Turba	1,5-2,15

Fuente: Anaya, 2018, p. 3.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

2.3.3.2 *Tamaño máximo de las partículas*

Se debe conocer el tamaño máximo de las partículas las cuales poseen tendencia a ser transportados ya que las mismas al momento de aplicar el relleno hidráulico sufren un proceso de sedimentación con mayor velocidad ya que por su mayor tamaño posee un mayor peso, lo que significa la necesidad de controlar el tamaño máximo de estos elementos para realizar diferentes estudios y evaluar la velocidad máxima de sedimentación que sufrirán dichos materiales a la hora de ser aplicado y transportado dentro de la zona de relleno en forma de una pulpa. (Huamán Montes, 2007, p. 35.)

Tabla 2-3: Tamaño máximo de partículas con tendencia a ser transportados.

SÓLIDO	TAMAÑO MÁXIMO (mm)	MALLA
Asfalto	4.76	4
Carbón	2.38	8
Caliza	0.30	48
Concentrado de cobre	0.21	65
Concentrado de hierro	0.15	100

Fuente: Huamán, 2007, pág. 35.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

2.3.3.3 Dureza de los Sólidos

Para el Relleno Hidráulico la dureza de los sólidos determinará varios puntos de vista enfocados desde el inicio del ciclo de minado hasta el término de la concentración que da como residuo el material de relave, posteriormente evaluando sus características se determinará el tipo de herramientas o equipos con el que será transportado tanto a la zona de acopio y luego en forma de pulpa hacia el área de relleno, la dureza de un sólido se la analiza según la escala de Mohs la misma que distribuye los materiales por su dureza de menor a mayor. (Huamán Montes, 2007, p. 35.)

Tabla 2-4: Dureza de Sólidos según escala de Mohs.

Material	Escala Mohs
Carbón (malla 30)	1 (talco)
Lignito	2 (yeso)
Caliza	3 (calcita)
Carbón (malla 16)	4 (fluorita)
Magnetita	5 (apatito)
Concentrado de cobre	6 (ortosa)
Fosfatos	7 (cuarzo)
Pirita	8 (topacio)
Calcopirita	9 (corindón)

Fuente: Huamán, 2007, pág. 36

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Teniendo en cuenta a la tabla 2-4 de la dureza de sólidos se debe fijar en una de las características más importantes a la hora de realizar perforaciones en la roca la misma que posee relación equivalente y directa con la escala de Mohs, ya que la abrasividad de las rocas se enfoca en el porcentaje de cuarzo tanto en la forma y tamaño del elemento lo que significa un elección adecuado de las herramientas o equipos con los que se trabajaran para que exista una avance en las perforaciones de la veta mineral y posteriormente su producción, a continuación se muestra una tabla con su relación:

Tabla 2-5: Abrasividad y la relación existente con la escala de Mohs.

ABRASIVIDAD	ESCALA DE MOHS
No abrasivo	1-3
Ligeramente abrasivo	3

Medianamente abrasivo	4-6
Altamente abrasivo	7-9

Fuente: Huamán, 2007, pág. 36

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

2.3.4 Propiedades Físicas y Mecánicas del Relleno Hidráulico

2.3.4.1 Porosidad (n)

La Propiedad física conocida como porosidad se la puede definir con la cantidad volumétrica de poros existentes en toda la masa del material. Estos espacios vacíos se pueden encontrar tanto en su capa externa como en su interior por lo que se puede entender que la esta propiedad se encuentra relacionada directamente con la densidad del material y a su vez con el origen del compuesto. Al momento de calcular la porosidad la misma puede expresarse en porcentaje por lo que se la conoce como porcentaje de vacíos existentes en el material. (Huamán Montes, 2007, p. 36.)

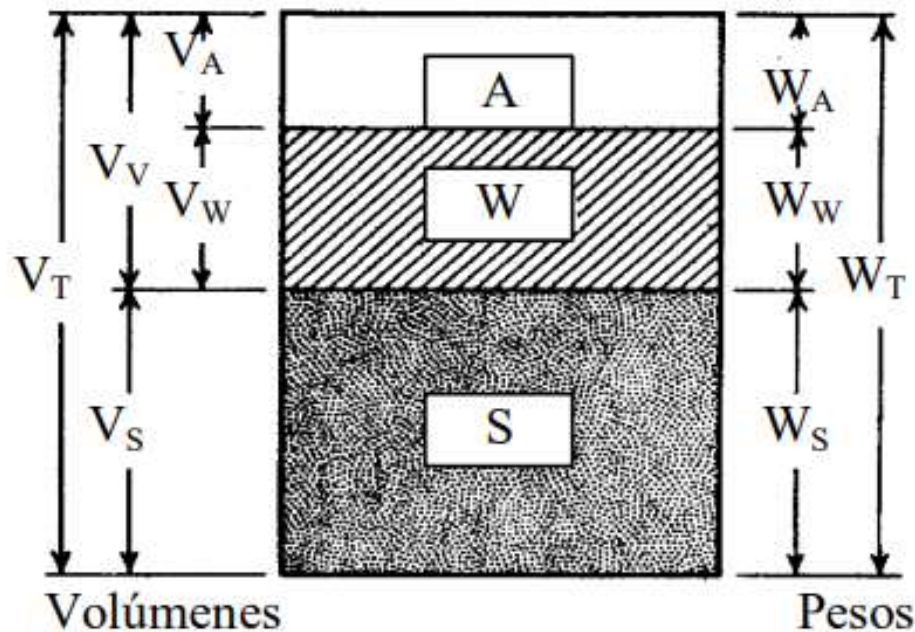


Ilustración 2-8: Estados físicos del material utilizado en el relleno hidráulico

Fuente: Huamán, 2007, p. 37.

La ilustración 2-8 correspondiente a los espacios existentes en los diferentes estados físicos del material lo mismos que pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos, en el material de relleno se los describe a través de la siguiente fórmula, así como la definición de cada una de sus variables:

$$n = V_n/V_t$$

Donde:

M_a = masa de aire

M_w = masa de agua

M_s = masa de sólidos

V_a = volumen de aire

V_w = volumen de agua

V_s = volumen de sólidos

V_v = volumen de vacíos

V_t = volumen total

2.3.4.2 Relación de vacíos (e)

La relación de vacío se la evalúa con el volumen de espacios vacíos que interactúa con el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo o material. (Huamán Montes, 2007, p. 37.)

La relación de vacíos se expresa con la siguiente expresión:

$$e = V_v/V_s$$

A la que “ e ” se le define teniendo en cuenta los valores que expresamente se utiliza en la aplicación de un sistema de relleno hidráulico por lo que es necesario analizar los siguientes valores propuestos en la tabla a continuación:

Tabla 2-6: Relación de vacíos tomando en cuenta el tipo de Relleno.

RELLENO HIDRÁULICO	e
Arenosos	0.60-0.90
Areno-arcilloso	0.80-1.60
Arcillosos	1.50-2.50

Fuente: Huamán, 2007, p. 37.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

a. Relación de Vacíos Máxima (e_{max})

Según Lázaro Wilder Huamán (2007, p.38.), la relación de vacíos máxima se denota a través de la siguiente expresión:

$$E_{max} = \left(\frac{S_s}{D_{min}} \right)$$

Donde:

S_s = Gravedad específica de los sólidos (Tonelada métrica/ m^3)

D_{min} = Densidad mínima del material (Tonelada métrica/ m^3)

b. Relación de Vacíos Mínima (e_{min})

Según Lázaro Wilder Huamán (2007, p.38.), la relación de vacíos mínima se denota a través de la siguiente expresión:

$$e_{min} = \left(\frac{S_s}{D_{max}} \right) (1 + w) - 1$$

Donde:

- S_s = Gravedad específica de los sólidos (Tonelada métrica/ m^3)
- D_{max} = Densidad máxima del material (Tonelada métrica/ m^3)
- W = Es el porcentaje de humedad necesario para el cálculo de la densidad.

c. Contenido de Humedad (w)

El contenido de humedad es una magnitud que permite determinar el contenido o cantidad de agua en un elemento sólido tomando en cuenta una base de masa ya sea húmeda o seca. Se debe entender que la masa a analizar ya sea húmeda o seca posee valores numéricos distintos por lo que caer en esta interpretación errónea será propensa a cometer u obtener errores de cálculo y fallos en el análisis. (Martines L, y otros, 2010, p. 1.)

El contenido de Humedad es expresado por:

$$W = \frac{M_w}{M_s} (100)$$

Donde:

- M_w = Masa de agua
- M_s = Masa de sólidos

d. Grado de Saturación (S_r)

Se lo puede definir al grado de saturación como la proporción o porcentaje en que los espacios vacíos existentes en el material ya sea de relave, suelo o una roca se encuentra una concentración

de algún tipo de fluido. Esta propiedad física se expresa mediante la relación del volumen total de vacíos. (Duque Escobar, y otros, 2016, p. 4.)

Conociendo que el material de relave tiene una similitud con las arenas existe una tabla de clasificación por el grado de saturación o humedad:

Tabla 2-7: Clasificación del material arenoso por su porcentaje de humedad.

CONDICIÓN DE ARENA	W (%)
Seca	0
Ligeramente húmeda	1-25
Húmeda	26-50
Muy Húmeda	51-75
Mojada	76-99
Saturada	100

Fuente: Huamán, 2007, p. 39.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

e. Cohesión (c)

Las fuerzas de cohesión se las define con la atracción que se presenta entre las partículas que componen el suelo analizado, lo mismo sería en el caso del relave, estas fuerzas tienen su origen por la presencia de las fuerzas moleculares y las películas de agua. En el caso de un relleno hidráulico el porcentaje o el grado de cohesión tendrá una variación notable tomando en cuenta el contenido de humedad de las partículas. (Huamán Montes, 2007, p. 39.)

f. Fricción Interna (\emptyset)

La Fricción Interna se la define como la resistencia existente en contra del deslizamiento causado por la presencia de la fricción que se presenta en la superficie de contacto en las que interactúa las partículas con su diferente densidad. Cuando existe un suelo granular estos poseen una superficie de contacto mucho mayor al igual que el tamaño de sus partículas, las mismas partículas al tener una forma angular obtendrá una excelente fricción interna, así como una mejor unión o relación estrecha entre sus partículas, en cambio, los suelos finos tendrán estas características en un nivel bajo. (Huamán Montes, 2007, p. 40.)

2.3.5 Análisis Granulométrico

Un análisis granulométrico es un estudio que permite conocer la distribución de tamaño de las partículas y sedimentos presentes en la muestra del material analizado para que de este modo se pueda entender la importancia de estas partículas tomando en cuenta la fricción contra el suelo. El análisis granulométrico se basa en la utilización de tamices los cuales retienen a las partículas según su tamaño, las de mayor tamaño se quedan en la superficie y las de menor tamaño descienden a través de las diferentes aberturas dependiendo del tamiz. (Huamán Montes, 2007 p. 40)

En el caso de los elementos a analizar se debe tener en cuenta tanto su tamaño como su forma ya que los fragmentos de rocas o material grueso este compuesto por una o más elementos, los mismo que pueden tener forma angular, redonda o plana. Esta porción de material se la conoce como grava. En el caso de los elementos más finos, cada partícula está compuesto por un solo mineral, las mismas que pueden tener forma angular, tubular o escamosa, pero no se encontrará este tipo de elementos con una forma redonda. (Gomez Inado, y otros, 2012, p. 33.)

Según Lázaro Wilder Huamán, (2007, p. 40.): “*Un análisis granulométrico nos permite conseguir como resultado diferente información tal como las características físicas, mecánicas y el cálculo de la cantidad de cada una de las partículas según el tamaño dentro de una escala granulométrica, la misma que se utiliza para la distribuir las partículas mediante los diámetros y por tamaños utilizando tamices*”. En la siguiente tabla se demuestra los diferentes rangos en tamaño que pueden tener los materiales para ser utilizados:

Tabla 2-8: Distribución de tamaños de las partículas en una muestra material.

MATERIAL	TAMAÑO	
	DESDE	HASTA
Finas		0.075 mm
Arenas	0.075 mm	0.085 mm
Gruesos	0.085 mm	5 mm

Fuente: Gomez Inado, y otros, 2012, p. 34.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

2.3.5.1 Diámetro efectivo (D_{10})

El diámetro efectivo D_{10} se lo define como el tamaño de las partículas de un elemento o agregado en el cual se toma en cuenta el porcentaje del 10% del material considerando su peso, debe tener

un tamaño menor y por lo que al visualizarlo en la curva granulométrica corresponde a $P=10\%$, lo que significa que este valor anteriormente dicho demuestra que el 10% de las partículas son más finas que D_{10} y a su vez el resto que sería el 90% son gruesas. (Gomez Inado, y otros, 2012, p. 34.)

2.3.5.2 Coeficiente de uniformidad (C_u)

El coeficiente de uniformidad se lo define cuando existe una relación entre el diámetro perteneciente al 60% del peso de la muestra y el diámetro por el que se encuentra el 10% de la muestra:

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Para el relleno hidráulico el resultado más conveniente para el coeficiente de uniformidad para el material de relave se encuentra en un valor de $C_u = 5$ ya que al tener este coeficiente existirá una mayor uniformidad granulométrica en la muestra. Cuando se obtiene un valor mayor al indicado anteriormente se presentará una gran cantidad de partículas de tamaño fino lo que dificultará la percolación del agua. (Huamán Montes, 2007, p. 41.)

2.3.5.3 Velocidad de Percolación (V_1P_1)

La velocidad de percolación se lo define como una medida de velocidad con la que el agua fluye a través de un material de relleno como es el caso del relave. La velocidad de percolación es expresada a través de la siguiente fórmula:

$$V_1P_1 = \left(\frac{D_{10} \times 6}{100}\right)^2$$

Donde:

- $V_1P_1 =$ Velocidad de percolación $\left(\frac{cm}{h}\right)$
- $D_{10} =$ diámetro efectivo (um)

De acuerdo con estudios previos se ha determinado que una velocidad de percolación efectiva para ser usada en el relleno hidráulico debe tener un valor de **10 cm/h** ya que la misma demuestra una separación efectiva del exceso de agua y por lo tanto tardará el tiempo necesario para seguir con las actividades dentro del tajo. Si la velocidad de percolación es menor a **3 cm/h** esta tendrá un tiempo de demora excesivo para la eliminación del agua y las actividades mineras deberán

retrasarse aún más, por último, si se tiene un valor de **20 cm/h** existe la posibilidad de que se genere un fenómeno embudo y de este modo perder una cantidad considerable de material de relave utilizado en el relleno hidráulico. (Gomez Inado, y otros, 2012, p. 35.)

2.3.6 Comportamiento Mecánico del Relleno Hidráulico

Para analizar el comportamiento del Relleno Hidráulico otorgándole un enfoque mecánico se debe definir las siguientes propiedades o parámetros:

2.3.6.1 Densidad Relativa (DR)

La Densidad Relativa se la conoce como una medida que enfoca en el análisis de la compactación de un suelo tomando en cuenta la siguiente relación porcentual:

- a) Que aprovecha la diferencia de la relación de vacíos de un suelo no cohesivo cuando se encuentra en su punto más suelto y la relación de vacíos con suelo mucho más compactado, y,
- b) a su vez se analiza la diferencia existente entre la relación de vacíos cuando el material de suelo se encuentra en un estado intermedio más suelto y denso. Ya que este punto facilita la determinación de si el material granular se encuentra en la cercanía o lejanía de los valores máximos o mínimos de densidad que se puede alcanzar.

