

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



T E S I S

**Reclasificación de la Granulometría del relave para mejorar la eficiencia
del relleno hidráulico en los Tajos de la Minera Casapalca**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Difer SALCEDO CAPCHA

Asesor:

Mg. Teodoro Rodrigo SANTIAGO ALMERCÓ

Cerro de Pasco – Perú - 2023

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



T E S I S

**Reclasificación de la Granulometría del relave para mejorar la eficiencia
del relleno hidráulico en los Tajos de la Minera Casapalca**

Sustentada y aprobada antes los miembros del jurado:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA
PRESIDENTE

Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS
MIEMBRO

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA
MIEMBRO

DEDICATORIA

Dedico a Dios y a mis padres; por su apoyo constante e incondicional en mi desarrollo profesional, que han hecho posible esta tesis. A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

AGRADECIMIENTO

A los ingenieros de la minera Casapalca, por el apoyo incondicional en el desarrollo de la presente investigación ya que no hubiera sido posible su cristalización sin la participación de ellos.

Así mismo a mi asesor que con sus conocimientos y paciencia me ha orientado para culminar este trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “**Reclasificación de la granulometría del relave para mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca**” Se ha desarrollado con el objetivo de continuar mejorando todo el proceso del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca. La investigación se culminó gracias a la colaboración conjunta del Área operativa de relleno hidráulico.

En este ciclo de minado se tiene deficiencias en cuanto al tiempo de percolación del relave en los tajos, lo cual han sido tomados como línea base para realizar la comparación de los resultados.

El trabajo de investigación propone la reclasificación de la granulometría del relave producido por la planta concentradora para mejorar la dimensión de las partículas de relave que se transporta mediante tuberías para el relleno hidráulico de los tajos y de esta manera también mejorar la velocidad de percolación para acelerar el ciclo de extracción del mineral de los tajos de la minera Casapalca.

La reclasificación de la granulometría del relave se vio reflejado con el cambio del ápex de la batería de ciclones de 2” a 2.75” resultando una clasificación más óptima en cuanto a la dimensión de las partículas del relave y la velocidad de percolación teniendo en menor tiempo el piso del tajo en condiciones para continuar el ciclo de minado, con el cual se obtuvo una disminución de 48 horas a 36 horas, se obtuvo un aumento de la velocidad del ciclo de minado.

PALABRAS CLAVE: granulometría, percolación, relleno hidráulico.

ABSTRACT

This research work "Reclassification of tailings granulometry to improve the efficiency of hydraulic fill in the Casapalca mine pits" has been developed with the aim of continuing to improve the entire hydraulic fill process in the Casapalca mine pits. The investigation was completed thanks to the collaboration of the Hydraulic Fill Operational Area.

In this mining cycle there are deficiencies in terms of the percolation time of the tailings in the pits, which have been taken as a baseline to compare the results.

The research work proposes the reclassification of the particle size of the tailings produced by the concentrator plant to improve the size of the tailings particles that are transported through pipes for the hydraulic filling of the pits and in this way also improve the percolation rate to accelerate the ore extraction cycle from the Casapalca mining pits.

The reclassification of the particle size of the tailings was reflected with the change of the apex of the cyclone battery from 2" to 2.75", resulting in a more optimal classification in terms of the size of the tailings particles and the speed of percolation, taking less time. the floor of the pit in conditions to continue the mining cycle, with which a decrease from 48 hours to 36 hours was obtained, an increase in the speed of the mining cycle was obtained.

KEY WORDS: *granulometry, percolation, hydraulic filling.*

INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo de investigación: “**Reclasificación de la granulometría del relave para mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca**”, es optimizar el relleno hidráulico en los tajos de la mina; y demostrar que con la reclasificación de la granulometría del relave se mejora la velocidad de percolación del material.

En el capítulo I se describe el planteamiento del problema, delimitación de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y limitaciones de investigación.

En el capítulo II se describe el marco teórico detallando las características y propiedades del relave, granulometría, relleno hidráulico, el capítulo es muy importante para entender el fundamento teórico científico del trabajo de investigación.

En el capítulo III se describe la metodología de investigación.

En el capítulo IV se menciona todos los datos de campo aplicando la clasificación del relave detallando los parámetros y condiciones de la granulometría para el relleno hidráulico; posteriormente se realiza el análisis y discusión de resultados, comparando las eficiencias y rendimientos e indicadores obtenidos en datos de campo.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	2
1.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
	1.3.1. Problema principal.....	16
	1.3.2. Problemas específicos.....	16
1.4.	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	16
	1.4.1. Objetivo General.....	16
	1.4.2. Objetivos específicos.....	17
1.5.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	19
	2.1.1. Antecedentes nacionales	19
	2.1.2. Antecedentes internacionales	20
2.2.	BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS.....	21
	2.2.1. Sostenimientos en minería	21
	2.2.2. Análisis granulométrico	31
	2.2.3. Diámetro efectivo (D10)	32
	2.2.4. Velocidad de percolación (VP)	33

2.2.5. Comportamiento mecánico del relleno	33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	38
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	40
2.4.1. Hipótesis general	40
2.4.2. Hipótesis específicas	40
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	40
2.5.1. Variable Independiente	40
2.5.2. Variables Dependientes.....	40
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	41

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	43
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	44
3.5.1. Población.....	44
3.5.2. Muestra.....	44
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.7. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	45
3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	46
3.10. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA	46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	47
4.1.1. Muestras del relave de línea base.....	47
4.1.2. Muestras de Relave del Over Flow	51
4.1.3. Muestras del Relave del under flow	55
4.1.4. Muestra de relave para la velocidad de percolación.....	58

4.1.5. Muestra del relave reclasificado.....	59
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	68
4.2.1. Resumen de muestras con el ápex de 2”	68
4.2.2. Resumen de muestras con el ápex de 2.75”	69
4.2.3. Promedio de muestras de relave con el ápex de 2”	70
4.2.4. Promedio del tiempo de eliminación de agua de la muestra	72
4.2.5. Promedio de muestras de relave con el ápex de 2.75”	72
4.2.6. Análisis de granulometría con el ápex de 2” y ápex de 2.75”	74
4.2.7. Cálculo de la velocidad de percolación.....	77
4.2.8. Interpretación de resultados del análisis de granulometría	79
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS	80
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	4
FIGURA 2:GEOLOGÍA CASAPALCA.....	4
FIGURA 3:ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	8
FIGURA 4:SISTEMA GEOTÉRMICO OPERACIONES MINA.....	10
FIGURA 5:SISTEMA DE MINERALIZACIÓN	16
FIGURA 6:FASES SOLIDAS LIQUIDAS Y GASEOSAS EN EL MATERIAL DE R/H	28
FIGURA 7:CILINDRO DE PRUEBA	58
FIGURA 8:CILINDRO DE PRUEBA.....	67
FIGURA 9:ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN PESO	74
FIGURA 10: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN PORCENTAJE.....	75
FIGURA 11: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN PESO	76
FIGURA 12: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN PORCENTAJE.....	76
FIGURA 13: ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DE PERCOLACIÓN	78
FIGURA 14: CRONOMETRO.....	103
FIGURA 15: LAPTOP PARA REGISTRAR Y PROCESAR DATOS.	103
FIGURA 16: KIT DE CONTROL DE DENSIDADES.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: RELACIÓN DE VACÍOS DE TAJOS DE R/H.....	28
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE R/H SEGÚN LA HUMEDAD.	30
TABLA 3: FRICCIÓN INTERNA DE DIVERSOS MATERIALES	31
TABLA 4: RANGO DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE LOS MATERIALES	32
TABLA 5: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	41
TABLA 6: MUESTRA 1 (DENSIDAD 1, 200 GR./DM ³ .).....	48
TABLA 7: MUESTRA 2 (DENSIDAD 1, 220 GR./DM ³ .).....	48
TABLA 8: MUESTRA 3 (DENSIDAD 1, 210 GR./DM ³ .).....	49
TABLA 9: MUESTRA 4 (DENSIDAD 1, 200 GR./DM ³ .).....	49
TABLA 10: MUESTRA 5 (DENSIDAD 1, 225 GR./DM ³ .).....	50
TABLA 11: MUESTRA 6 (DENSIDAD 1, 215 GR./DM ³ .).....	50
TABLA 12: MUESTRA 7 (DENSIDAD 1, 250 GR./DM ³ .).....	51
TABLA 13: MUESTRA 1 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D= 1060 GR./DM ³	51
TABLA 14: MUESTRA 2 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D= 1040 GR./DM ³	51
TABLA 15: MUESTRA 3 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D= 1020 GR./DM ³	52
TABLA 16: MUESTRA 4 - CICLÓN KREBS DE 12'', ÁPEX DE 2.00 PULGADAS, D= 1005 GR./DM ³	52
TABLA 17: MUESTRA 5 - CICLÓN KREBS DE 12'', ÁPEX DE 2.00 PULGADAS,	

D= 1000 GR./DM ³	53
TABLA 18: MUESTRA 6 - CICLÓN KREBS DE 12'', ÁPEX DE 2 PULGADAS, D= 1005 GR./DM ³	53
TABLA 19: MUESTRA 7 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D= 1045 GR./DM ³	54
TABLA 20: MUESTRA 1 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D=2000 GR./DM ³	55
TABLA 21: MUESTRA 2 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D=2100 GR./DM ³	55
TABLA 22: MUESTRA 3 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D=2150 GR./DM ³	56
TABLA 23: MUESTRA 4 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D= 2200 GR./DM ³	56
TABLA 24: MUESTRA 5 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D=2100 GR./DM ³	57
TABLA 25: MUESTRA 6 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D=2050 GR./DM ³	57
TABLA 26: MUESTRA 7 - CICLÓN KREBS DE 12 PULGADAS, ÁPEX DE 2 PULGADAS, D=2150 GR./DM ³	58
TABLA 27:MUESTRA 1: DENSIDAD 1030 GR/CM ³	60
TABLA 28:MUESTRA 2: DENSIDAD 1010 GR./CM ³	60
TABLA 29:MUESTRA 3: DENSIDAD 1070 GR./CM ³	61

TABLA 30:MUESTRA 04: DENSIDAD 1090 GR./CM ³	61
TABLA 31:MUESTRA 5: DENSIDAD 1010 GR./CM ³	62
TABLA 32:MUESTRA 6: DENSIDAD 1060 GR./CM ³	62
TABLA 33:MUESTRA 7: DENSIDAD 1030 GR./CM ³	63
TABLA 34:MUESTRA 1: DENSIDAD 1670 GR./CM ³	63
TABLA 35:MUESTRA 2: DENSIDAD 1710 GR./CM ³	64
TABLA 36:MUESTRA 3: DENSIDAD 1650 GR./CM ³	64
TABLA 37:MUESTRA 4: DENSIDAD 1670 GR./CM ³	65
TABLA 38:MUESTRA 5: DENSIDAD 1710 GR./CM ³	65
TABLA 39:MUESTRA 6: DENSIDAD 1650 GR./CM ³	66
TABLA 40:MUESTRA 7: DENSIDAD 1680 GR./CM ³	66
TABLA 41:MUESTRAS DE RELAVE DE PLANTA	68
TABLA 42:MUESTRAS DE RELAVE DEL OVER FLOW	68
TABLA 43:MUESTRAS DE RELAVE UNDER FLOW	69
TABLA 44:MUESTRAS DEL OVER FLOW	69
TABLA 45:MUESTRAS DEL UNDER FLOW CON ÁPEX DE 2.75"	70
TABLA 46:MUESTRAS DEL RELAVE DE PLANTA.....	70
TABLA 47:MUESTRAS DE RELAVE DEL OVER FLOW	71
TABLA 48:MUESTRAS DE RELAVE DEL UNDER FLOW	71
TABLA 49:MUESTRAS DE RELAVE DEL OVER FLOW	72
TABLA 50:MUESTRAS DE RELAVE DEL UNDER FLOW	73

TABLA 51:ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA DE RELAVE DEL OVER FLOW	74
TABLA 52:ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA DE RELAVE DEL UNDER FLOW .	
.....	75
TABLA 53: COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA DEL UNDER FLOW CON ÁPEX DE 2" Y 2.75"	81

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.

La Mina Casapalca, es una de las empresas mineras que en la actualidad se encuentra optimizando todas sus operaciones de explotación. Así en el ciclo de las operaciones del relleno hidráulico de los tajos en la actualidad se utiliza demasiado tiempo debido a la baja densidad del relave que se envía de la planta de relleno hidráulico; así mismo el tiempo de percolación de la pulpa demora demasiado tiempo y todo ello hace que se retrase los ciclos de perforación, voladura, desate, saneamiento, carguío y limpieza de los tajos, influyendo en la limitación de la producción del tonelaje de cabeza de los tajos y por consiguiente también elevando los costos de producción. Por lo expuesto, es muy importante realizar el presente estudio de reclasificar el relave del proceso metalúrgico para mejorar la eficiencia de estas actividades esenciales en el ciclo de minado, con el objetivo de mejorar el rendimiento del relleno hidráulico de esta manera minimizar los tiempos de relleno del tajo y de la percolación del relave. Para ello se tiene la información de la granulometría y el proceso de clasificación de los

relaves producidos por la planta concentradora. Se plantea reclasificar el relave mediante un estudio de tamizaje del relave y adicionar hidrociclones cumpliendo los procedimientos y estándares de calidad de ejecución de trabajos de servicio mina.

Actualmente el rendimiento del tiempo de relleno hidráulico en los tajos se tiene un promedio de 17 horas un volumen de 300 metros cúbicos por día; en tres guardias de ocho horas se realiza el relleno hidráulico, realizando el cambio de guardia en la labor y el tiempo de percolación es de 14 horas. El compromiso de mejorar la eficiencia es reclasificando el relave para mejorar la granulometría y aumentar la densidad que llega a la mina, al mejorar este rendimiento del relave va conllevar a rellenar con mayor rapidez y tener una percolación en menor tiempo y como consecuencia aumentar la producción del tonelaje del mineral. Delimitación de la investigación.

1.2. Delimitación de la investigación.

Minera Casapalca

Historia

En sus orígenes, Minera Casapalca formó parte de la Empresa Backus y Johnston. Fue constituida en 1889; posteriormente, en 1919, fue adquirida por la compañía Cerro de Pasco Corporation, entonces de capitales norteamericanos; luego, a raíz de la nacionalización de esta empresa, pasa a formar parte de la empresa Minera del Centro del Perú - CENTROMIN PERÚ.

El 13 de octubre de 1986 se concreta la constitución legal de Compañía Minera Casapalca S.A., iniciando sus actividades el primero de enero de 1987. En 1987 se logra obtener las principales concesiones de CENTROMIN PERÚ, además de los yacimientos de pequeños mineros circundantes, lo cual marca el

primer paso para un desarrollo sostenido.

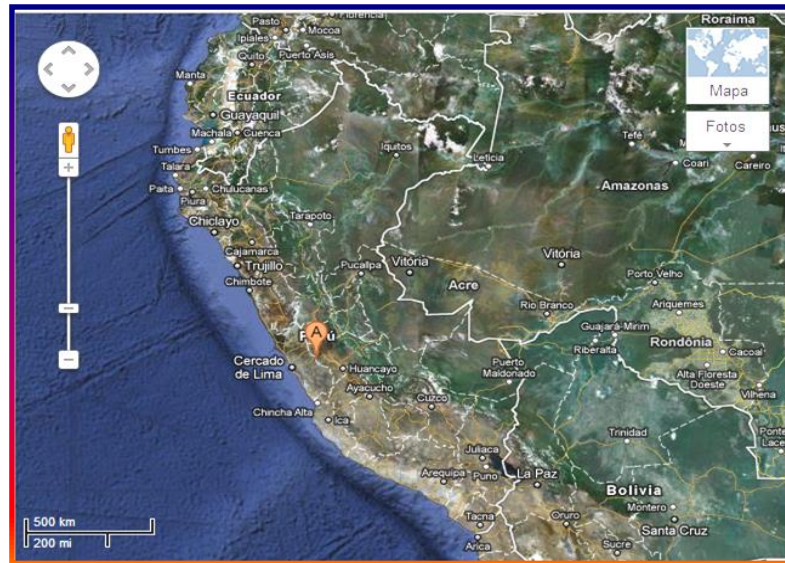
Por los peligros y riesgos existentes durante la operación minera que podría ocasionar los incidentes y accidentes, la empresa toma la decisión de minimizar los problemas y/o accidentes como: caída de roca, falta de ventilación, manipulación de materiales inadecuados, caída de personas, falta de implementos de seguridad, disparo fuera de horario, EPP's en mal estado entre otros.