Del mismo modo la densidad Relativa expresa cuando un relleno arenoso se encuentra en un estado de compactación por lo que se la define con la siguiente fórmula:

$$D_r = \frac{E_{max} - E}{E_{max} - E_{min}}$$

Donde:

- **E_{max}** = Relación de vacíos cuando un relleno se encuentra en su punto más suelto.
- **E_{min}** = Relación de vacíos cuando un relleno se encuentra en su punto más denso.
- **E** = Relación de densidad de relleno Hidráulico

Cabe recalcar que existen tres factores fundamentales para el análisis de la densidad relativa de un relleno los cuales son: Granulometría, forma de los granos y su depositación.

Granulometría: La granulometría del material de relleno es el factor clave a la hora de analizar la densidad relativa, el relave o material utilizado para el relleno sea bien graduado ya que debe existir una reducción de los espacios vacíos a un porcentaje mínimo. (Cabezas Armellon, 2016 ,p. 47.)

Forma de los granos: Un relleno hidráulico al estar constituido con elementos que poseen una forma tipo angular tiende a poseer una densidad relativa baja por lo que tienen una alta probabilidad de un reordenamiento y una mayor reducción en su volumen. (Cabezas Armellon, 2016, p. 47.)

Deposición: Este factor afín a la densidad relativa es correspondiente a la forma en que se deposita un relleno hidráulico, ya que si el mismo se lo deposita tomando en cuenta un solo punto del área a rellenar facilita que las partículas sólidas posean una distancia que permita una sedimentación sin perturbaciones. Este tipo de sedimentación es un punto clave para que las partículas se ordenen en forma de arco o bóvedas, lo que al momento de enfrentarse a diferentes factores externos como la presión o vibración serán capaces de ocupar los espacios de una manera mucho más eficiente. (Cabezas Armellon, 2016, p. 47.)

Para evitar el movimiento brusco de las cajas que permiten el relleno hidráulico se debe tener una alta densidad relativa la misma que se logra con la ayuda de algunas propiedades dependientes de otras.

Propiedades Dependientes

Las propiedades dependientes existentes por la densidad relativa efectiva para un relleno hidráulico según Gómez. J, Sánchez. H, (2012, p. 37.)

- El volumen del tajo rellenado con una tonelada de relleno disminuye.
- La percolación que es una propiedad física importante para un buen relleno hidráulico disminuye al momento de aumentar la densidad relativa, ya que se reduce el área de los orificios o conductos por los cuales el agua percola.
- Cuando se tiene una densidad relativa mucho más alta se tiene como resultado el uso en menor cantidad de agentes cementantes debido al contacto más íntimo entre las partículas ya que esto permite la adherencia entre las mismas.
- El coeficiente de uniformidad aumenta con el crecimiento de la densidad relativa la cual se obtiene al momento de regular el material a la curva granulométrica ideal para rellenos hidráulicos.

2.3.6.2 Efecto del Agua en el Relleno Hidráulico

El efecto del Agua en el Relleno Hidráulico es un factor sumamente importante el cual se lo puede identificar en dicho sistema de relleno, según Cabezas P, (2016, p. 48.) este efecto se divide en dos formas:

- Alrededor de los granos de relave en forma de partículas.
- Siendo relleno entre los espacios intergranulares del material.

Cuando existe un completo relleno de espacios vacíos con agua, se dice que el mismo se encuentra saturado y por lo tanto la pulpa se la define como continua, en cambio sí se posee un relleno parcial de vacíos, la pulpa es discontinua ya que formará cuñas de agua y películas de mezcla alrededor de los espacios intergranulares. (Cabezas Armellon, 2016, p. 49.)

2.3.6.3 Presión Neutra (U_w) y Presión Efectiva (P)

Según Cabezas P, (2016, p. 49.) una presión efectiva para un relleno hidráulico se realiza en una arena suelta que posee una carga por el efecto de la saturación, y por ende no se desarrolla el drenaje, y se presentan diferentes presiones entre grano y grano, sin olvidar la presión neutra que posee el agua que se encuentra dentro de los espacios vacíos o poros, todo esto es definido a través de la siguiente expresión:

$$P = p - U_w$$

Donde:

P = Presión efectiva entre granos

p = Suma de presiones o presión total

U_w = Presión del agua existente en los vacíos.

Cuando U_w posee el mismo valor que la presión total, se entiende que la presión efectiva es neutra o igual a cero.

2.3.6.4 Consolidación

La Consolidación de un Relleno Hidráulico se la define como el cambio que existe entre un volumen de una carga constante directamente proporcional con el transcurrir del tiempo. Los

rellenos son más susceptibles a consolidarse cuando son afectados por cargas estáticas externas, posee una consolidación inicial que puede ser sumamente grande cuando se utilizan rellenos sueltos, por otro lado, los rellenos densos son menos propensos a consolidarse en presencia de cargas estáticas. Después de la consolidación inicial existe una secundaria que posee un mayor tiempo de acción es decir es más lenta tanto para rellenos densos y sueltos. (Cabezas Armellon, 2016, p. 50.)

2.3.6.5 Compactación

La Compactación en un Relleno Hidráulico se la define como una densificación artificial del suelo o en este caso del relave, ya que los materiales cohesivos tienden a realizar una mejor compactación en presencia de cargas dinámicas. Es necesario realizar una pulpa de relave con agua equilibrada ya que existe una mayor compactación de la misma cuando se posee una relación de material y fluido adecuada, ya que, un exceso de agua llenará los espacios vacíos produciendo una saturación del material y por efecto reduce así la densificación.

A la hora de utilizar materiales que poseen una cohesión baja o nula como en la mayoría de los rellenos, se eleva la dificultad de obtener una densidad máxima cuando se aplica cargas estáticas o dinámicas, por lo que es fundamental para obtener estas características el uso de vibradores que entren en contacto directamente con la pulpa. (Cabezas Armellon, 2016, p. 50.)

2.3.6.6 Cementación

Según Huamán L, (2007, p.46.): *“La cementación de los rellenos hidráulicos pueden tomar muchos años, dependiendo principalmente de la composición química del relleno”*.

Los rellenos aquellos que están constituidos por relaves con un bajo contenido de sulfuros poseen una cementación baja, pero del mismo modo, la cementación que presentan se da en un período de tiempo corto, pero por la existencia de altas temperaturas en la zona de relleno debido a la presencia de gases provenientes por la oxidación son una de las desventajas más difíciles de resolver para una correcta cementación. (Cabezas Armellon, 2016, p. 50.)

2.3.6.7 Compresibilidad

La Compresibilidad es una propiedad mecánica de la materia la cual hace que todos los cuerpos disminuyan su volumen al someterlos a una presión o compresión. En el caso de los rellenos

hidráulicos se puede argumentar que se caracterizan por ser los menos comprensibles de todos los rellenos usados como material de relleno, piso o soporte en áreas seleccionadas dentro de una minería subterránea. Estos tipos de rellenos llegan a comprimirse muy pocas veces en un 20%, ya que su compresibilidad varía generalmente en un 5% a 10%. Cabe recalcar que la compresibilidad del relleno hidráulico no se puede desarrollar hasta que existe el drenaje del agua que permita una condición consolidada. (Gomez Inado, y otros, 2012, p. 41.)

Tabla 2-9: Compresibilidad en diferentes materiales utilizados en el relleno.

Compresibilidad del Material de Relleno							
Material Confinado impedido a moverse literalmente	Toneladas netas por m^2 para producir una compresión de:					Carga y Compresión al final del Ensayo	
	3%	5%	10%	20%	30%	Carga (TM)	Compresión %
Arenisca Rota	35.8	59.7	143.4	501.6	1061.3	666	35
Arenisca rota y arena	37.7	62.1	262.9	3320.7	-	666	33
Cenizas de carbón secas	10.8	20	57.3	116.3	269.1	666	51
Cenizas de carbón Húmedas	-	-	-	59.2	236.8	666	51
Arena Seca	32.3	56.7	358.4	1388.5	5371.2	666	32.2
Arena Húmeda	423	712.2	1870	5978.3	-	666	20.75

Fuente: Huamán Montes, 2007, p. 47.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 2-10: Características mecánicas de rellenos hidráulicos arenosos y arcillosos.

CARACTERÍSTICAS	ARENAS	ARCILLAS
Relación de vacíos	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Acentuada función de la humedad
Fricción Interna	Alta	Baja
Compresibilidad	Ligera	Alta, función del tiempo
Permeabilidad	Variable	Impermeable

Fuente: Huamán Montes, 2007, p. 48.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

CAPITULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DEL RELLENO HIRAÚLICO

3.1 Análisis Geomecánico del macizo rocoso

Para la realización del análisis geomecánico del macizo rocoso se utilizó la clasificación geomecánica RMR (Bienaisky, 1989) el cual permite relacionar los índices de calidad de la roca con los parámetros de diseño y de sostenimiento dentro de túneles y en este caso en zonas de explotación subterránea.

Tabla 3-1: Datos estructurales del subnivel "La China".

ID	Buzamiento (Dip)	Dirección de Buzamiento	Conjunto (set)
1	70	145	2
2	60	135	2
3	60	152	2
4	47	238	
5	50	230	
6	43	235	
7	73	60	1
8	88	170	
9	68	145	2
10	78	165	
11	70	63	1
12	66	65	1
13	24	300	
14	80	45	
15	80	240	
16	70	245	
17	78	235	
18	46	350	3
19	52	352	3
20	52	340	3
21	30	90	
22	68	60	1

23	80	55	1
24	55	75	1
25	80	90	
26	79	210	
27	80	190	2

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

En la zona de explotación de la empresa minera OROCONCENT. S.A. en el área “El Pique” se realizó el levantamiento de datos estructurales utilizando estaciones geomecánicas tomando en cuenta una escala de 1:500

Se utilizó el software Dips que está diseñado para realizar un análisis de características del macizo rocoso demostrando de forma interactiva y gráfica las diferentes orientaciones estructurales de datos geológicos lo que a su vez se obtiene una proyección estereográfica de las principales familias y sus respectivas discontinuidades.

El estereograma denota una mayor concentración de los polos en el NE y SE.

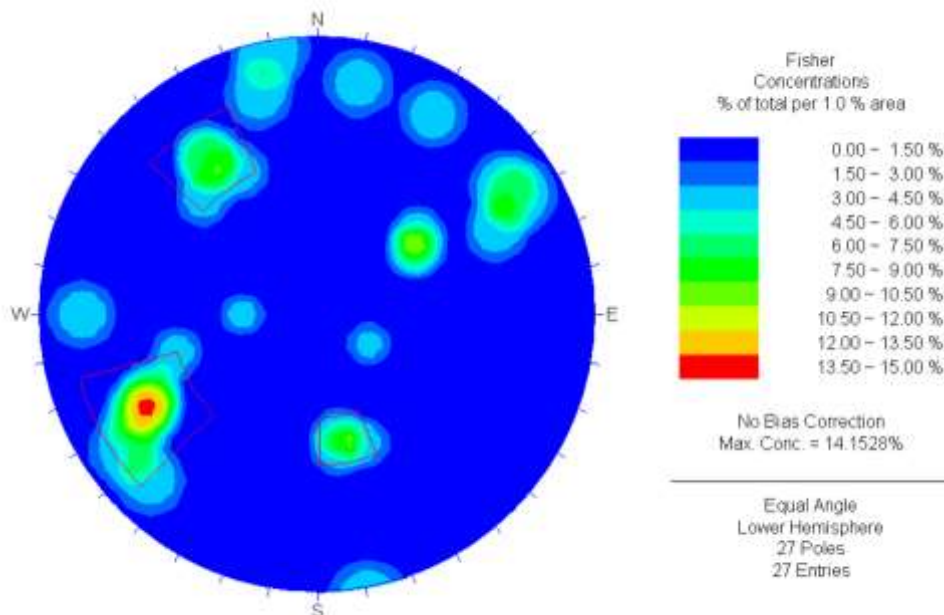


Ilustración 3-1: Concentración de polos en el área analizada.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

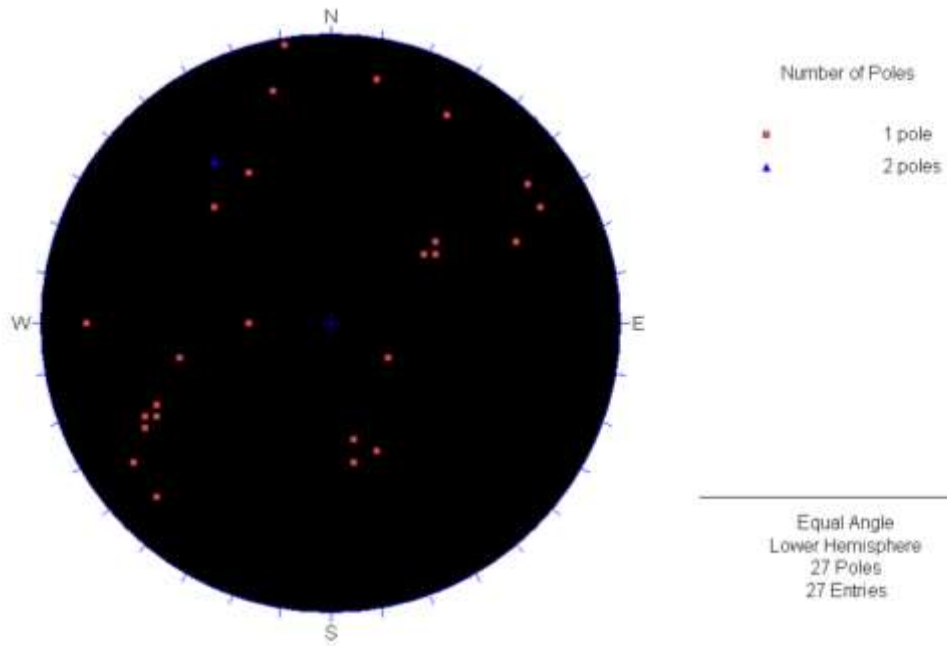


Ilustración 3-2: Representación de polos en el estereograma.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

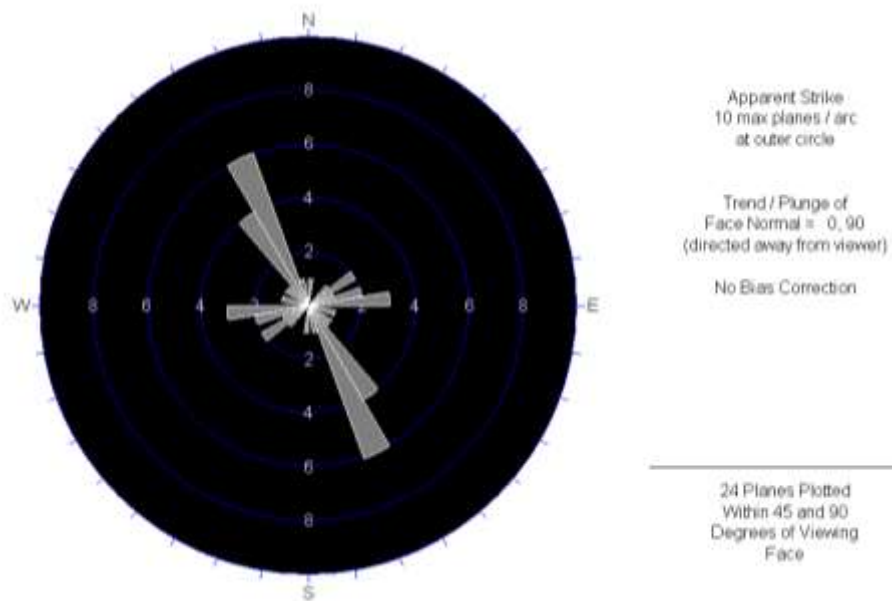


Ilustración 3-3: Diagrama de rosetas.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