La filosofía de la Compañía Minera Casapalca S.A., desde sus inicios siempre ha sido la de tener un crecimiento sostenido, superando las adversidades y creyendo firmemente en las capacidades del ser humano como impulsor del desarrollo y de la empresa como generador de riqueza y al mismo tiempo como gestor del progreso del país.

Ubicación y Accesibilidad

La Minera Casapalca se ubica en el Distrito de Chicla, Provincia de Huarochirí, Región de Lima. Geográficamente se localiza en la zona central, flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes, entre las coordenadas geográficas 11°30' Latitud Sur y 76° 10' de Longitud Oeste, a una altitud promedio de 4 250 m.s.n.m.

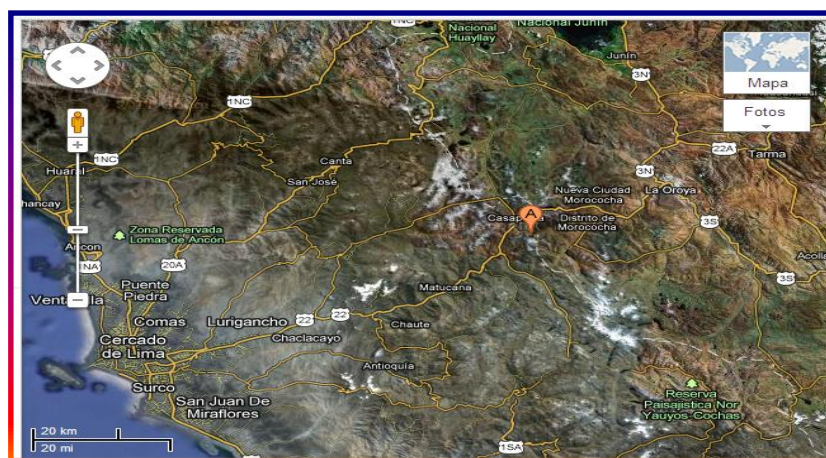
Figura 1: Ubicación y accesibilidad



Fuente: Área de geología

Desde la ciudad de Lima, el principal acceso a la Unidad Minera Casapalca es por la carretera central, ubicándose en el Km. 120 de la ruta 22, pasando por Chaclacayo, Chosica, Surco, Matucana, San Mateo y Chicla. El tiempo aproximado de viaje en auto es de 2:30 horas.

Figura 2: Geología Casapalca



Fuente. Área de Geología Casapalca

Características geomorfológicas

La Unidad Minera Casapalca, desde el punto de vista de la geomorfología se encuentra en el piso superior de la Cordillera Occidental de los Andes, entre los 3 600 a 5 000 m.s.n.m.

Los rasgos geomorfológicos son el resultado de procesos tectónicos (plegamientos y fallamientos), procesos exógenos (clima, precipitaciones pluviales, escorrentía superficial, etc.) concomitantemente con las características litológicas de las formaciones geológicas: Capas Rojas, Tablachaca, Carmen y fundamentalmente Carlos Francisco, los cuales han sido modelados, presentando una topografía agreste con zonas accidentadas y depresiones producto de la denudación y acción de los fenómenos meteorológicos, con una delgada cobertura de suelos.

Las estructuras preponderantes que han controlado el modelado de la región son las fallas y plegamientos, ocasionando el fracturamiento y dislocamiento de las formaciones rocosas. Las dos quebradas principales en el área de estudio son: por el norte la quebrada Corina y por el sur la quebrada El Carmen. Por estas quebradas discurren riachuelos de escaso caudal la mayor parte del año, salvo en los meses de lluvias. Los suelos presentan superficies con escasa cobertura vegetal.

El área de estudio se encuentra circunscrita en su mayor parte en la unidad geomorfológica regional denominado valle y un pequeño porcentaje en la región geomorfológica denominada zona de altiplanicies.

El distrito polimetálico de Morococha con una extensión de 5 por 6 km ocupa el centro del intrusivo Terciario con mineralización asociada de skarn, hornfels y brechas. Se desarrolla en sedimentos calcáreos del grupo Pucará del

periodo Jurásico sobre el flanco occidental del anticlinal regional con buzamiento (45-50 grados) localizado entre un gran intrusivo antiguo pre mineral andesítico (diorita) hacia el oeste y rocas volcánicas (Catalina) del periodo Pérmico – Triásico hacia el este a lo largo del eje del anticlinal regional.

Las unidades litológicas que afloran en el distrito de Morococha son tanto de naturaleza sedimentaria como ígnea y sus periodos oscilan desde el periodo Pérmico hasta el Terciario.

Las calizas del Grupo Pucará (Jurásico) fueron depositadas discordantemente sobre las rocas subyacentes del grupo Mitu (Catalina) (Proffet 2005). En general, los sedimentos Pucará están compuestos por calizas de color gris claro a blanco, calizas dolomíticas con interstratificaciones de lutitas, hornfels y areniscas. Dos flujos de lava se encuentran intercalados con las calizas, Basalto Montero y la traquita Sacracancha. El Basalto Montero actúa como un horizonte guía y se ubica cerca de la cima del grupo Pucará.

La anhidrita masiva y yeso en el fondo de la caliza Pucará está compuesta por capas de anhidrita, yeso, lutita y caliza que yacen sobre las rocas volcánicas de la formación Catalina en una aparente discordancia angular y a lo largo del intrusivo pórfido feldespático y la granodiorita.

Estructuras

La principal estructura regional característica de la región es el domo de Yauli que se extiende por 30 km desde San Cristóbal hasta Morococha con un rumbo general de N35°O. En el distrito de Morococha, la principal estructura es el anticlinal de Morococha, que es la porción norte del domo de Yauli. El anticlinal de Morococha es un pliegue asimétrico con los volcánicos Catalina

como núcleo. El eje del anticlinal tiene un rumbo de N20°O al norte del distrito con inclinación de 10° a 15° hacia el norte. El buzamiento del flanco oeste se encuentra en el rango de 20° a 30° y el flanco este entre 30° y 40°. Existen dos anticlinales secundarios a lo largo de los flancos este y oeste del anticlinal de Morococha respectivamente.

Mineralización en el distrito de Morococha

Una amplia variedad de cuerpos minerales ha sido formada en las rocas ígneas, sedimentarias y las rocas encajonantes metamórficas del distrito de Morococha. La mineralización diseminada y tipo *stockwork* fue depositada en los stocks de granodiorita, pórfido cuarcífero de San Francisco, Gertrudis y San Miguel.

Los mantos de sulfuros masivos fueron formados paralelamente a la estratificación de las calizas del Pucará marmolizadas y silicatadas primeramente sobre el lado oriental del anticlinal. Las vetas más continuas mineralizadas se desarrollaron a lo largo de las fracturas de tensión en los volcánicos Catalina y en las rocas intrusivas. Los cuerpos mineralizados se formaron alrededor de los stocks San Francisco y Gertrudis a lo largo de los contactos con la caliza Pucará.

Los minerales de mena primarios más abundantes en las vetas y mantos son: calcopirita, tetraedrita, enargita, esfalerita y galena y los minerales de ganga comunes son: pirita, magnetita, cuarzo, carbonatos y anhidrita.

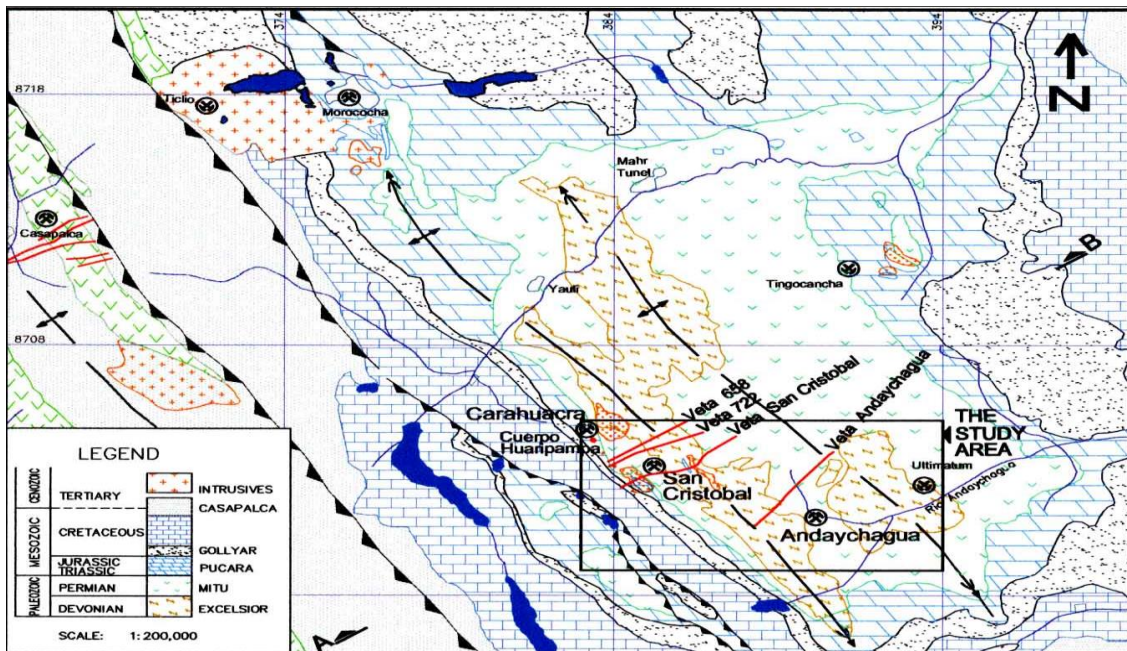
Proceso geomorfológico regional

El modelamiento geomorfológico es un proceso directamente relacionado con la naturaleza de las rocas existentes, relacionado con los fenómenos

meteorológicos, que lo modelan en mayor o menor grado, originando las diferentes formas en función de la naturaleza de las rocas preexistentes y el grado de persistencia de los fenómenos externos.

En las diferentes etapas del proceso geológico de la tierra han ocurrido eventos de gran magnitud, que han marcado diversos estadios, con características específicas y particulares, las cuales se describen a continuación en forma generalizada.

Figura 3: Estructuras mineralizadas



Fuente. Área de geología.

Morfogénesis terciaria

La fase Quechuana de la Orogenia Andina, ocurrida en el Mio-plioceno originó el levantamiento de la Cordillera de los Andes, particularmente del Macizo Cordillerano Oriental, levantando las estructuras rocosas desde alturas moderadas hasta sus actuales ubicaciones.

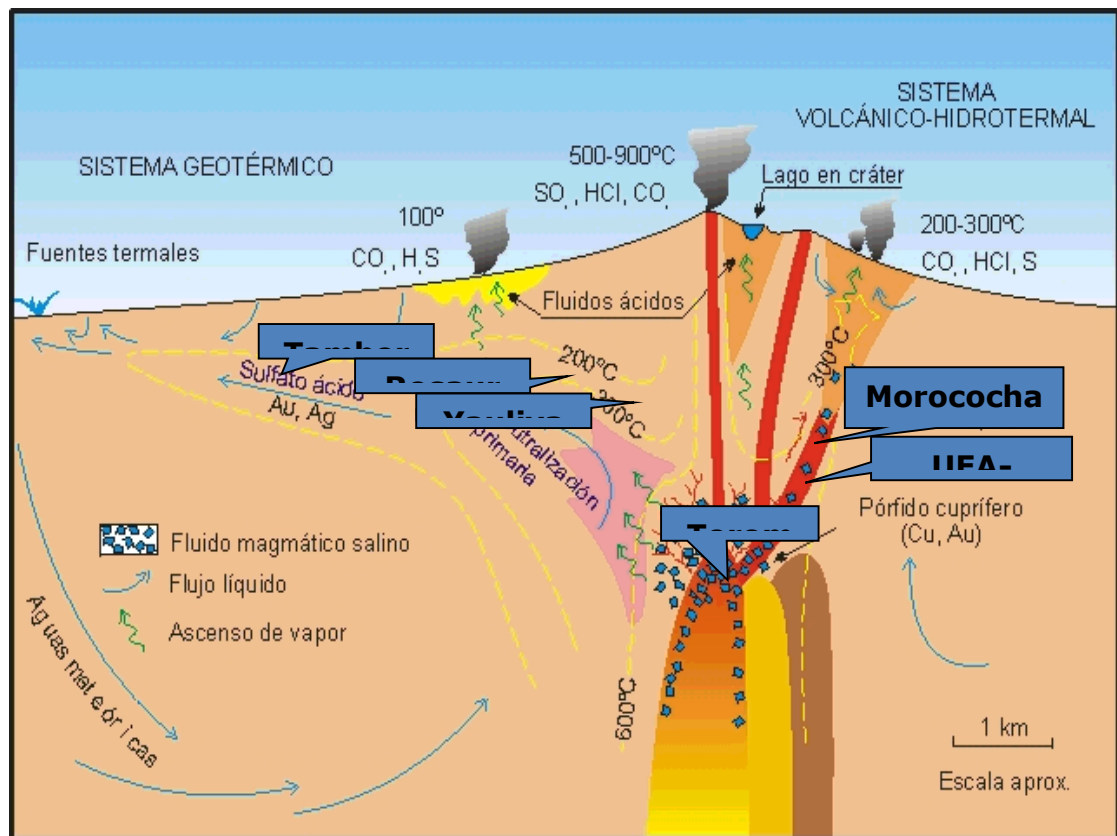
El incremento generalizado de las pendientes regionales producido por el brusco levantamiento, dio lugar a una intensa disección del relieve por parte de los cursos de agua, definiendo el drenaje y orientación de los cursos de agua hacia las diferentes cuencas.

Morfogénesis cuaternaria

Las grandes oscilaciones climáticas ocurridas en el Cuaternario antiguo, específicamente en el Pleistoceno, influyeron decisivamente en la configuración y modelamiento de los rasgos morfológicos de la Cordillera de los Andes.

Las acumulaciones aluviales y morrénicas se originaron en esta época, como consecuencia de las grandes precipitaciones pluviales y el deshielo de las grandes masas de hielo, esto debido a que, durante las pasadas glaciaciones, las cumbres más altas de los andes orientales estuvieron cubiertas por mantos de hielo y, las zonas peri glaciares y templadas descendieron a altitudes bastante más bajas que las actuales. Muchas acumulaciones aluviales y torrenciales de los fondos de valles interandinos tienen origen en esta época.

Figura 4: Sistema geotérmico operaciones mina



Fuente. Área de geología

Geología y estructuras

A. Geología de la mina Casapalca

La mineralogía está constituida por esfalerita, galena, tetraedrita y calcopirita como minerales de mena de mayor abundancia, los minerales de ganga están representados principalmente por pirita, calcita y cuarzo. La alteración hidrotermal de las rocas encajonantes es silicificación, piritización y propilitización a cierta distancia de ellas.