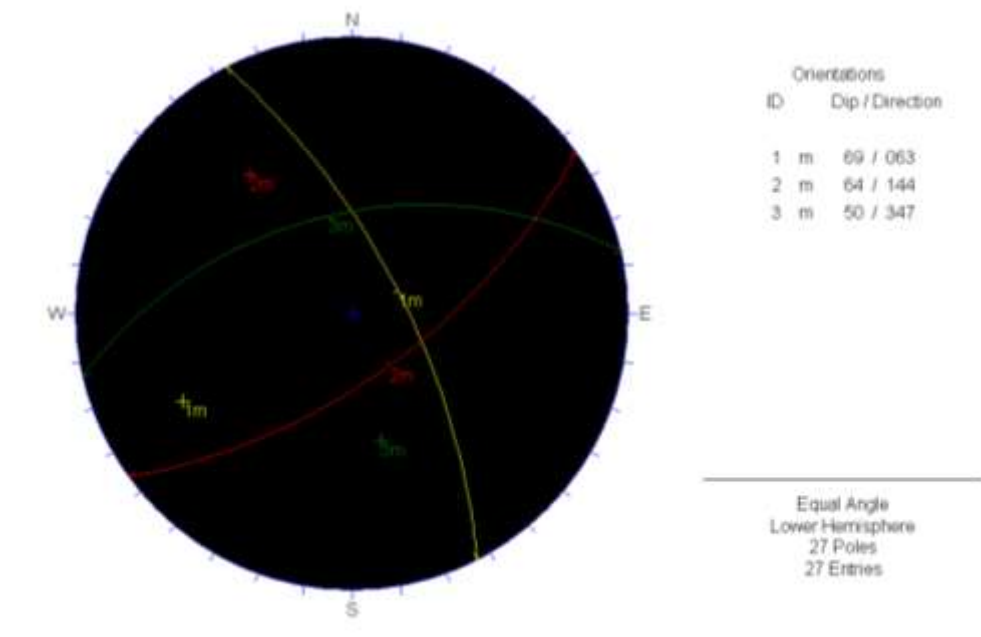


Ilustración 3-4: Planos de discontinuidad y rumbos del subnivel "La China".

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Después de realizar y obtener los datos con la ayuda del software Dips se puede iniciar con la caracterización geomecánica con la utilización del RMR de Bieniawski de 1989.

Tabla 3-2: Datos estructurales del subnivel "La China".

UBICACIÓN				DISCONTINUIDADES				CONDICIÓN DE MATRIZ ROCOSA							
Tramo Geotécnico				Tipo y Número de Estructura		Orientación en grados		Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)							
COORDENADA INICIAL	COORDENADA FINAL	Longitud de la línea de muestreo (m)	Dirección de la Galería (Azimut)	Zf= Zona de falla F= Falla Mf= Microfalla Cz= Cizallamiento J= Junta		Dirección de Buzamiento (°)	Buzamiento (°)	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5,0	5 - 1,0	> 1	
				R6	R5			R4	R3	R2	R1	R0			
				PUNTAJE RMR							15	12	7	4	2
		5,00	145°	J1	3	63	69				4				
				J2	3	144	64								
				J3	1	347	50								
															4,00
		5,00	145°	J1	2	63	69				4				
				J2	3	144	64								
				J3	1	347	50								
															4,00
		5,00	145°	J1	2	63	69				4				
				J2	3	144	64								
				J3	3	347	50								
															4,00
		5,00	145°	J1	2	63	69				4				
				J2	2	144	64								
															4,00

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 3-4: Corrección del RMR por Orientación de las Discontinuidades.

									CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES								
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO DEL SUBNIVEL "LA CHINA"									Perpendicular a favor del Buzamiento		Perpendicular contra el Buzamiento		Paralelo al eje de la labor		Buzamiento < 20°		
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (RMR 87)									45° a 90°	20° a 44°	45° a 90°	20° a 44°	45° a 90°	20° a 44°			
COMPañÍA:		OROCONCENT S.A.			Coordenadas (Datum WGS 84):		Este:			MF	F	M	D	MD	D	D	
Ubicación:		SUBNIVEL "LA CHINA"					Norte:		Altura:	649 msnm	Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	Desfavorable	Desfavorable
COORDENADA INICIAL	COORDENADA FINAL	Longitud de la línea de muestreo (m)	Dirección de la Galería (Azimut)	Valoración RMR	Familias de Discontinuidades Principales				PUNTAJE RMR							Valoración RMR Corregido	
					Inf	Set	Dir buz (°)/buz (°)	Az (°)/buz (°)	0	-2	-5	-10	-12	-10	-10		
		5,00	145°	40,00	100%	1 m	063/ 69	327/ 69						-12			34,90
					66%	2 m	144 / 64	54/ 64			-5						
					33%	3 m	347/ 50	77 / 50	0								
																	-5,10
		5,00	145°	60,00	100%	1 m	063/ 69	327/ 69						-12			54,90
					66%	2 m	144 / 64	54/ 64			-5						
					33%	3 m	347/ 50	77 / 50	0								
																	-5,10
		5,00	145°	61,00	100%	1 m	063/ 69	327/ 69						-12			55,90
					66%	2 m	144 / 64	54/ 64			-5						
					33%	3 m	347/ 50	77 / 50	0								
																	-5,10
		5,00	145°	60,00	100%	1 m	063/ 69	327/ 69						-12			54,90
					66%	2 m	144 / 64	54/ 64			-5						
					33%	3 m	347/ 50	77 / 50	0								
																	-5,10
Calidad del macizo		50,15															

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

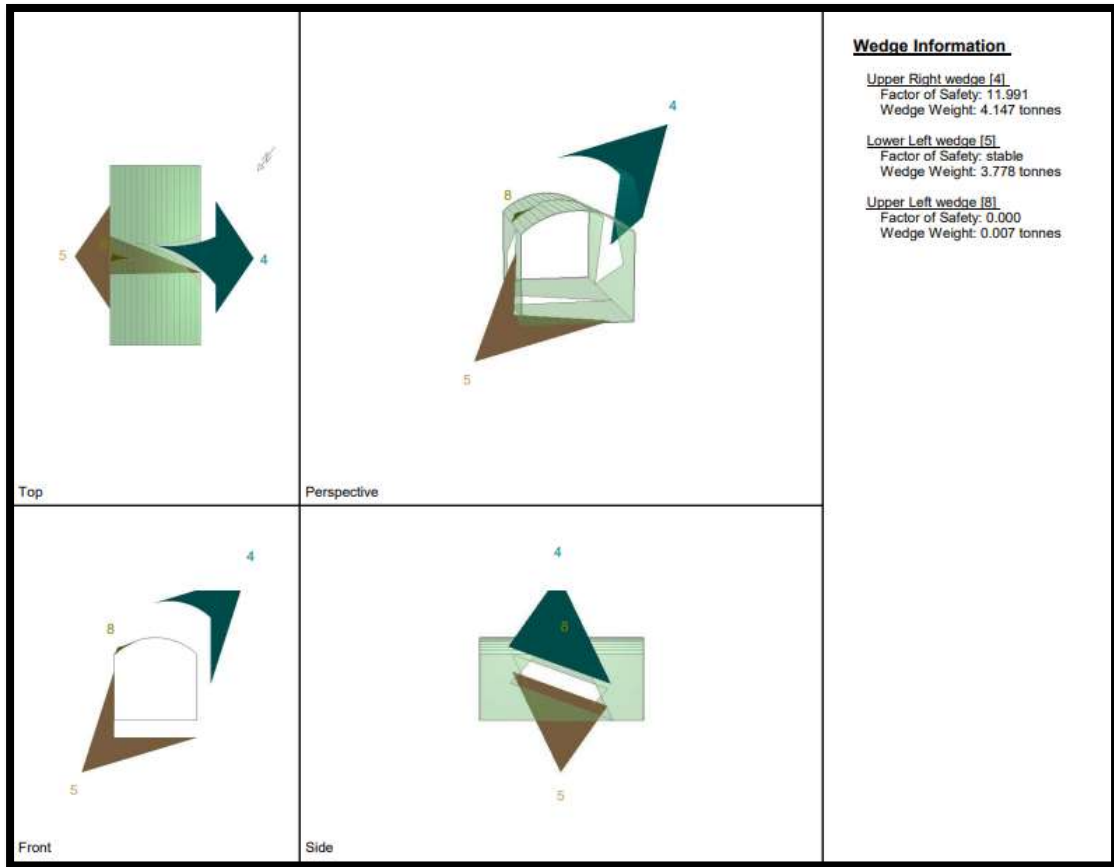


Ilustración 3-5: Modelamiento de posibles fallas en forma de cuña.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Como paso final se realizará el cálculo del GSI tomando en cuenta los resultados obtenidos mediante la utilización del método de RMR de Bieniawski, sin olvidar que este resultado no debe tener ninguna influencia exterior tal como presencia de fluidos y las orientaciones en las que se encontraron las discontinuidades.

$$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = 50,15 - 5 = 45,15$$

Por lo que el resultado final es un valor de 45.15 lo cual se lo toma como un intervalo en conjunto con el índice GSI de 45-50.

3.2 Análisis Químico del Material de Relave

El material por utilizarse como Relleno Hidráulico será el residuo de los procesos de concentración del mineral, que es conocido como relave por lo que es necesario realizar un estudio químico para conocer los diferentes elementos existentes dentro de la muestra, para definir la

calidad de este material de relleno se realizó un ensayo de determinación de los elementos componentes por medio del uso de espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.

Tabla 3-5: Determinación de elementos por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.

Estudio Químico del Material de Relave		
Fecha de fin de ensayo	20 de enero del 2022	
Matriz	Relave	
Concentración de Minerales	Muestra 1 (mg/kg)	Muestra 2 (mg/kg)
Molibdeno (Mo)	70.25	62.74
Zirconio (Zr)	119.22	77.74
Estroncio (Sr)	55.06	47.02
Uranio (U)	<15.00	<15.00
Rubidio (Rb)	114.44	106.13
Torio (Th)	<100.00	<100.00
Plomo (Pb)	588.09	743.06
Oro (Au)	<15.00	<15.00
Selenio (Se)	13.41	<4.00
Arsénico (As)	86.22	103.81
Mercurio (Hg)	<100.00	<100.00
Zinc (Zn)	426.92	1409.88
Wolframio (W)	<50.00	<50.00
Cobre (Cu)	628.07	448.87
Níquel (Ni)	<25.00	<25.00
Cobalto (Co)	<25.00	<25.00
Hierro (Fe)	70693.02	66122.20
Manganeso (Mn)	1746.33	1323.59
Cromo (Cr)	398.37	390.64
Vanadio (V)	104.91	109.76
Titanio (Ti)	2536.20	2510.80
Escandio (Sc)	<100.00	<100.00
Calcio (Ca)	19516.33	13804.67
Potasio (K)	22325.62	22172.63
Azufre (S)	4851.93	17358.67
Bario (Ba)	431.49	322.19

Cesio (Cs)	<50.00	<50.00
Telurio (Te)	<50.00	<50.00
Antimonio (Sb)	<10.00	<10.00
Estaño (Sn)	<10.00	<10.00
Cadmio (Cd)	<7.00	19.00
Plata (Ag)	15.66	<15.00
Paladio (Pd)	<110.00	<110.00
Niobio (Nb)	27.35	30.68
Bismuto (Bi)	<3.00	<3.00

Fuente: Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2022, pág. 1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La tabla 3-5, sintetiza la existencia de diversos elementos minerales que conforman cada una de las muestras de material de relave, el mismo que ha sido analizado químicamente para continuar con los análisis físicos que permitan el uso adecuado del relave como pieza principal de un sistema de Relleno Hidráulico.

Se ha utilizado la cantidad de dos muestras de material de relave para realizar el siguiente análisis químico tomando en consideración un criterio de comparación para identificar las similitudes, así como las diferencias respecto a la composición de cada muestra.

3.3 Análisis Físico del Material de Relave

3.3.1 Calidad del Material de Relleno

Es necesario determinar la calidad del material de relave existente que se utilizará para las operaciones de un Relleno Hidráulico dentro de las áreas de la Mina “El Pique” por lo que se ha realizado un análisis granulométrico para conocer los distintos tamaños de partículas existentes. En el caso de la granulometría ideal enfocada para que el material de relleno consiga una máxima densidad en la zona en la que se realizará dicha acción y garantice la resistencia contra factores de fuerzas externas determinadas por el diseño del caserón o frente de avance, se debe utilizar la Curva ideal de granos o también conocida como Curva de Talbot. Por lo que se realizó una prueba de análisis granulométrico que determine si existe una distribución ideal de los granos y que permita conocer las dimensiones del material que se necesita añadir para que el relave sea capaz de cumplir con las condiciones idóneas para su aplicación dentro de un Sistema de Relleno Hidráulico.

3.3.1.1 Análisis Granulométrico de muestra de relave mediante Tamización

La muestra de relave utilizada para los ensayos de tamización o granulometría proceden de los depósitos de relave aledaños a la Mina el Pique, que son abastecidos por la Planta de procesamiento al momento de concentrar el mineral de beneficio económico, del cual se ha obtenido los siguientes resultados:

Tabla 3-6: Mallado y Porcentaje acumulativo de la Muestra de Relave.