B. Estratigrafía

- **Formación Casapalca:** Constituye la formación más antigua que aflora en el área. Forma el amplio anticlinal Casapalca, que es cortado por el río Rímac

y comprende una serie de rocas sedimentarias de ambiente continental. Esta formación ha sido dividida en dos miembros

- **Miembro Capas Rojas:** Este miembro se caracteriza por presentar intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas, presentando el conjunto coloraciones rojizas debido a finas diseminaciones de hematita. Las areniscas son de grano fino a grueso y comúnmente se observa una débil estratificación.
 - **Miembro Carmen:** Sobre yaciendo a las capas rojas se encuentra una serie de paquetes de conglomerado y calizas intercaladas con capas de areniscas, lutitas, tufos y conglomerados volcánicos con una potencia que varía de 80 a 200m. Los conglomerados que también se presentan en lentes, están compuestos de guijarros y rodados de cuarcitas y calizas en una matriz areno-arcillosa y cemento calcáreo.
- **Formación Carlos Francisco:** Se encuentra sobre las rocas sedimentarias y se constituye en una potente serie de rocas volcánicas. Esta ha sido dividida en tres miembros.
- **Miembro Tablachaca:** Se encuentra sobre yaciendo al miembro Carmen y se constituye en una sucesión de rocas volcánicas formadas por tufos, brechas, aglomerados y rocas porfiríticas efusivas. Localmente presenta niveles de conglomerado.
 - **Miembro Carlos Francisco:** Sobre el miembro Tablachaca se encuentra los volcánicos Carlos Francisco que consisten de flujos andesíticos masivos y fragmentados (brecha). Las capas de brecha consisten de fragmentos porfiríticas angulares generalmente verdosos, incluidos en una matriz de roca porfiríticas que varían de gris oscuro a

verde. Los fenocristales de feldespatos son conspicuos y alterados a clorita y calcita.

- **Formación Bellavista:** Esta formación consiste de capas delgadas de calizas de color gris con algunas intercalaciones de calizas gris oscura con nódulos de sílice, tufos de grano fino y lutitas rojizas.
- **Formación Río Blanco:** Sobre la formación Bellavista descansa una potente serie de volcánicos bien estratificados que consisten en tufos de lapilli de color rojizo con intercalaciones de brecha y riolitas. Algunas capas de calizas ocurren en la parte inferior de la formación.

Materiales estratigráficos en la mina Casapalca

MAGMA. (Geol):

Fundido rocoso formado principalmente por silicatos, óxidos y otras especies que contienen gran cantidad de gases que constituyen la fricción volátil (dióxido de carbono, hidrogeno, flúor, ácido clorhídrico, etc.) y cristales y fragmentos de rocas que forman la fracción sólida. Los magmas por cristalización y solidificación dan lugar a las rocas ígneas. La fracción volátil procede esencialmente de los gases y vapores de la zona donde se genera el magma y, en menor escala, de los que ha ido incorporando durante su ascenso. La fracción sólida de un magma procede fundamentalmente del propio fundido, ya que una parte del mismo cristaliza durante su ascenso a zonas superficiales, algunos magmas pueden contener restos de materiales a partir de los cuales se han generado, así como de aquellos que ha atravesado en su ascenso. El magma se encuentra en la astenosfera y en las zonas más profundas de la litosfera. Puede ascender rápida mente a la superficie (efusión) o cristalizar en el interior de la

litosfera en un ascenso lento. Atendiendo a su composición, los magmas se clasifican en ácidos, intermedios básicos y ultra básicos.

- **Magmas ácidos:** Contienen más del 55% de sílice, elevado contenido en Al y muy pobre en Fe Mg: son ligeros y viscosos, siendo su temperatura media de 850°C.
- **Magmas intermedios:** Contienen entre el 55-50% de sílice, presentan un contenido medio de Al, Fe y Mg, son semi viscosos y su temperatura media ronda los 1.000°C.
- **Magmas básicos:** Contienen menos del 50% de sílice, son líquidos presentan un elevado contenido en Fe y Mg pero un bajo contenido en Al y la temperatura es de unos 1.200°C.
- **Magmas ultra básicos:** Con contenido en sílice menor al 40% elevado contenido en Fe y Mg muy bajo en Al es muy líquido y su temperatura es de más de 1.200°C. Cuando las condiciones tectónicas son adecuadas los magmas ascienden hacia capas superiores de la litosfera terrestre, saliendo a la superficie en forma de lavas y gases (vulcanismo). En otros casos los magmas se consolidan en el interior de la litosfera terrestre (plutonismo).

Magnetita. (Miner)

Mineral compuesto por óxido de hierro (Fe_2O_3), cristaliza en el sistema cúbico, densidad 5,2, dureza 5,5, ligero de agua. Las sales que se encuentran en las aguas proceden del lavado de las rocas que atraviesan (entre las sales más abundantes figuran carbonatos sulfatos y cloruros). La mayoría de los manantiales están alimentados generalmente por aguas subterráneas de origen atmosférico. Existen manantiales cuyas aguas proceden de zonas profundas de la

mineralización, como los géiseres.

Marga. (Geol):

Roca sedimentaria intermedia entre arcillas y calizas, constituido por carbonato cálcico y por minerales de arcilla. Son rocas blandas y fácilmente disgregables. El contenido del carbonato cálcico de las margas varía entre 20% y el 80% existiendo series con elementos de paso de las arcillas y las calizas (margas arcillosas y calcáreas, respectivamente). Son de color gris entre oscuro y claro parduzco verdoso; textura clástica de grano finísimo a fino, con escasos gránulos distinguibles a simple vista. Son frecuentes en estas rocas: estructuras sedimentarias, fósiles y concreciones. El ambiente geológico de formación de las margas corresponde a depósitos marinos o lacustres de material clástico que ha experimentado un prolongado transporte y se ha mezclado con residuos organógenos (caliza) o con productos de precipitación química.

Geología estructural

Las unidades estratigráficas en el distrito están plegadas, teniendo sus ejes en rumbo general de N20°O, lo que hace que sean casi paralelas al lineamiento general de los Andes. La estructura de mayor importancia es el Anticlinorium Casapalca que presenta pliegues (sinclinales y anticlinales) asimétricos.

En el área se encuentran tres grandes fallas inversas conservando cierto paralelismo entre sí, estas fallas son: Infiernillo con rumbo N38°O y buzamiento de 70° al SO, Rosaura de rumbo N43°O y buzamiento 80° al SO (presenta mineralización), América con rumbo N38°O y buzamiento 80° al NE. La falla Río Blanco en la parte SO del distrito tiene un rumbo cerca de N35°E paralelo al

sistema de las vetas M y C. En subsuelo la Gran Falla de rumbo N55°O, desplaza a las vetas siendo dicho desplazamiento ligeramente mayor en profundidad.

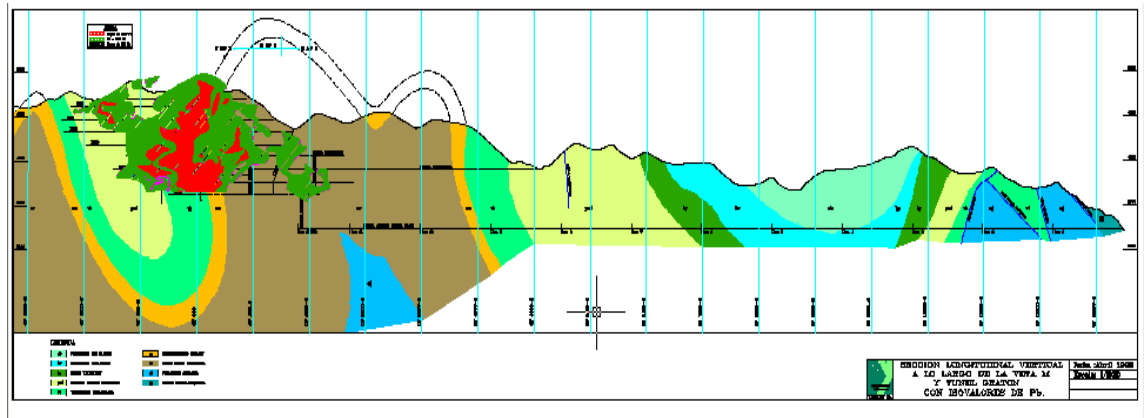
A. Mineralización

La mineralización de la mina Casapalca se presenta en:

- **Vetas:** Han sido formadas por el relleno de fracturas. En superficie, la estructura más importante tiene una longitud aprox. De 5 Km. De los cuales 4 Km. Han sido ya explotados en subsuelo. Verticalmente la mineralización es conocida en un encampane de 2000m. Las vetas son angostas, generalmente menores de 1.00 metro de ancho.
- **Cuerpos:**
 - a) Stockwork y diseminaciones laterales a las vetas.
 - b) Vetillas y diseminaciones concordantes con la estratificación de areniscas y conglomerados.
 - c) Sulfuros masivos concordantes con niveles de conglomerado.

La mineralización está en todos los tipos de rocas: en limonitas del miembro Capas Rojas, en conglomerado del miembro Carmen, tufos del miembro Tablachaca, andesitas del miembro volcánico Carlos Francisco y calizas de la Formación. Bellavista. Las vetas tienen un rumbo de N30°E y N80°E con buzamientos de 60° a 80° NO.

Figura 5: Sistema de mineralización



Fuente. Area de geología

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿Es posible mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿La reclasificación de la granulometría del relave permitirá mejorar la dimensión de las partículas del relave para el relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca?
- b) ¿La reclasificación de la granulometría del relave permitirá mejorar la velocidad de percolación para el relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Mejorar la dimensión de las partículas del relave para el relleno hidráulico de los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.
- b) Mejorar la velocidad de percolación para el relleno hidráulico de los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.

1.5. Justificación de la Investigación

En estos últimos tiempos se cuenta con nuevos estándares en los procesos de explotación de minerales. Esto exige que el ciclo de minado sea cada vez más eficiente con alta productividad por lo que es muy imprescindible renovar, implementar y aplicar técnicas que optimicen todo proceso de minado. Esto es posible con la mejora continua para lograr nuevos radios de avances y costos que garanticen el cumplimiento del programa de un periodo con mayor productividad y mínimo costo que es la visión de toda empresa.

La investigación que presento tiene como objetivo evaluar técnicamente los resultados de la reclasificación de la granulometría de los relaves producidos por la planta concentradora de la mina Casapalca para lograr mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en cuanto a los tiempos de demora de relleno en los tajos y el tiempo de percolación de la pulpa que se tiene en la actualidad. Así mismo que sirva de modelo para el estudio, análisis y aplicación de otras empresas mineras y como base de otras investigaciones.

1.6. Limitaciones de la investigación

Una de las posibles limitaciones de la investigación, puede ser el acceso

limitado a la información de rendimientos anteriores del relleno hidráulico que buscan determinar la eficiencia técnica de este proceso.

Otra limitación no se tiene ya que la base datos constituye de los trabajos de campo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Antecedentes nacionales

- **Arapa, R. (2018).** De la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. En su investigación “Planificación del Relleno Hidráulico a corto plazo en minería subterránea – Unidad minera San Rafael – MinSur S.A”, revisa los fundamentos del relleno hidráulico para optimizar la planificación en minería subterránea. Además, para confeccionar el plan toma datos iniciales que dan forma al programa de producción, considera la siguiente información: programa de equipos para relleno hidráulico, programa de mantenimiento de planta, requerimiento mínimo del volumen de relave, como también las operaciones unitarias asociadas apoya a la secuencia operativa, obteniendo un plan con la consistencia necesaria.
- **Vilca, C. (2016).** De la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, en su tesis “Diseño e implementación del relleno hidráulico en el método de

explotación corte y relleno ascendente, para incrementar la producción – Minera Chalhuane SAC” evalúa la eficiencia del relleno hidráulico en el método de minado de la producción de minerales y los costos de producción. Ya que el actual método de minado Cut & Fill no ha demostrado los resultados programados, lo cual es causa por las vetas angostas de la unidad minera. Por ello, plantea una posible solución al problema con la implementación del relleno hidráulico en el método de minado Corte y relleno ascendente. Como conclusiones de la investigación, se tiene las condiciones geomecánicas de la roca en la veta tiene un RMR en mineral 55, Caja piso 65, Caja techo 60 lo que hace factible la implementación y diseño del método de explotación. La explotación por el método del corte y relleno ascendente resultó ser más económico en la mayoría de las operaciones. Asimismo, mejora la seguridad del personal, ya que no se requiere de mayores esfuerzos por medio de trabajos de fortificación para asegurar la estabilidad de las labores con el método de minado seleccionado.

2.1.2. Antecedentes internacionales

- **Jorquera, M. (2015).** de la Universidad de Chile, en su tesis “Método de explotación Cámaras y Pilares y su aplicación del relleno hidráulico en minera MICHILLA” realiza su investigación en las zonas más profundas de la mina (D4 y ABW inferior) donde se tiene un elevado costo en la explotación de los minerales con el método Cut and Fill, teniendo la necesidad de utilizar métodos alternativos para reducir los costos operativos. La investigación evalúa la aplicación del relleno hidráulico como solución al problema de costos. El método considera dos tipos de cámaras, primaria y secundaria,

ambas cámaras poseen una altura de 6m, siendo el ancho de estas 7m y 9m respectivamente también considera una losa de 8m de altura entre dos niveles para asegurar la estabilidad de las labores. El autor de la investigación realiza la simulación del diseño a través de un modelo computacional con parámetros del método de explotación, se estimó que el costo del método Bench and fill tiene un costo mina de 34,3 US\$/TM.

- **Lain, C. (2015).** De la Universidad Politécnica de Madrid, en su tesis “Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos de pasta de la mina subterránea de aguas teñidas Huelva, España”, desarrolla su investigación para comprender el comportamiento de la distribución de tensiones de los rellenos en pasta y calcular la estabilidad de las paredes de pasta en las cámaras primaria y secundaria. Llegando a la conclusión que para utilizar el relleno en pasta para el sostenimiento en minería subterránea hay que tener en cuenta el cálculo de los parámetros de diseño, la optimización de la granulometría y la mezcla; como también las cualidades de bombeo y la operación de transporte al interior mina. Los gastos de esta operación minera son importantes ya que pueden representar hasta un 20% del costo de minado. Finalmente concluye que la granulometría y la densidad de la pulpa son parámetros muy relevantes en todo el proceso del relleno hidráulico.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Sostenimientos en minería

El sostenimiento facilita la interacción terreno-sostenimiento se debe realizar un “saneamiento” del terreno área a sostener, el cual es muy importante eliminar las rocas sueltas que puedan existir en la excavación. El saneamiento se efectúa mediante

medios manuales (barra de hierro) o mecánicamente (martillo hidráulico) y se considera saneado cuando el sonido de la roca es a metálico.

La mejor práctica es realizar el saneo después de cada voladura o extracción de mineral; todas las vibraciones producidas por la percusión del equipo abren las discontinuidades y genera cuñas de rocas inestable. El saneo debe iniciarse siempre desde un lugar seguro ya sostenido y progresivamente se desarrolla hacia el frente, no se debe ubicar bajo la zona no saneada. También después de la extracción de minerales de los tajos es necesario realizar el sostenimiento con relleno hidráulico o detrítico para tener estabilidad de la zona extraída.

2.2.1.1. Relleno Hidráulico

Es un método para el sostenimiento de los tajos explotados por los diferentes métodos de extracción de mineral; es utilizada en las empresas mineras del Perú desde la década de los años 60, este método de sostenimiento permite incrementar la producción por cada corte de extracción de mineral, es mucho más productivo que el relleno hidroneumático y el relleno detrítico; con la implementación del relleno en pasta, en la actualidad en muchos casos reemplaza a los otros métodos de sostenimientos para tajos, como al relleno detrítico transportado con diferentes equipos, desde la superficie hasta los tajos esto representa un costo mucho más elevado en comparación con los métodos de sostenimiento con el uso de relave, cemento, aditivos y agua que se efectúan transportando los sólidos en medios fluidos por tubería e impulsados por bombas.