Malla	(um)	Relave
m18	1000	100
m20	850	99,89
m30	600	99,48
m40	425	98,84
m80	180	93,30
m100	150	87,47
m150	106	77,12
m200	75	63,16
m325	45	14,22
m400	38	2,11

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

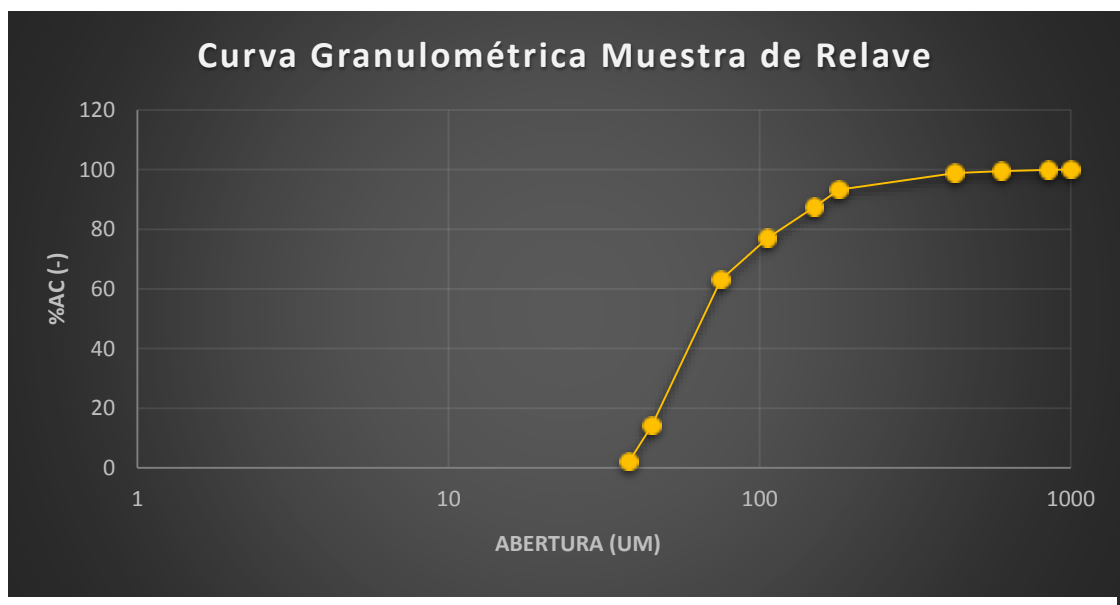


Ilustración 3-6: Curva Granulométrica de la Muestra de Relave.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La Curva Granulométrica de la muestra de Relave permite conocer el tamaño de las partículas por la que está compuesta y a su vez permite realizar una comparación objetiva con la curva ideal de distribución de partículas, para finalmente argumentar si el relave puede ser aplicado como un sistema de relleno hidráulico utilizándolo el material en su forma simple o adicionar otro elemento que facilite el alcance de las propiedades requeridas para conseguir una mezcla adecuada para el relleno de áreas dentro de la explotación minera subterránea.

3.3.1.2 Curva Ideal de distribución de partículas o Curva de Talbot

Tabla 3-7: Mallado y Porcentaje acumulativo idea según la Curva de Talbot.

Malla	(um)	Talbot
m18	1000	100
m20	850	81,65
m30	600	59,3
m40	425	45,82
m80	180	21,87
m100	150	17,75
m150	106	12,55
m200	75	9,58
m325	45	7,97
m400	38	7,73

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

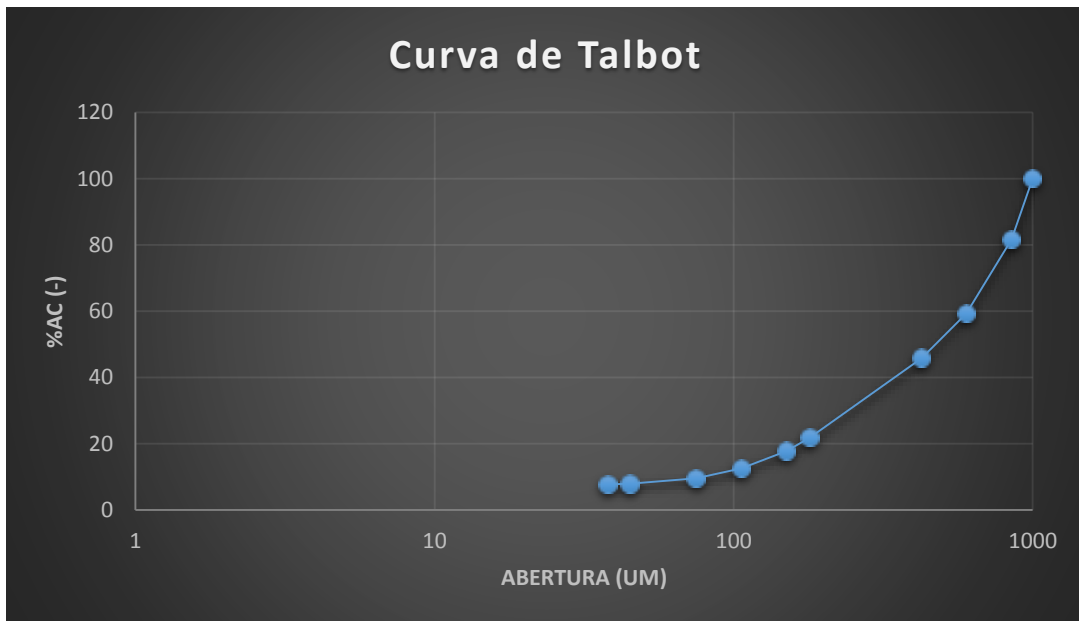


Ilustración 3-7: Curva de Talbot o distribución ideal de partículas.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La Curva Granulométrica de Talbot demuestra la distribución ideal de partículas tomando en cuenta su tamaño, permitiendo identificar si el material de relave posee las características y propiedades adecuadas, buscando la eficiencia al momento de ser utilizado y posteriormente en la aplicación de dicho material en un Sistema de relleno hidráulico.

3.3.1.3 Comparación Curva de Muestras de Relave entre Curva de Talbot

Tabla 3-8: Comparativa entre la Curva de Talbot y Material de Relave.

Malla	(um)	Talbot	Relave
m18	1000	100	100
m20	850	81,65	99,89
m30	600	59,3	99,48
m40	425	45,82	98,84
m80	180	21,87	93,30
m100	150	17,75	87,47
m150	106	12,55	77,12
m200	75	9,58	63,16
m325	45	7,97	14,22
m400	38	7,73	2,11

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

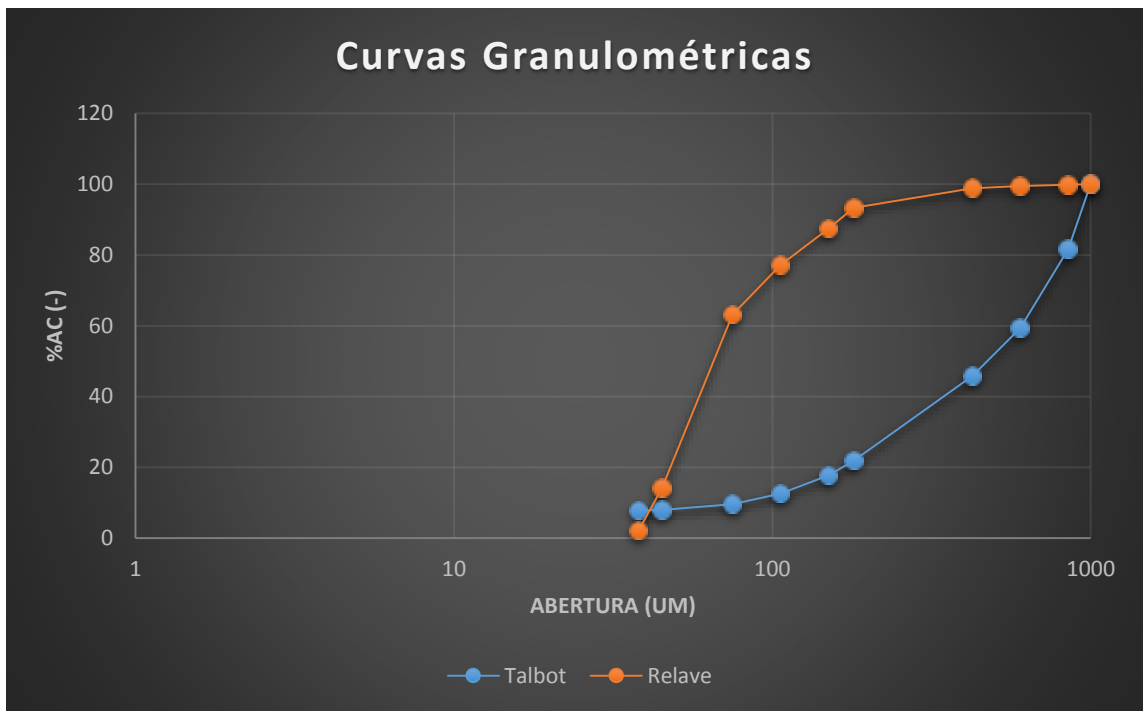


Ilustración 3-8: Curvas Granulométricas de Talbot y Relave.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Lo que demuestra la ilustración 3-8 es la diferencia en la distribución de partículas existente entre la curva granulométrica de Talbot y la curva resultante del ensayo de tamización realizado a la muestra de relave, la misma que necesita encontrarse lo más próximo posible a la distribución ideal, lo que se llega a la conclusión de que necesita una cantidad adicional de material tomando en cuenta a las diferentes aberturas utilizadas en dicho ensayo.

3.3.2 Características del Material de Relleno en diferentes proporciones de Mezcla

Se realizaron la cantidad de 6 ensayos divididos en 3 proporciones de mezcla diferentes que permiten analizar las propiedades físicas de la pulpa que probablemente será utilizado para el sistema de Relleno Hidráulico; el propósito de todos estos análisis es conocer varios aspectos y características que demuestren la efectividad o la deficiencia del material tomando en cuenta las presentes cualidades que posee.

3.3.2.1 Cálculo de Gravedad Específica del material de relave

Se utilizaron 3 balones de laboratorio con los cuales se realizó tres análisis para obtener un resultado promedio:

Tabla 3-9: Valores para el cálculo de gravedad específica.

Muestra	Peso Balón Vacío (PBV)	Peso Balón con Agua (PBA)	Peso Muestra (PM)	Peso PBV+PBA+PBM	Unidad
1	53,0995	152,7203	50,0894	184,8667	Gramos
2	52,1396	151,5704	50,0420	182,4433	Gramos
3	50,9006	150,4665	50,0638	182,4433	Gramos

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Para el cálculo de la gravedad específica del material de relave se utiliza la expresión matemática dispuesta anteriormente, la misma que se realiza con cada muestra después de realizar la toma de pesos de los balones con diferentes sustancias y al final se realiza un promedio con cada uno de los resultados obtenidos dando como respuesta final el valor de **Ge= 2,72**

Fórmula:

$$Ge = \frac{PM}{\{[(PBA - PBV) + (PM)] - (PBVAM - PBV)\}}$$

Muestra 1:

$$Ge = \frac{50,0894}{\{[(152,7203 - 53,0995) + (50,0894)] - (184,8667 - 53,0995)\}} = 2,79$$

Muestra 2:

$$Ge = \frac{50,0420}{\{[(151,5704 - 52,1396) + (50,0420)] - (182,4433 - 52,1396)\}} = 2,61$$

Muestra 3

$$Ge = \frac{50,0638}{\{[(150,4665 - 50,9006) + (50,0638)] - (182,4433 - 50,9006)\}} = 2,76$$

Gravedad específica total

$$Ge = \frac{2,76+2,61+2,79}{3} = 2,72$$



Ilustración 3-9: Cálculo del Peso de los Balones o Picnómetros.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

3.3.2.2 Ensayos de Mezcla de Pulpa en Proporción 1:1

Prueba 1 (Mezcla 1:1)

a) Cálculo de Humedad

Se realiza el secado de una porción de muestra para conocer la humedad existente dentro de la misma, que tendría una influencia directa en la adición de líquido faltante para obtener la proporción adecuada en la mezcla.

Mh= 1000g

Ms=786.2 g

$$\%H = \frac{Mh - Ms}{Mh} * 100$$

%H= 21,38% (Humedad)

%S=78,62% (Sólidos)



Ilustración 3-10: Secado de relave para el cálculo de humedad.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

b) Densidad Aparente de muestra

Ph= 905 g

Ps= 711,511 g

V=470 ml (medidos en una probeta)

$$\delta = \frac{Ps}{V} = 1,51 \frac{g}{ml}$$

c) Cálculo de la Proporción de agua Muestra Húmeda

Se realiza el cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la proporción requerida ya que el material de relave utilizado como muestra posee un porcentaje de humedad, que influiría en el resultado de la mezcla o pulpa dispuesta para la realización de los diferentes ensayos.

- %Sólidos= 78,62%
- %Humedad= 21,38%
- Muestra húmeda (Mh)= 1000 g
- Agua en la Muestra (Am)= Mh*%H=213.8 ml de H2O
- Sólidos en la Muestra (Sm) = Mh*%S= 786.2 g

- Agua faltante Mezcla 1: 1 = $S_m - A_m = 786.2 - 213.8 = 572.4 \text{ ml de H}_2\text{O}$

d) Cálculo de la Proporción de Cal

El cálculo de proporción de Cal es necesario para el relleno hidráulico ya que esta permite la estabilización de la pulpa teniendo en cuenta su secado, estabilización, resistencia, reducción de su plasticidad y mejorando la capacidad estructural del material de relleno dentro del área dispuesta a su utilización.

Peso óptimo= 0,75 Kg/Tn=g/kg de Cal por Kilo

$$\begin{array}{r}
 1000 \text{ g} \\
 711,511 \text{ g}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 0,75 \text{ g/kg Cal} \\
 x
 \end{array}$$

$$X = \frac{786.2 * 0,75}{1000} = 0.5336 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \text{ de Cal}$$

e) Prueba de Agitación (Mezcla 1:1)

El ensayo de agitación consiste en obtener una pulpa homogénea que demuestre si la misma es excesivamente fluida, intermedia o posee una consistencia alta, que significaría un inconveniente para la aplicación como Relleno Hidráulico.

Tabla 3-10: Datos obtenidos en la prueba de agitación del relave.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad Específica	2.72	2.72	
Densidad Pulpa:	1470	1438	g/litro pulpa
% Sólidos	78.62	78.62	%
Peso de mezclas (1:1)	1.27	1.27	kilos
Por cada Kilo de muestra	572.40	572.40	Cc H2O
Cal (Kg/Tm)	0	0.5896	Gr por Kl de muestra
RPM	1400	1400	

Observaciones:	Homogeneidad en la pulpa durante agitación. Uso de deflectores.	Mayor Homogeneidad durante agitación. Uso de deflectores.	
-----------------------	---	---	--

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-11: Agitación de la mezcla de relave y agua.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

f) Prueba de Filtración de la Pulpa (Mezcla 1:1)

La Prueba de Filtración de Pulpa es realizada con el fin de obtener de un ejemplo del actuar de la mezcla sobre un piso compuesto de un material parecido al que se encuentra dentro de las zonas

de la explotación minera y que serán propensas a la aplicación del Relleno Hidráulico. Para dicho ensayo se ha utilizado las siguientes herramientas con sus respectivas dimensiones:

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$
- $A_p = 2,5 \text{ cm}$
- $A_m = 10 \text{ cm}$ (Material de 3/8" y capa de fino en la parte superior, simula el piso existente en los caserones y frentes de avance).
- La pulpa 1:1 es homogénea y sumamente líquida.



Ilustración 3-12: Prueba de Filtración de Mezcla 1:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La filtración de la pulpa 1:1 en el material de 3/8" que simula los frentes de explotación es casi en su 100%, lo que genera un inconveniente ya que se necesita una filtración mínima de la pulpa, para que exista la separación de la misma y la creación de una película de agua sobre esta, de modo que se pueda remover o succionar el exceso de agua permitiendo así el secado de la mezcla.

g) Prueba Slump o de Asentamiento

La prueba del Slump permite analizar la consistencia de la mezcla mediante la compactación de la misma utilizando un molde troncocónico y de esta manera medir la capacidad de asentamiento que posee la mezcla o pulpa luego de desmoldar el cono.

Medidas del Cono Slump

- Abertura= 16,5 cm=Ø
- Altura=30 cm
- Fondo= 10 cm=Ø



Ilustración 3-13: Cono utilizado para prueba de Slump.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Para llevar a cabo el ensayo de slump se adiciona una porción de mezcla de relave con agua dentro del cono Slump, posteriormente se lo tapa e invierte para medir la columna crea por su caída, la misma que simula el esparcimiento del material dentro de la zona en la que desea aplicar y si la mezcla se encuentra en estado fluido o posee la consistencia necesaria para aplicarlo como Relleno Hidráulico

Tabla 3-11: Pruebas de Slump con y sin el uso de Cal.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Cal (0.75 kg/Tm por kilo)	0	0,5336	gr, por kg de muestra
Resultado altura	0,1 cm	0,3	Centímetros

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-14: Prueba de Slump en mezcla 1:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

h) Prueba de Decantación y Velocidad de Sedimentación

En la siguiente prueba se aplicó un estudio de la velocidad de decantación o separación de la pulpa compuesta de material de relave y agua, en la misma que surge un proceso de decantación por la diferencia de densidad existente entre dichos materiales, lo que permite conocer la

compactación del material de interés y su alejamiento del agua sobrante posteriormente a la aplicación del Relleno Hidráulico dentro de la zona establecida.

Pulpa Homogénea con Mezcla 1:1

Tabla 3-12: Prueba de Decantación y sedimentación del relave.

Altura Pulpa (cm)	Altura Agua (cm)	Tiempo (h:min)	Día
6.60	0.00	18:33	Sábado
6.30	0.30	18:45	Sábado
6.10	0.50	19:30	Sábado
6.00	0.60	21:15	Sábado
5.80	0.80	22:20	Sábado
5.55	1.05	23:15	Sábado
5.35	1.25	00:23	Domingo
5.15	1.45	01:25	Domingo
4.90	1.60	02:25	Domingo
4.75	1.80	03:22	Domingo
4.55	2.00	04:14	Domingo
4.38	2.05	05:18	Domingo
4.15	2.05	06:40	Domingo

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

$$V_s = \frac{\text{Altura Final Pulpa}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{4,15}{12} = 0,34 \frac{\text{cm}}{\text{hora}}$$

Se debe tomar en cuenta que el cálculo de velocidad de sedimentación se realizó en un recipiente sin orificios o desfuegos por lo que la pulpa al momento de sufrir una separación parcial queda en el fondo del recipiente, y a su vez se crea una película de agua sobre el material de relave por la diferencia de densidades, por tanto, es necesario retirar el fluido para que el ensayo continúe con su proceso de sedimentación, decantación y secado de la pulpa.

Prueba 2 (Mezcla 1:1)

a) Cálculo de Humedad

Se realiza el secado de una porción de muestra para conocer la humedad existente dentro de la misma la cual tendría una influencia directa en la adición de líquido faltante para obtener la proporción adecuada en la mezcla.

Mh= 1000g

Ms=743.8 g

$$\%H = \frac{Mh - Ms}{Mh} * 100$$

%H= 25.62% (Humedad)

%S=74.38% (Sólidos)



Ilustración 3-15: Secado de muestra húmeda de relave.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

b) Densidad Aparente de muestra

Ph= 905 g

Ps= 711,511 g

V=470 ml de agua (medidos en una probeta)

$$\delta = \frac{Ps}{V} = 1,51 \frac{g}{ml}$$

La densidad en este caso tomando en cuenta la razón de la mezcla 1:1 es la misma ya que se utiliza la misma cantidad de material de relave seco y el mismo contenido de agua.

c) Cálculo de la Proporción de agua Muestra Húmeda

Se realiza el cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la proporción requerida ya que el material de relave utilizado como muestra posee un porcentaje de humedad que influye en el resultado de la mezcla o pulpa dispuesta para la realización de los diferentes ensayos.

- %Sólidos= 74.38%
- %Humedad= 25.62%
- Muestra húmeda (Mh)= 1000 g
- Agua en la Muestra (Am)= Mh*%H=256.2 ml de H2O
- Sólidos en la Muestra (Sm) = Mh*%S= 743.8 g
- *Agua faltante Mexcla 1: 1 = Sm – Am = 743.8 – 256.2 = 487.6 ml de H2O*

d) Cálculo de la Proporción de Cal

El cálculo de proporción de Cal es necesario para el relleno hidráulico ya que esta permite la estabilización de la pulpa teniendo en cuenta su secado, estabilización, resistencia, reducción de su plasticidad y mejorando la capacidad estructural del material de relleno dentro del área dispuesta a su utilización

Peso óptimo= 0,75 Kg/Tn=g/kg de Cal por Kilo

$$\begin{array}{cc} 1000 \text{ g} & 0,75 \text{ g/kg Cal} \\ 743.8\text{g} & x \end{array}$$

$$X = \frac{743.8 * 0,75}{1000} = 0,5578 \frac{g}{kg} \text{ de Cal}$$

e) Prueba de Agitación (Mezcla 1:1)

El ensayo de agitación consiste en obtener una pulpa homogénea que demuestre si la misma es excesivamente fluida, intermedia o posee una consistencia alta, la cual sería un inconveniente para la aplicación como Relleno Hidráulico.

Tabla 3-13: Datos obtenidos de la segunda prueba de agitación del relave.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad Específica	2,72	2,72	
Densidad Pulpa:	1470	1438	g/litro pulpa
% Sólidos	74.38%	74.38%	
Peso de mezclas (1:1)	1.23	1.23	kilos
Por cada Kilo de muestra	487.6	487.6	CC. H2O
Cal (Kg/Tm)	0	0.5578	Gr por Kl de muestra
RPM	1400	1400	
Observaciones:	Homogeneidad en la pulpa durante agitación. Uso de deflectores.	Mayor Homogeneidad durante agitación. Uso de deflectores.	

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-16: Agitador de hélice mezclando la muestra de pulpa.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

f) Prueba de Filtración de la Pulpa (Mezcla 1:1)

La Prueba de Filtración de Pulpa es realizada con el fin de obtener de un ejemplo del actuar de la mezcla sobre un piso compuesto de un material parecido al que se encuentra dentro de las zonas de la explotación minera y que serán propensas a la aplicación del Relleno Hidráulico. Para dicho ensayo se ha utilizado las siguientes herramientas con sus respectivas dimensiones:

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$
- $A_p = 2.5 \text{ cm}$
- $A_m = 10 \text{ cm}$ (Material de 3/8" y capa de fino en la parte superior, simula el piso existente en los caserones y frentes de avance)
- La pulpa 1:1 es homogénea y sumamente líquida



Ilustración 3-17: Segunda Prueba de Filtración de Mezcla 1:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La filtración de la pulpa 1:1 en el material de 3/8" que simula los frentes de explotación es casi en su 100%, lo que genera un inconveniente, ya que se necesita una filtración mínima de la pulpa, para que exista la separación de la misma y la creación de una película de agua sobre esta, de modo que se pueda remover o succionar el exceso de agua permitiendo así el secado de la mezcla.

g) Prueba Slump o de Asentamiento

La prueba del Slump permite analizar la consistencia de la mezcla mediante la compactación de la misma utilizando un molde troncocónico y de esta manera medir la capacidad de asentamiento que posee la mezcla o pulpa luego de desmoldar el cono.

Medidas del Cono Slump

- Abertura= 16,5 cm=Ø
- Altura=30 cm
- Fondo= 10 cm=Ø



Ilustración 3-18: Medición de la altura de la mezcla de pulpa 1:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Para llevar a cabo el ensayo de slump se adiciona una porción de mezcla de relave con agua dentro del cono al que se lo tapa e invierte para medir la columna que crea por su caída, la misma que simula el esparcimiento del material dentro de la zona en la que desea aplicar y si la mezcla se encuentra o posee la consistencia necesaria para aplicarlo como Relleno Hidráulico

Tabla 3-14: Segunda prueba de Slump con y sin Cal.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Cal (0.75 kg/Tm por kilo)	0	0.5578	gr, por kg de muestra
Resultado altura	0,11 cm	0,33	Centímetros

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

h) Prueba de Decantación y Velocidad de Sedimentación

En la siguiente prueba se aplicó un estudio de la velocidad de decantación o separación de la pulpa compuesta de material de relave y agua, en la misma que surge un proceso de decantación por la diferencia de densidad existente entre dichos materiales, lo que permite conocer la

compactación del material de interés y su alejamiento del agua sobrante posteriormente a la aplicación del Relleno Hidráulico dentro de la zona establecida.

Pulpa Homogénea con Mezcla 1:1

Tabla 3-15: Segunda prueba de decantación y sedimentación del relave.

Altura Pulpa (cm)	Altura Agua (cm)	Tiempo (h:min)	Día
4.20	0.00	15:30	Sábado
4.10	0.30	16:20	Sábado
4.00	0.50	17:35	Sábado
3.80	0.60	18:25	Sábado
3.60	0.80	19:20	Sábado
3.50	1.05	20:30	Sábado
3.40	1.15	21:30	Domingo
3.20	1.25	22:28	Domingo
3.10	1.30	23: 28	Domingo
3.00	1.45	00:30	Domingo
2.85	1.60	01:29	Domingo
2.60	1.72	02:31	Domingo
2.50	1.91	03:24	Domingo

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

$$V_s = \frac{\text{Altura Final Pulpa}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{2,50}{12} = 0,20 \frac{\text{cm}}{\text{hora}}$$

Se debe tomar en cuenta que el cálculo de velocidad de sedimentación se realizó en un recipiente sin orificios o desfogues por lo que la pulpa al momento de iniciar el proceso separación, el relave queda en el fondo del recipiente y se crea una película de agua sobre el material por efecto de la diferencia de densidades, lo que significa la necesidad de retirar el fluido para que el ensayo continúe con su proceso de sedimentación, decantación y secado de la pulpa.

3.3.2.3 Ensayos de Mezcla de Pulpa en Proporción 1.5:1

Prueba 1 (Mezcla 1.5:1)

a) Cálculo de Humedad

Se realiza el secado de una porción de muestra para conocer la humedad existente dentro de la misma, propiedad que influye directamente en la adición de líquido faltante para obtener la proporción adecuada en la mezcla.

$$M_h = 1991 \text{ g}$$

$$M_s = 1522 \text{ g}$$

$$\%H = \frac{M_h - M_s}{M_h} * 100$$

$\%H = 23,55\%$ el resto son sólidos.

$$\%S = 76,45\%$$

b) Densidad Aparente de muestra

$$P_h = 905 \text{ g}$$

$$P_s = 902,511 \text{ g}$$

$$V = 500 \text{ ml (medidos en una probeta)}$$

$$\delta = \frac{P_s}{V} = 1,80 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

c) Cálculo de la Proporción de agua Muestra Húmeda (1,5:1)

Se realiza el cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la proporción requerida ya que el material de relave utilizado como muestra posee un porcentaje de humedad que influye en el resultado de la mezcla o pulpa dispuesta para la realización de los diferentes ensayos.

- %Sólidos= 76,45%
- %Humedad= 23,55%
- $M_h = 1991 \text{ g}$
- Agua en la Muestra= $M_h * \%H = 468,88 \text{ ml de H}_2\text{O}$
- Sólidos en la Muestra = $M_h * \%S = 1522 \text{ g}$
- Agua faltante para mezcla

$$\text{Mezcla } 1,5:1 = \frac{1522}{1,5} = 1014,66 - 468,88 = 545,78 \text{ ml}$$

d) Cálculo de la Proporción de Cal

El cálculo de proporción de Cal es necesario para el relleno hidráulico ya que permite la estabilización de la pulpa teniendo en cuenta su secado, estabilización, resistencia, reducción de su plasticidad y mejorando la capacidad estructural del material de relleno dentro del área dispuesta a su utilización.

Peso óptimo= 0,75 Kg/Tn=g/kg de Cal por Kilo

$$X = 1,991 * 0,5336 = 1,0623 \frac{g}{kg} \text{ de Cal}$$



Ilustración 3-19: Medición de Cal tomando en cuenta la proporción de mezcla.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

e) Resultados prueba de Agitación (Mezcla 1,5:1)

El ensayo de agitación consiste en obtener una pulpa homogénea que demuestre si la misma es demasiado fluida, intermedia o posee una consistencia alta la cual sería un inconveniente para la aplicación como Relleno Hidráulico.

Tabla 3-16: Primera prueba de agitación de mezcla de relave 1.5:1

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad Específica	2,72	2,72	
Densidad Pulpa:	1616	1616	g/litro pulpa
% Sólidos	76.45%	76.45%	
Peso de mezclas (1.5:1)	1.99	1.99	kilos
Por cada Kilo de muestra	1014.66	1014.66	Cc H2O (considerando la humedad)
Cal (Kg/Tm)	0	1.0623	Gr por Kl de muestra
RPM	1400	1400	
Observaciones:	Homogeneidad en la pulpa durante agitación. Uso de deflectores.	Mayor Homogeneidad durante agitación. Uso de deflectores. Mezcla mediamente líquida y sólida.	

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-20: Agitación de mezcla de pulpa en proporción 1.5:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

f) Prueba de Filtración de la Pulpa (Mezcla 1,5:1)

- Área del envase: $cm^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 20,5 \text{ cm}$
- $r = 10,25 \text{ cm}$
- Altura pulpa = 2.5 cm
- Altura piso=10 cm (Material de 3/8" y capa de fino en la parte superior, simula el piso existente en los caserones y frentes de avance)
- La pulpa 1,5:1 es homogénea; mediamente líquida y sólida.

La filtración de la pulpa 1,5:1 en el material de 3/8" que simula los frentes de explotación es casi en un 15%, lo que demuestra que su mezcla se encuentra en un estado intermedio, demostrando ser la más conveniente hasta el momento, por razón de que pulpa se filtra en muy baja cantidad, la mezcla se mantiene sobre el piso de rocas y continua con su separación del agua sobrante mediante el proceso de decantación, y a su vez el fluido adicional se filtra por las rocas, permitiendo el secado de la mezcla para su compactación.