Este método de sostenimiento con el uso del relave tiene dos

objetivos: El primero tiene como objetivo de tener un piso de trabajo plano y firme para ejecutar las operaciones de perforación, la voladura y la limpieza del mineral y como segundo objetivo es del sostenimiento artificial para que los tajos explotados no colapsen debido al incremento de áreas abiertas.

El sostenimiento con el uso del relave es parte de las operaciones de minado del ciclo de los diferentes métodos de explotación puede ser ascendente o descendente. Esta etapa de preparación del sostenimiento con relave representa un 31% a 35% del tiempo empleado dentro de las etapas de minado.

La producción de los tajos requiere continuidad mínima en el tiempo todas las operaciones que se deben ejecutar en el ciclo de minado, para ello en este tipo de sostenimiento se debe controlar varios factores como la dimensión de la granulometría, su velocidad de percolación del sólido y el índice de permeabilidad.

Este tipo de sostenimiento es la cantidad parcial de relave clasificado proveniente del proceso metalúrgico de los minerales en otros casos provienen de material estéril previamente sometido a un proceso de chancado, molienda y cicloneo.

Lo más común es utilizar el relave desechado por la planta concentradora que mediante ciclones se clasifica el relave, de los cuales la granulometría de la pulpa que son mayores a la malla 200, este sólido se transporta a un tanque con agua que se agita mediante un mezclador. Esta combinación de la pulpa del relave clasificado con el agua es el denominado el relleno hidráulico, la pulpa es accionado por bombas

diseñadas para sólidos para que pueda ser transportado mediante tuberías de acero o PVC altamente resistentes a la presión, con la pared interior de acero de alta aleación. La capacidad de la bomba y el diámetro de la tubería es calculada de acuerdo a las condiciones y requerimientos de cada mina; también el costo de adquisición, instalación y operación obedecen a parámetros muy diferentes por cada caso.

La pulpa con una granulometría menores a la malla 200, que son producto de la clasificación de los ciclones, son transportados a los sumideros o canchas de relaves.

Ventajas del relleno hidráulico

- a) Al utilizar el relave de la planta concentradora el costo del material es cero, ya que la planta cubre los costos de reducción de tamaño del material.
- b) Al utilizar el material detrítico del avance de las labores de preparación y desarrollo se maximiza la vida útil de las desmonteras y asimismo se controla el impacto ambiental.
- c) El transporte de la pulpa mediante tuberías es más económico, eficiente y rápido en comparación con otro tipo de transporte.
- d) Al depositar el relleno hidráulico en el tajo como pulpa este tiende a buscar su nivel de manera natural, no teniendo la necesidad de utilizar recursos adicionales para esparcirlo manual o mecánicamente.
- e) El relleno hidráulico por tener una granulometría clasificada es de fácil control que permite una alta resistencia al movimiento de las cajas.
- f) El relleno hidráulico aumenta la eficiencia y productividad en los tajos debido a la disminución del consumo de madera y a la reducción del costo de minado por la versatilidad que brinda.

Desventajas del relleno hidráulico

- a) Este sistema del relleno hidráulico para el inicio requiere de una alta inversión, por ello es necesario contar con el fondo financiero para su aplicabilidad.
- b) El caudal considerable de agua que acompaña al relleno a la mina es un gran problema si en caso de que el drenaje se efectúa por bombeo.
- c) Cuando el material componente de la pulpa tiene contenidos altos de pirita, al oxidarse estos sulfuros producen una reacción exotérmica el cual aumenta la temperatura y se produce el anhídrido sulfuroso.
- d) El agua de drenaje del relleno normalmente arrastra una cierta cantidad de finos, este material se deposita en los niveles inferiores.

Características del material del relleno hidráulico

Las características más importantes de los sólidos que influyen en su transporte son:

- **Gravedad específica de los sólidos:** Es la relación entre el peso específico del sólido y el peso específico del agua. Por ejemplo, los sólidos que con mayor frecuencia se transporta son:

Material Solido	Gravedad Especifica
Asfalto	1.05
Carbón	1.40
Fosfato	2.70
Caliza	2.70
Concentrado De Cobre	4.30
Mineral De Hierro	4.90

- **Tamaño máximo de las partículas:** Por la gravedad las partículas de mayor tamaño tienden a sedimentarse más rápido que las partículas menores, es muy importante conocer el tamaño máximo de las partículas sólidas para poder calcular la velocidad máxima de sedimentación que tendrán. Las partículas sólidas que se tiene en una pulpa son:

Material solido	Gravedad especifica	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

- **Dureza de los sólidos:** Este factor es importante ya que determina el tipo y material del equipo que se va a utilizar en su transporte. Líneas abajo se puede observar el grado de dureza de los materiales sólidos en la escala de Mohs.

MATERIAL	ESCALA DE 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)

- La abrasividad del material sólido tiene una relación directa con la escala de Mohs:

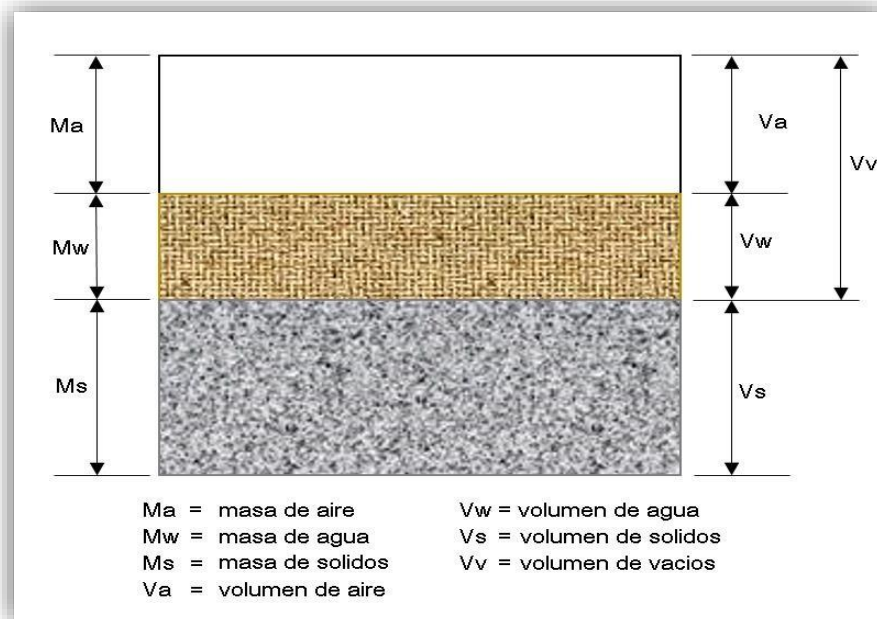
Escala de MOHS	La abrasividad
1-3	No abrasivo
3	ligeramente abrasivo
4-6	Medianamente abrasivo
7-9	Altamente abrasivo

Propiedades físicas y mecánicas del relleno hidráulico

Porosidad: Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del material. Si la porosidad se expresa en porcentaje (%), se denomina porcentaje de vacíos.

$POROSIDAD(n) = \text{Volumen de vacíos} / \text{Volumen total del material}$.

Figura 6: Fases solidas liquidas y gaseosas en el material de R/H



Fuente. Área de relleno hidráulico.

Relación de vacíos (E)

Esta dada por la siguiente expresión:

$$E = Vv / Vs$$

Los valores de “E”, para el relleno hidráulico generalmente varían

los valores que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1: Relación de vacíos de tajos de R/H

RELLENO	RELACION DE VACIOS (e)
Arenosos	0.6 – 0.9
Areno-arcillosos	0.8 – 1.6
Arcillosos	1.5 – 2.5

Fuente. Elaboración propia

Donde la relación de vacíos máxima esta expresado:

$$E_{max} = \frac{S_s}{D_{min}}$$

Donde:

S_s = Gravedad especifica de solidos (TM/m³)

D_{min} = Densidad mínima (TM/m³)

La relación de vacíos mínimo (E_{min}), se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

S_s = Gravedad especifica de solidos (TM/m³)

D_{min} = Densidad mínima (TM/m³)

W = Porcentaje de humedad con la que se determina la densidad máxima.