Ilustración 3-21: Etapa inicial de la prueba de filtración de pulpa.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 3-17: Prueba de Filtración de mezcla de pulpa razón 1.5:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Película de Agua (cm)	Agua filtrada (cm)	Tiempo (h:min)	Día	Observaciones
3.00	0.00	0	16:13	Domingo	
2.90	0.10	0.2	17:28	Domingo	Se crea una película de agua producto de la diferencia de densidades
2.80	0.20	0.30	18:33	Domingo	
2,70	0.30	0.30	19:15	Domingo	
2.65	0.40	0.50	20:23	Domingo	Se retira 59 ml de agua (película de

					agua sobre la pulpa)
2.60	0.10	0.50	21:15	Domingo	
2.58	0.20	0.60	22:32	Domingo	
2.50	0.35	0.70	23:14	Domingo	
2.40	0.45	0.79	00:16	Lunes	
2.36	0.55	0.91	01:23	Lunes	
2.31	0.62	1.02	02:14	Lunes	Comienza el proceso de secado de la pulpa y su compactación.
2.29	0.81	1.10	03:33	Lunes	
2.25	0.99	1.22	04:21	Lunes	
2.23	1.15	1.30	05:15	Lunes	Se retiró una segunda cantidad de agua (película de agua sobre la pulpa)
2.22	0.04	1.36	06:36	Lunes	
2,22	0.03	1.4	07:12	Lunes	Existe una humedad en la capa de mezcla sólida que se encuentra sobre el material que simula el piso del caserón.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

g) Prueba Slump (Mezcla 1,5:1)

Medidas Cono Slump

- Abertura= 16,5 cm=Ø
- Altura=30 cm
- Fondo= 10 cm=Ø

Tabla 3-18: Prueba de Slump mezcla 1.5:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Cal (0.75 kg/Tm por kilo)	0.00	1.06	gr, por kg de muestra
Resultado altura	1.50 cm	1.95	Centímetros.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-22: Medición de la altura de la pulpa mediante prueba slump.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La Prueba de Slump en la mezcla 1.5:1 demuestra que el material tiene una consistencia tanto sólida como líquida es decir se encuentra en un estado plástico lo que permite tener la resistencia

suficiente del material para que el mismo se acumule y poder corroborar su resultado con el cono Slump y a su vez tener la fluidez suficiente para que el material sea capaz de transportarse por medio de tuberías.

h) Prueba de Decantación y Velocidad de Sedimentación

En la siguiente prueba se aplicó un estudio de la velocidad de sedimentación o separación de la pulpa compuesta de material de relave y agua, en la misma que surge un proceso de decantación por la diferencia de densidad existente entre dichos materiales, lo que permite conocer la compactación del material de interés y su alejamiento del agua sobrante posteriormente a la aplicación del Relleno Hidráulico dentro de la zona establecida.

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$

Tabla 3-19: Prueba de decantación y sedimentación de pulpa razón 1.5:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Agua (cm)	Tiempo (h:min)	Día	Observaciones
5.6	0	12:43	Domingo	
5.5	0,2	13:35	Domingo	
5.5	0,3	14:40	Domingo	
5.4	0,5	15:42	Domingo	
5.4	0,7	16:36	Domingo	
5.35	0,8	17:35	Domingo	
5.25	0,9	18:40	Domingo	Se retira 225 ml de agua dispuesta como una capa superficial por efecto de decantación
5.20	0.20	19:30	Domingo	
5.10	0.35	20:29	Domingo	
4.95	0.44	21:24	Domingo	
4.85	0.59	22:34	Domingo	
4.70	0.66	23:40	Domingo	

4.50	0.70	00:14	Lunes	Por segunda ocasión, se retira 50 ml de agua dispuesta como una capa superficial.
4.40	0.85	01:23	Lunes	
4.33	1.00	02:16	Lunes	Comienza el proceso de endurecimiento de la pulpa de relave sobre el piso.
4.21	1.15	03:14	Lunes	
4.21	1.27	04:05	Lunes	
4.18	1.27	05:18	Lunes	
4.07	1.38	06:34	Lunes	
4.01	1.38	07:30	Lunes	

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Se debe tomar en cuenta que el cálculo de velocidad de sedimentación se realizó en un recipiente sin orificios o desfogues por lo que la pulpa al momento de sufrir una separación parcial queda en el fondo del recipiente y se crea una película de agua sobre el material de relave por la diferencia de densidades, por lo que es necesario retirar el fluido para que el ensayo continúe con su proceso de sedimentación, decantación y secado de la pulpa.

$$V_s = \frac{\text{Altura Final Pulpa}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{4.33}{12} = 0,36 \frac{\text{cm}}{\text{hora}}$$

Prueba 2 (Mezcla 1.5:1)

a) Cálculo de Humedad

Se realiza el secado de una porción de muestra para conocer la humedad existente dentro de la misma, propiedad que influye directamente en la adición de líquido faltante para obtener la proporción adecuada en la mezcla.

Mh= 4000 g

$M_s=3004.8 \text{ g}$

$$\%H = \frac{M_h - M_s}{M_h} * 100$$

$\%H= 24.88\%$ el resto son sólidos.

$\%S=75.12\%$



Ilustración 3-23: Secado de material de relave para distintas pruebas.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

b) Densidad Aparente de muestra

$P_h= 905 \text{ g}$

$P_s= 902,511 \text{ g}$

$V=500 \text{ ml}$ (medidos en una probeta)

$$\delta = \frac{P_s}{V} = 1,80 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

c) Cálculo de la Proporción de agua Muestra Húmeda (1,5:1)

Se realiza el cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la proporción requerida, tomando en cuenta que el material de relave utilizado como muestra posee un porcentaje de humedad que influye en el resultado de la mezcla o pulpa dispuesta para la realización de los diferentes ensayos.

- %Sólidos= 75.12%
- %Humedad= 24.88%
- Mh= 4000 g
- Agua en la Muestra= Mh*%H= 995.2 ml de H2O
- Sólidos en la Muestra = Mh*%S= 3004.8 g
- Agua faltante para mezcla

$$\text{Mezcla 1,5:1} = \frac{3004.8}{1.5} = 2003.2 - 995.2 = 1008 \text{ ml}$$

d) Cálculo de la Proporción de Cal

El cálculo de proporción de Cal es necesario para el relleno hidráulico ya que permite la estabilización de la pulpa, teniendo en cuenta su secado, estabilización, resistencia, reducción de su plasticidad y mejorando la capacidad estructural del material de relleno dentro del área dispuesta a su utilización.

Peso óptimo= 0,75 Kg/Tn=g/kg de Cal por Kilo

$$X = \frac{4000 * 0,5336}{1000} = 2.134 \frac{g}{kg} \text{ de Cal}$$

e) Resultados segunda prueba de Agitación (Mezcla 1,5:1)

El ensayo de agitación consiste en obtener una pulpa homogénea que demuestre si la misma es demasiado fluida, intermedia o posee una consistencia alta, la cual sería un inconveniente para la aplicación como Relleno Hidráulico.

Tabla 3-20: Segunda prueba de agitación de mezcla de relave 1.5:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad Específica	2,72	2,72	
Densidad Pulpa:	1626	1626	g/litro pulpa
% Sólidos	75.12%	75.12%	
Peso de mezclas (1.5:1)	2.83	2.83	kilos

Por cada Kilo de muestra	1008	1008	Cc H2O (considerando la humedad)
Cal (Kg/Tm)	0	2.134	Gr por Kl de muestra
RPM	1400	1400	
Observaciones:	Homogeneidad en la pulpa durante agitación. Uso de deflectores.	Mayor Homogeneidad durante agitación. Uso de deflectores. Mezcla mediamente líquida y sólida.	

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-24: Agitación de segunda mezcla de pulpa en proporción 1.5:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

f) Prueba de Filtración de la Pulpa (Mezcla 1,5:1)

- Área del envase: $\text{cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 20,5 \text{ cm}$
- $r = 10,25 \text{ cm}$
- Altura pulpa = 2.5 cm
- Altura piso = 10 cm (Material de 3/8" y capa de fino en la parte superior, simula el piso existente en los caserones y frentes de avance)
- La pulpa 1,5:1 es homogénea; mediamente líquida y sólida.

La filtración de la pulpa 1,5:1 en el material de 3/8" que simula los frentes de explotación es casi en un 15%, lo que demuestra que su mezcla se encuentra en un estado intermedio que ha demostrado ser la más conveniente hasta el momento, por razón de que pulpa se filtra en muy baja cantidad, la mezcla se mantiene sobre el piso de rocas y continua con su separación del agua sobrante mediante el proceso de decantación, y a su vez el fluido adicional se filtra por las rocas, permitiendo el secado de la mezcla para su compactación.



Ilustración 3-25: Medición inicial de la prueba de filtración de pulpa.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 3-21: Prueba de Filtración de mezcla de pulpa razón 1.5:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Película de Agua (cm)	Agua filtrada (cm)	Tiempo (h:min)	Día	Observaciones
3.20	0.00	0	13:55	Domingo	
3.2	0.02	0.1	14:59	Domingo	Se crea una película de agua producto de la diferencia de densidades
3.10	0.10	0.13	15:54	Domingo	
3.10	0.10	0.15	16:29	Domingo	
3.00	0.20	0.20	17:55	Domingo	
2.9	0.23	0.21	18:41	Domingo	
2.9	0.17	0.26	19:41	Domingo	Se retira 75 ml de agua (película de agua sobre la pulpa)
2.8	0.35	0.70	20:40	Domingo	
2.75	0.45	0.79	21:45	Domingo	
2.73	0.55	0.91	22:48	Domingo	
2.7	0.62	1.02	23:50	Domingo	
2.7	0.81	1.10	00:51	Lunes	
2.7	0.99	1.22	01: 52	Lunes	Comienza el proceso de secado de la pulpa y su compactación

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

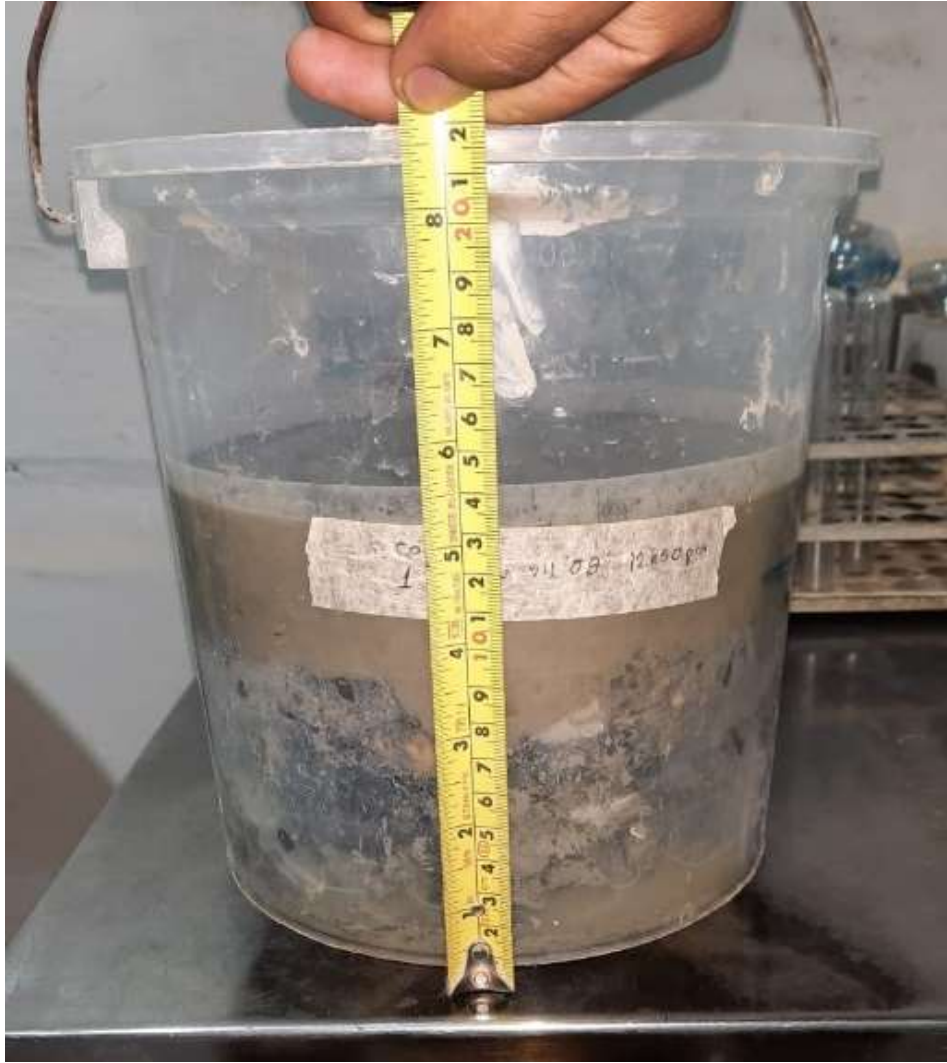


Ilustración 3-26: Medición de pulpa, filtración y película de agua de mezcla 1,5:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

g) Prueba Slump (Mezcla 1,5:1)

Medidas Cono Slump

- Abertura= 16,5 cm= \emptyset
- Altura=30 cm
- Fondo= 10 cm= \emptyset

Tabla 3-22: Segunda prueba de Slump mezcla 1.5:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Cal (0.75 kg/Tm por kilo)	0.00	1.06	gr, por kg de muestra
Resultado altura	1.60 cm	1.90	Centímetros

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-27: Medición de altura de columna compuesta por pulpa de relave.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La Prueba de Slump en la mezcla 1.5:1 demuestra que el material tiene una consistencia tanto sólida como líquida es decir se encuentra en un estado plástico lo que permite tener la resistencia suficiente del material para que el mismo se acumule y posea casi 2 cm de altura, que se encuentra en el rango casi aceptable de acumulación de material para el uso en un sistema de relleno hidráulico.

h) Prueba de Decantación y Velocidad de Sedimentación

En la siguiente prueba se aplicó un estudio de la velocidad de sedimentación o separación de la pulpa compuesta de material de relave y agua, en la misma que surge un proceso de decantación por la diferencia de densidad existente entre dichos materiales, lo que permite conocer la

compactación del material de interés y su alejamiento del agua sobrante posteriormente a la aplicación del Relleno Hidráulico dentro de la zona establecida.

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$

Pulpa Homogénea con Mezcla 1,5:1

Tabla 3-23: Prueba de decantación y sedimentación de pulpa razón 1.5:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Agua (cm)	Tiempo (h:min)	Día	Observaciones
3.20	0	13:55	Domingo	
3.20	0.2	14:59	Domingo	
3.10	0.3	15:49	Domingo	
3.00	0.5	16:49	Domingo	
2.90	0.7	17:54	Domingo	
2.90	0.8	18:52	Domingo	
2.80	0.9	19:42	Domingo	Se retira 218 ml de agua dispuesta como una capa superficial por efecto de decantación.
2.80	0.20	20:45	Domingo	
2.70	0.35	21:54	Domingo	
2.70	0.44	22:20	Domingo	
2.70	0.59	23:32	Domingo	
2.70	0.66	00:45	Domingo	
2.60	0.70	01:52	Lunes	Por segunda ocasión, se retira 70 ml de agua dispuesta como una capa superficial.

2.60	0.85	02:43	Lunes	
2.50	1.00	03:55	Lunes	Comienza el proceso de endurecimiento de la pulpa de relave sobre el piso.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Se debe tomar en cuenta que el cálculo de velocidad de sedimentación se realizó en un recipiente sin orificios o desfuegos por lo que la pulpa al momento de su separación parcial queda en el fondo del recipiente y se crea una película de agua sobre el material de relave por la diferencia de densidades, por lo que es necesario retirar el fluido sobrante para que el ensayo continúe con su proceso de sedimentación, decantación y secado de la pulpa.

$$V_s = \frac{\text{Altura Final Pulpa}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{2.50}{12} = 0,21 \frac{\text{cm}}{\text{hora}}$$

3.3.2.4 Ensayos de Mezcla de Pulpa en proporción 2:1

Prueba 1 (Mezcla 2:1)

a) Secado de Muestra para conocer su Humedad

Se realiza el secado de una porción de muestra para conocer la humedad existente dentro de la misma, propiedad que influye directamente en la adición de líquido faltante para obtener la proporción adecuada en la mezcla.

Mh= 624g

Ms=483 g

$$\%H = \frac{Mh - Ms}{Mh} * 100$$

%H= 22,59% (Humedad)

%S=77,41% (Sólidos)

b) Densidad Aparente de muestra

Ph= 3000 g

Pmezcla= 988 (medidos en probeta)

V=500 ml (medidos en probeta)

$$\delta = \frac{Ps}{V} = 1,976 \frac{g}{ml}$$

c) Cálculo de la Proporción de agua Muestra Húmeda

Se realiza el cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la proporción requerida ya que el material de relave utilizado como muestra posee un porcentaje de humedad que influye en el resultado de la mezcla o pulpa dispuesta para la realización de los diferentes ensayos.

- %Sólidos= 77,41%
- %Humedad= 22,59%
- Mh= 3000 g
- Agua en la Muestra= Mh*%H=677,7 ml de H2O
- Sólidos en la Muestra = Mh*%S= 2322,3 g
- Agua faltante para mezcla 2: $1 = \frac{2322,3}{2} = 1161,15 - 677,7 = 483,35 \text{ ml}$

d) Cálculo de la Proporción de Cal

El cálculo de proporción de Cal es necesario para el relleno hidráulico ya que permite la estabilización de la pulpa teniendo en cuenta su secado, estabilización, resistencia, reducción de su plasticidad y mejorando la capacidad estructural del material de relleno dentro del área dispuesta a su utilización.

Peso óptimo= 0,75 Kg/Tn=g/kg de Cal por Kilo

$$1000 \text{ g} \qquad 0,5336 \text{ g/kg Cal}$$

$$3000 \text{ g} \qquad x$$

$$X = \frac{3000 * 0,5336}{1000} = 1,6008 \frac{g}{kg} \text{ de Cal}$$

e) **Resultados prueba de Agitación (Mezcla 2:1)**

Tabla 3-24: Prueba de agitación de mezcla de relave 2:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad Específica	2.72	2.72	
Densidad Pulpa:	1688	1688	g/litro pulpa
% Sólidos	77.41%	77.41%	
Peso de mezclas (1:1)	2.82	2.82	kilos
Por cada Kilo de muestra	1161.15	1161.15	Cc H2O
Cal (Kg/Tm)	0	1.6008	Gr por Kl de muestra (se toma en cuenta la humedad)
RPM	1400	1400	
Observaciones:	Homogeneidad en la pulpa durante agitación. Uso de deflectores. La pulpa es concisa y con una fluidez intermedia.	Mayor Homogeneidad durante agitación. Uso de deflectores. La pulpa es concisa y con una fluidez intermedia.	

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

f) **Prueba de Filtración y Compactación de la Pulpa (Mezcla 2:1)**

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$
- Altura pulpa = 3.8 cm
- Altura muestra = 10 cm (Material de 3/8" y capa de fino en la parte superior, simula el piso existente en los caserones y frentes de avance)
- La pulpa 2:1 es homogénea, concisa y su densidad es alta.

Se realizó la toma de datos del comportamiento del material de pulpa de relave en razón 2:1 tomando en cuenta un intervalo de tiempo de **4horas**.



Ilustración 3-28: Filtración casi nula de mezcla 2:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 3-25: Prueba de filtración y consolidación de mezcla 2:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Película de Agua (cm)	Agua filtrada (cm)	Tiempo (h:min)	Día	Observaciones
3.80	0.00	0.00	12:23	Lunes	
3.80	0.20	0.20	16:24	Lunes	
3.70	0.30	0.30	20:33	Lunes	
3.65	0.40	0.30	00:25	Martes	
3.58	0.20	0.35	04:21	Martes	El agua se filtra hacia el interior hasta llegar al piso del envase

3.50	0.20	0.55	08:30	Martes	
3.40	0.30	0.65	12:22	Martes	Pulpa de 3.4 cm posee una dureza media, paulatinamente comienza su secado y compactación.
3.35	0.35	0.80	16:28	Martes	
3.30	0.40	1.00	20:20	Martes	
3.20	0.48	1.10	00:18	Miércoles	
3.00	0.55	1.25	04:35	Miércoles	Pulpa se compacta de mejor manera por ejercer presiones y continua con la separación del exceso de agua en la mezcla.
2.90	0.70	1.50	08:19	Miércoles	
2.80	0.75	1.85	12:33	Miércoles	Su compactación es muy buena pero no existe una fluidez con la que se pueda transportar la pulpa mediante tuberías.
2.70	0.80	2.00	16:23	Miércoles	

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

g) Prueba Slump (Mezcla 2:1)

Medidas Cono Slump

- Abertura= 16,5 cm=∅
- Altura=30 cm
- Fondo= 10 cm=∅

Tabla 3-26: Prueba Slump en mezcla de pulpa con razón 2:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
-------------	----------	----------	--------

Cal (0.75 kg/Tm por kilo)	0	1,6008	gr, por kg de muestra
Resultado altura	2,7 cm	2.55	Centímetros

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-29: Prueba de Slump en mezcla 2:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

h) Prueba de Decantación y Velocidad de Sedimentación en mezcla 2:1

En la siguiente prueba se aplicó un estudio de la velocidad de sedimentación o separación de la pulpa compuesta de material de relave y agua, en la misma que surge un proceso de decantación por la diferencia de densidad existente entre dichos materiales, lo que permite conocer la compactación del material de interés y su alejamiento del agua sobrante posteriormente a la aplicación del Relleno Hidráulico dentro de la zona establecida.

Datos del envase

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$

- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$

Tabla 3-27: Prueba de sedimentación de mezcla de pulpa 2:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Agua (cm)	Tiempo (h:min)	Día
4.20	0.00	8:27	Lunes
4.10	0.10	9:27	Lunes
4.10	0.10	10:27	Lunes
4.00	0.20	11:27	Lunes
4.00	0.40	12:30	Lunes
3.90	0.50	13:28	Lunes
3.85	0.70	14:38	Lunes
3.80	0.80	15:33	Lunes
3.70	0.80	16:32	Lunes
3.70	0.90	17:29	Lunes
3.66	0.92	18:38	Lunes
3.59	0.98	19:33	Lunes
3.50	1.05	20:25	Lunes

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

$$V_s = \frac{\text{Altura Final Pulpa}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{3,50}{12} = 0,292 \frac{\text{cm}}{\text{hora}}$$

La Mezcla 2:1 posee una consistencia sumamente densa lo que demuestra que es desfavorable para su transporte, siendo propensa a estancamientos y taponamientos de las tuberías que serán su herramienta de transporte, esta pulpa posee una consistencia alta lo que significa una filtración existente pero mínima y su intervalo de secado comienza después de las primeras 12 horas al momento de retirar el exceso de agua.



Ilustración 3-30: Secado y compactación de la pulpa de relave.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Prueba 2 (Mezcla 2:1)

a) Secado de Muestra para conocer su Humedad

Se realiza el secado de una porción de muestra para conocer la humedad existente dentro de la misma, propiedad que influye directamente en la adición de líquido faltante para obtener la proporción adecuada en la mezcla.

Mh= 2021g

Ms=1518.17 g

$$\%H = \frac{Mh - Ms}{Mh} * 100$$

%H= 24.88% (Humedad)

%S=75.12% (Sólidos)

b) Densidad Aparente de muestra

Ph= 3000 g

Pmezcla= 988 (medidos en probeta)

V=500 ml (medidos en probeta)

$$\delta = \frac{Ps}{V} = 1,976 \frac{g}{ml}$$

c) Cálculo de la Proporción de agua Muestra Húmeda

Se realiza el cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la proporción requerida ya que el material de relave utilizado como muestra posee un porcentaje de humedad el cual influiría en el resultado de la mezcla o pulpa dispuesta para la realización de los diferentes ensayos.

- %Sólidos= 75.12%
- %Humedad= 24.88%
- Mh= 2021 g
- Agua en la Muestra= Mh*%H=502.82 ml de H2O
- Sólidos en la Muestra = Mh*%S= 1518.17 g
- Agua faltante para mezcla 2: 1 = $\frac{1518.17}{2} = 759 - 502.82 = 256.17 \text{ ml}$



Ilustración 3-31: Pesaje de Muestra para calcular su humedad.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

d) Cálculo de la Proporción de Cal

El cálculo de proporción de Cal es necesario para el relleno hidráulico ya que esta permite la estabilización de la pulpa teniendo en cuenta su secado, estabilización, resistencia, reducción de su plasticidad y mejorando la capacidad estructural del material de relleno dentro del área dispuesta a su utilización.

Peso óptimo= 0,75 Kg/Tn=g/kg de Cal por Kilo

$$\begin{array}{rcl} 1000 \text{ g} & & 0,5336 \text{ g/kg Cal} \\ 2021 \text{ g} & & x \end{array}$$

$$X = \frac{2021 * 0,5336}{1000} = 1.078 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \text{ de Cal}$$

e) Resultados prueba de Agitación (Mezcla 2:1)

Tabla 3-28: Segunda prueba de agitación de mezcla de relave 2:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad Específica	2.72	2.72	
Densidad Pulpa:	1690	1690	g/litro pulpa
% Sólidos	75.12%	75.12%	
Peso de mezclas (1:1)	2.82	2.82	kilos
Por cada Kilo de muestra	759	759	Cc H2O
Cal (Kg/Tm)	0	1.078	Gr por Kl de muestra (se toma en cuenta la humedad)
RPM	1400	1400	
Observaciones:	Homogeneidad en la pulpa durante agitación. Uso de deflectores. La	Mayor Homogeneidad durante agitación. Uso de deflectores. La	

	pulpa es concisa y con una fluidez intermedia.	pulpa es concisa y con una fluidez intermedia.	
--	--	--	--

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-32: Agitación de mezcla de pulpa en razón 2:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

f) Prueba de Filtración y Compactación de la Pulpa (Mezcla 2:1)

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\phi = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$
- Altura pulpa = 3.8 cm
- Altura muestra = 10 cm (Material de 3/8" y capa de fino en la parte superior, simula el piso existente en los caserones y frentes de avance)
- La pulpa 2:1 es homogénea, concisa y su densidad es alta.

Se realizó la toma de datos del comportamiento del material de pulpa de relave en razón 2:1 tomando en cuenta un intervalo de tiempo de **1hora**.

Tabla 3-29: Segunda Prueba de filtración y consolidación de mezcla 2:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Película de Agua (cm)	Agua filtrada (cm)	Tiempo (h:min)	Día	Observaciones
4.00	0.00	0.00	16:05	Sábado	
3.90	0.10	0.20	17:05	Sábado	El agua se filtra hacia el interior hasta llegar al piso del envase
3.80	0.20	0.30	18:07	Sábado	
3.75	0.20	0.50	19:09	Sábado	
3.68	0.20	0.53	20:05	Sábado	
3.57	0.30	0.55	21:05	Sábado	
3.50	0.30	0.66	22:03	Sábado	
3.40	0.35	0.70	23:28	Sábado	
3.30	0.40	0.80	00:08	Domingo	
3.20	0.45	1.20	01:05	Domingo	
3.10	0.45	1.20	02:07	Domingo	Pulpa se compacta de mejor manera por ejercer presiones y continua con la separación del exceso de agua en la mezcla.
3.10	0.50	1.40	03:10	Domingo	
3.00	0.50	1.60	04:15	Domingo	
2.90	0.55	1.85	05:06	Domingo	Pulpa se compacta de mejor manera por ejercer presiones y continua con la separación del exceso de agua en la mezcla.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

g) Prueba Slump (Mezcla 2:1)

Medidas Cono Slump

- Abertura= 16,5 cm= \emptyset
- Altura=30 cm
- Fondo= 10 cm= \emptyset

Tabla 3-30: Prueba Slump en mezcla de pulpa con razón 2:1.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Cal (0.75 kg/Tm por kilo)	0	1.078	gr, por kg de muestra
Resultado altura	2,6 cm	2.4	Centímetros.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022



Ilustración 3-33: Segunda prueba de Slump en mezcla 2:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

h) Prueba de Decantación y Velocidad de Sedimentación en mezcla 2:1

En la siguiente prueba se aplicó un estudio de la velocidad de sedimentación o separación de la pulpa compuesta de material de relave y agua, en la misma que surge un proceso de decantación por la diferencia de densidad existente entre dichos materiales, lo que permite conocer la compactación del material de interés y su alejamiento del agua sobrante posteriormente a la aplicación del Relleno Hidráulico dentro de la zona establecida

Datos del envase

- Área del envase: $243,28 \text{ cm}^2 = \pi r^2$
- $\varnothing = 17,6 \text{ cm}$
- $r = 8,8 \text{ cm}$

Tabla 3-31: Segunda prueba de sedimentación y decantación de mezcla 2:1.

Altura Pulpa (cm)	Altura Agua (cm)	Tiempo (h:min)	Día
5.50	0.00	08:27	Sábado
5.40	0.10	09:27	Sábado
5.40	0.10	10:27	Sábado
5.30	0.20	11:27	Sábado
5.20	0.40	12:30	Sábado
5.10	0.50	13:28	Sábado
5.10	0.70	14:38	Sábado
5.00	0.80	15:33	Sábado
4.90	0.80	16:32	Sábado
4.80	0.90	17:29	Sábado
4.40	0.92	18:38	Sábado
4.30	0.98	19:33	Sábado
4.15	1.00	20:19	Sábado
3.95	1.05	21:25	Sábado

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

$$V_s = \frac{\text{Altura Final Pulpa}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{3.95}{12} = 0.329 \frac{\text{cm}}{\text{hora}}$$

La Mezcla 2:1 posee una consistencia sumamente densa lo que demuestra que es desfavorable para su transporte, siendo propensa a estancamientos y taponamientos de las tuberías que serán su herramienta de transporte, esta pulpa posee una consistencia alta, lo que significa una filtración existente pero mínima y su intervalo de secado comienza después de las primeras 12 horas al momento de retirar el exceso de agua.



Ilustración 3-34: Secado y compactación de la pulpa de relave 2:1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

CAPITULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Resumen de resultados ensayos compresión uniaxial y análisis geomecánico

Se realizaron 4 ensayos con probetas diseñadas con el material rocoso del frente de explotación que dieron como resultado los siguientes valores:

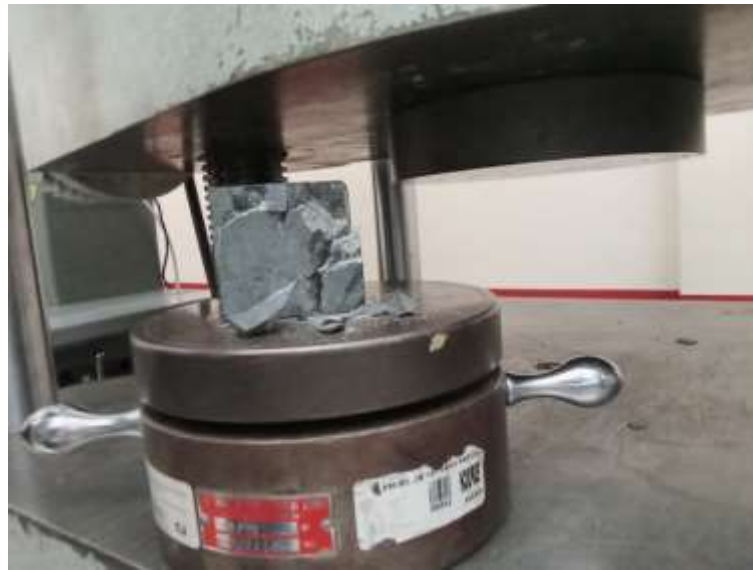


Ilustración 4-1: Ensayo de compresión uniaxial.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

Tabla 4-1: Resumen de ensayo de compresión uniaxial ASTM C-170.

Ensayo de Compresión Uniaxial ASTM C-170								
N.º Probeta	Arista x (mm)	Arista y (mm)	Arista z (mm)	Área (cm ²)	Kg	kgf/cm ²	RCU (Mpa)	RCU Media
1	51.00	50.00	52.80	25.50	13153.80	515.84	50.59	47.50
2	53.00	51.50	50.00	27.295	5910.89	216.56	21.24	
3	50.00	45.00	48.00	22.50	10840.90	481.82	47.25	

4	46.00	48.00	50.00	22.08	10058.30	455.54	44.67	
---	-------	-------	-------	-------	----------	--------	-------	--

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La tabla 4-1 demuestra la dureza de la Roca encontrada dentro de la zona de explotación minera “La China”, la misma que se encuentra en un rango medio. Se debe conocer el valor de esta característica del macizo rocoso para validar la probabilidad del uso de un sistema de relleno hidráulico con el fin de mejorar la productividad y la inestabilidad existente por la presencia de fallas, discontinuidades y cuñas en el macizo rocoso.

4.2 Resumen de resultados de los ensayos físicos con pulpa de relave.

Cabe recalcar que los ensayos se han realizado con pulpa de relave proveniente de planta luego de las actividades de concentración mineral por lo que no se ha agregado otro tipo de material que altere los resultados obtenidos.

A continuación, se plasmarán los datos obtenidos de los ensayos con mejor rendimiento y que se asemejen a las propiedades y requerimientos básicos pero que deberán ser mejorados para su aplicación en un sistema de relleno hidráulico:

1. Mezcla: La mezcla que posee las características de fluidez y densidad de pulpa es la que se efectuó en una relación 1.5:1 (relave; agua)

2. Análisis Granulométrico: del material de relave en su estado actual sin agregados:

D60=56.23

D10=13.24

Los resultados propuestos han sido obtenidos mediante la interpolación de los datos en la curva granulométrica del material de relave mediante la siguiente fórmula:

$$\log x = 10^{\left\{ \log x_1 + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} * \log\left(\frac{x_2}{x_1}\right) \right\}}$$

3. Coeficiente de uniformidad (CU):

$$\frac{D60}{D10} = \frac{56.23}{13.24} = 4.24$$

4. Gravedad Específica de mezcla 1.5;1: 2.72

5. Densidad aparente mezcla 1.5;1: 1.80 g/ml

6. **Densidad de pulpa:** 1616 g/L equivale al 76.45% en sólidos y el porcentaje sobrante es contenido de agua.

7. **Prueba de Agitación:** En la prueba de agitación se obtiene una pulpa con una mayor homogeneidad utilizando deflectores del agitador y a su vez $1,0623 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$ de Cal en la mezcla con relación 1.5;1.

8. **Prueba Slump:** En el caso de las pruebas de Slump tomando en cuenta las relaciones de mezclas 1:1; 1.5:1; 2:1.

La altura de la mezcla 1:1 tuvo un promedio de **0.32 cm** con el uso de Cal en **0,5336 g/kg de muestra**, por lo que la pulpa se encontraba en un estado en su mayor porcentaje líquido.

En el caso de la pulpa en relación 1.5:1 tuvo un promedio de altura de **1.92 cm** con el uso de Cal en proporción de **1.0623 g/kg de muestra** ya que la mezcla se encontraba con una homogeneidad adecuada y su estado plástico permitía la fluidez de pulpa y una consistencia adecuada.

Finalmente, la pulpa en relación 2:1 tuvo un promedio de altura **2.48 cm** con el uso de cal en proporción de **1,6008 g/kg de muestra**, el estado de la pulpa alcanzo una consistencia mayor, lo que generaba inconvenientes a la hora del transporte o movimiento de la misma que significaría al momento de su aplicación en un sistema de relleno hidráulico el estancamiento del material dentro de las tuberías.



Ilustración 4-2: Comparación de mezclas 1:1; 1.5:1; 2:1 prueba slump.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

9. Prueba de Percolación: Se tomará en cuenta a la mezcla de pulpa con mejor resultados y que se asemeja a las propiedades óptimas para el relleno hidráulico el cual es la mezcla 1.5:1 que posee una reducción de altura de la cama de la mezcla a razón **0.30 cm/hora**, se debe tener en cuenta la cantidad de mezcla utilizada y la altura de la pulpa dentro del envase para aplicar un criterio de valoración adecuado.

4.3 Resultados análisis químico del material de relave

El análisis químico demuestra como resultado la composición y la existencia de diferentes minerales en las muestras previamente analizadas, lo que permite evaluar tanto el proceso de concentración y a su vez analizar de forma semicuantitativa y semicualitativa las propiedades químicas de la pulpa de relave que posiblemente sea utilizada en un sistema de relleno hidráulico.

Tabla 4-2: Análisis semicuantitativo y semicualitativo de los minerales en fase cristalina.

MÉTODO: DETERMINACIÓN DE MINERALES POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X									
*MUESTRA	*MATER	CODIGO INTERNO	NONTRONITA, CLORITA, VERMICULITA, MONTMORILLONITA (%)	CUARZO (%)	CALCITA (%)	GRUPO K- FELDSPATO (ORTOCLASA, MICROCLINA, SANIDINA) (%)	PIRITA (%)	MOSCOVITA (%)	Fecha de fin del ensayo
			-	SiO ₂	CaCO ₃	KAlSi ₃ O ₈	Fe ²⁺ S ₂	KAl ₂ (AlSi ₄ O ₁₀)(OH) ₂	
			CONCENTRACIÓN (%)	CONCENTRACIÓN (%)	CONCENTRACIÓN (%)	CONCENTRACIÓN (%)	CONCENTRACIÓN (%)	CONCENTRACIÓN (%)	
OROCONCENT RELAVE-01	Relave	045-20220104-31	22,7	45,1	4,7	13,1	2,4	12,0	2022-01-21
OROCONCENT RELAVE-02	Relave	045-20220104-32	15,3	36,4	4,4	9,4	2,6	11,9	

Fuente: Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2022, pág. 1.

Realizado por: Sánchez, Jean, 2022

La tabla 4-2 demuestra el porcentaje de fases cristalinas dentro del material de relave que es el residuo resultante del proceso de concentración, demostrando las propiedades existentes en la veta mineral compuesta en su mayoría por cuarzo la misma que es extraída dentro de la zona “El Pique”, que tiene en sus futuras planificaciones la implementación o uso del relleno hidráulico para la estabilidad de sus frentes de explotación.

CONCLUSIONES

- En este trabajo técnico mediante la realización de los diferentes ensayos tanto del macizo rocoso que contiene la veta mineral en los frentes de explotación y a su vez del material de residuo del proceso de concentración mineral que es ubicado en los depósitos de relave, se ha llegado a la identificación de que la pulpa compuesta por relave y agua en proporción **1.5:1** posee la mayor similitud de propiedades necesarias para que la aplicación del relleno hidráulico sea aceptable.
- Los ensayos de compresión uniaxial y análisis geomecánico demuestra que existe una inestabilidad de la roca encajante ya que la misma tiene una calificación de resistencia de compresión uniaxial de **47.50** y una calidad de macizo rocoso de **50.15** lo que indica que la roca dentro de las zonas de explotación posee una dureza media, presentando un gran número de discontinuidades y a su vez la existencia de cuñas que como consecuencia generan diferentes presiones en la bóveda y paredes laterales del frente de explotación, lo que significa un incremento en el porcentaje de peligrosidad al momento de realizar las labores de extracción mineral y un aumento en el uso de relleno detrítico para la nivelación del piso de la zona de explotación. Por lo que se ha visto necesario la evaluación de la posible aplicación del sistema de relleno hidráulico como un acierto ya que existirá tanto un aumento en la producción, rentabilidad del proyecto, seguridad operacional, reducción de los costos, mejor rendimiento por hombre guardia, reducción del impacto ambiental y una disminución gradual del material existente en los depósitos de relave aumentando su vida útil.
- El análisis fisicoquímico de las muestras del material de relave demostró la existencia tanto de minerales de fase cristalina que contienen elementos polimetálicos en una cantidad de valor ínfima, así como el oro y la plata a los cuales se realiza el proceso de concentración. Dicho estudio demostró que se debe evaluar las características de estos elementos para demostrar si sus propiedades permitirán obtener las cualidades básicas para su aplicación como relleno hidráulico y a su vez conocer si necesita la mejora de las mismas mediante la adición de otro tipo de elemento para que al momento de ingresar o generar la pulpa de relave y agua se obtengan resultados efectivos.
- Mediante el análisis granulométrico efectuado entre la curva resultante de la tamización del material seco de relave con la curva de Talbot o de granulometría ideal define que se necesita adicionar una cantidad mayor de material grueso y fino que permita obtener una mejora en la consistencia del material en su compactación, velocidad de percolación, sedimentación,

secado y relleno intergranular concediendo un aumento de estabilidad al momento de aplicar la pulpa de relave como un sistema de Relleno Hidráulico.

RECOMENDACIONES

- Como resultado del análisis técnico del material de relave para su posible aplicación como relleno hidráulico se verifico que posee tanto ventajas como desventajas, lo que se recomienda realizar varios ensayos exhaustivos con la pulpa compuesta con relave y agua, añadiendo una cantidad de material tanto fino como grueso para que su curva granulométrica se asemeje a la curva de Talbot o de distribución ideal de partículas permitiendo mejorar las condiciones y propiedades de este material para su uso.
- Para evitar la inestabilidad de la bóveda en los frentes de explotación es necesario llevar un mejor relleno en cuanto a todos los espacios vacíos dejados tanto en niveles y subniveles en la explotación, obteniendo como resultado diferentes barreras geomecánicas y optimizando las condiciones de la roca presente en las zonas de extracción mineral, la cual posee una dureza media, y de esta manera se aumente la estabilidad del macizo rocoso.
- Se aconseja implementar una zona de ensayos con pulpa de relave a pequeña o mediana escala dentro del laboratorio de la empresa minera OROCONCENT. S.A que acceda utilizar materiales como cemento y cal los cuales poseen como cualidad el aceleramiento del secado de la pulpa, mejora en su compactación y aumentando su estabilidad al momento de usarlo en un sistema de relleno hidráulico.
- Se recomienda realizar un estudio de prefactibilidad y factibilidad técnica que genere resultados verídicos para conocer el valor financiero de la implementación de una planta de relleno hidráulico analizando cada uno de los puntos específicos de este tipo de estructura, desde el inicio de sus operaciones extrayendo el material de relave de su depósito hasta la llegada del mismo en forma de pulpa dentro del área que se ha establecido como punto de relleno.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR ZHIGUE, José Danilo. Plan estratégico para el desarrollo del turismo sostenible en el cantón Portovelo, provincia de El Oro 2015-2020. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad Técnica Particular de Loja, Portovelo, El Oro. 2017. pp, 6-9. [Consulta: 2022-04-05] Disponible en: <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/16467>

ANAYA, María. *Informe 6 Gravedad específica de los solidos* . [blog] [Consulta: 15 de Junio de 2022.] Disponible en: https://www.academia.edu/38360361/INFORME_6_Gravedad_especifica_de_los_solidos.

CABEZAS ARMELLON, Percy Mauro. Aplicación de Relleno Hidráulico para acelerar el ciclo de minado en la veta principal NV.310 - Empresa administradora Chungar S.A.C (EACH) Unidad minera Animón. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Pasco, Perú. 2016. pp 36-59. [Consulta: 2022-06-28] Disponible : <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/117>.

CARPIO HUAMAN, Luis Alfredo. "Proyecto de Explotación por Corte y Relleno Ascendente- Unidad Minera Paraíso Azuay-Ecuador". (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. 2018. pp 48-83. [Consulta: 2023-01-01] Disponible: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5114/MIhucala.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>.

CHOQUE ARPI, Luis. *Rellenos en minería*. [en línea]. 2022. Disponible en: https://www.academia.edu/33722149/Rellenos_en_mineria.

DUQUE, G; & ESCOBAR, C. *Relaciones Gravimétricas y Volumétricas del suelo*. [blog] [Consulta: 23 de Junio de 2022.] Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/geomecanica.pdf>.

ESPINOZA LABANDA, Juan Manuel . Identificación, evaluación y medidas de prevención de los riesgos mecánicos en el área de mantenimiento de la empresa minera OROCONCENT S.A.

de la ciudad de Portovelo. (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2015. pp 43-45. [Consulta: 2022-05-03] Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20977>

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN PORTOVELO. *Ubicación Geográfica* . [en línea] [Consulta: 25 de Abril de 2022.] Disponible en: <https://www.portovelo.gob.ec/ubicacion-geografica/>.

GOMEZ INADO, Jimmy Alberto & SANCHEZ LLERENA , Henry Jhulyano. Evaluación Técnica del Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. 2012. pp, 22-58.

GUEVARA BONILLA, Wilson Rodrigo. *Metalogénia del Distrito Minero Zaruma-Portovelo República del Ecuador* [en línea]. S.I. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires-Argentina, 2009. Disponible en: <https://vbook.pub/download/metalogenia-del-districto-minero-zaruma-portovelo-republica-del-ecuador-qwyv0z84ldwm>

HUAMÁN MONTES, Lázaro Wilder. Aplicación de relleno hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 2007. pp, 21-49. [Consulta: 2022-06-15.] Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/3182/Huaman_ml.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MARTINES L, Enrique & LIRA C., Leone0. Análisis y Aplicación de las Expresiones del Contenido de Humedad en Sólidos. Centro Nacional de Metrología. Simposio de Metrología [en línea] (2010), (Mexico) 5(1), pp 1-6. [Consulta: 17 junio 2022]. ISSN. Disponible: https://www.academia.edu/36566359/AN%C3%81LISIS_Y_APLICACIONES_DE_LAS_EXPRESIONES_DEL_CONTENIDO_DE_HUMEDAD_EN_S%C3%93LIDOS

SÁNCHEZ, L. et. al., *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD Municipal del Cantón Portovelo*, 2019.


Ing. Carlos Castillo



1217-UPT-DBRA-2023

ANEXOS

ANEXO A: VISITA INICIAL A LA MINA “EL PIQUE”.



ANEXO B: VERIFICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO.



ANEXO C: ZONA DE DEPÓSITOS DE RELAVE PARA MUESTREO.



ANEXO D: ÁREA DE DEPÓSITOS DE RELAVE SECO.



ANEXO E: PROCESO DE MUESTREO DEL MATERIAL DE RELAVE EN CAMPO.



Materiales utilizados para muestreo.



Creación de secciones de muestreo.



Toma de muestras por intervalos.



Cuarteo manual del material de relave.

ANEXO F: TAMIZACIÓN DE LA MUESTRA SECA DE RELAVE.



Proceso de Tamización.



Pesaje de tamices.



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Sánchez Rivera Jean Marco
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Minas
Título a optar: Ingeniero en Minas
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz


Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz



1217-UPT-DBRA-2023