Contenido de humedad (W)

Expresado por:

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

Mw = Masa de agua

Ms = Masa de solidos

Grado de Saturación (Sr)

Definido por:

$$Sr = \frac{V_w}{V_v} (100)$$

Para las arenas se tiene la siguiente clasificación por su contenido de humedad:

Tabla 2: Clasificación del material de R/H según la humedad

Condición arena	W (%)
Seca	0
Ligeramente húmeda	1 – 25
Húmeda	26 – 50
Muy húmeda	51 – 75
Mojada	76 – 99
Saturada	100

Fuente. Elaboración propia.

Cohesión (c)

Determinada por la atracción existente entre las partículas de un suelo, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. La cohesión de un relleno variará si cambia su contenido de humedad, en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

Fricción Interna (ϕ)

Determinada por la resistencia al deslizamiento debido a la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas. Depende de la granulometría del material, de la forma de las partículas y de su densidad. En caso del material fino, se tendrá una fricción interna baja. En caso de arenas el ángulo de fricción interno es alrededor de 30°

Tabla 3: Fricción interna de diversos materiales

MATERIAL	CONDICION SUELTA	CONDICION DENSA
Gravas	33° - 36°	45° - 47°
Medias	30° - 33°	40° - 45°
Finas	26° - 30°	32° - 38°
Limosas (muy finas)	25° - 30°	30° - 35°

Fuente. Elaboración propia

2.2.2. Análisis granulométrico

Un análisis granulométrico determina la distribución del tamaño de las partículas o granos que constituyen la pulpa. Este análisis se basa en el porcentaje de su peso total. La fracción muy gruesa consiste en fragmentos de rocas

compuestas de uno o más minerales, pudiendo estas ser angulares, redondeados o planos. Pueden ser frescos o mostrar signos de alteración, resistentes o deleznable. Esta fracción recibe el nombre genérico de grava. En las fracciones finas y muy finas, cada grado está constituido de un solo mineral. Las partículas pueden tener formas angulares, tubulares o escamas, pero nunca redondeadas. A continuación, se presenta los rangos de tamaño en que varían las partículas:

Tabla 4: Rango de tamaño de partículas de los materiales

Material	Tamaño	
	Desde	Hasta
Finas		0.075 mm
Arenas	0.075 mm	0.085 mm
Gruesos	0.085 mm	5mm

Fuente. Elaboración propia

2.2.3. Diámetro efectivo (D10)

Es el tamaño de las partículas que corresponden al 10% del producto más fino.

Coefficiente de uniformidad (Cu)

El coeficiente de uniformidad es la razón del diámetro de partícula más grande que se encuentra en el 60% de fracción acumulativa (-) del material, al diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 10% de la fracción acumulativa (-) del material². Se calcula dividiendo el D60 entre el D10 del material.

$$Cu = D60/D10$$

Estadísticamente se ha determinado que un $Cu = 5$ es lo más conveniente para relleno hidráulico. Un Cu mayor de 5 indica la presencia de gran cantidad de partículas finas, lo cual impide una adecuada percolación del agua.

Si él es menor de 5, se tendrá una baja concentración de partículas finas en el material, produciendo una mayor percolación del agua con una tendencia a producir el fenómeno de “embudo”.

2.2.4. Velocidad de percolación (VP)

La velocidad de percolación es una medida de la velocidad con el que el agua pasa a través del material de relleno. Teóricamente se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V. P. = (D10 \times 6/100)^2$$

Donde:

V.P. = Se expresa en cm/h

D10 = Se expresa en micrones (μm)

Estadísticamente se ha comprobado que si V.P. = 10 cm/h es la más adecuada para un relleno hidráulico. Un relleno con una V.P. menor a 3 cm/h demoraría mucho tiempo para eliminar agua y por lo tanto tardará en permitir el reingreso del personal al tajo. Por otro lado, un relleno con una V.P. mayor a 20 cm/h puede causar el fenómeno “embudo”, además de permitir la pérdida de una cantidad considerable de relleno hacia las galerías.

2.2.5. Comportamiento mecánico del relleno

Para analizar el comportamiento mecánico del relleno hidráulico se debe considerar los siguientes parámetros:

➤ **Densidad relativa (DR)**

La densidad relativa expresa el estado de compactación de relleno arenoso y está definida por el siguiente modelo matemático:

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

E_{max} = Relación de vacíos de relleno en su estado más suelto

E_{min} = Relación de vacíos de relleno en su estado más denso

E = Relación de densidad de relleno Hidráulico.

La densidad relativa del relleno está en función de tres factores principales: forma de los granos, granulometría y la manera de depositarse:

- a) Los rellenos constituidos por partículas con formas angulares tienden a tener una densidad relativa baja y son susceptibles a un fuerte reordenamiento y reducción de volumen.
- b) La granulometría es el factor de mayor influencia en la densidad relativa, lo ideal es que el material sea bien graduado, de tal manera que se reduzca los vacíos al mínimo.
- c) La manera de depositarse el relleno hidráulico influye también en la densidad relativa del mismo. La deposición del relleno en un solo punto permite que a cierta distancia las partículas sólidas se sedimenten en un ambiente calmo y sin perturbación. Una manera de esta sedimentación permite que los granos se acomoden en forma de arcos o bóvedas naturales, los cuales ante una presión o vibración tienden a reordenarse y ocupan más eficientemente los espacios.

Para impedir la formación de bóvedas se recomienda depositar el relleno en varios puntos del tajo y evitar así la sedimentación perturbada.

Una alta densidad relativa es conveniente para el propósito de contrarrestar el movimiento de las cajas, ésta se logra a expensas de algunas propiedades dependientes.

- El volumen del tajo relleno con una tonelada de relleno disminuye.
- Si aumenta la densidad relativa disminuye la percolación, ya que disminuye el área de los conductos por donde percola el agua, esto se puede terminar con

la expresión siguiente:

$$\frac{V \times (1)}{e^2_{(1)}} = \frac{V \times (2)}{e^2_{(2)}}$$

- La cantidad de agentes cementantes (cuando se usan), es menor, pues con un contacto más íntimo entre la partícula se requerirá menor cemento para adherir una con otra.
- Si el aumento de la densidad relativa se obtiene mediante la regulación de la granulometría, el coeficiente de uniformidad también aumenta.

En resumen, la mejora de ciertas propiedades puede implicar otras, por lo que existe una densidad relativa óptima con la cual se obtiene una combinación óptima de propiedades.

➤ Efecto del agua en el relleno hidráulico

El efecto del agua puede definirse en el relleno hidráulico de dos formas:

En forma de partículas alrededor de los granos. Ocupando parte o todos

los vacíos entre los granos del material. Si los vacíos están completamente llenos con agua, el relleno está saturado y la mezcla se dice que es continua, si los vacíos están parcialmente llenos, la mezcla es discontinua formando cuñas de agua entre los granos adyacentes y películas de mezcla alrededor de ellas.

Muchos de los rellenos hidráulicos pueden desarrollar superficies capilares, al menos temporalmente. Estas superficies pueden ser engañosas ya que las tensiones capilares tienden a consolidar la superficie del relleno, haciendo que el relleno parezca más firme de lo que es en profundidad.

➤ **Presión neutra (UW) y presión efectiva (P)**

Una arena suelta ya saturada bajo carga, en la que no se permite el drenaje, desarrolla presiones entre grano y grano y una presión neutra en el agua dentro de los poros, es decir:

$$P = p - U_w$$

P = Presión efectiva grano a grano

p = Presión total

U_w = Presión en el agua de los poros.

➤ **Consolidación**

Es el cambio de volumen de una carga constante a medida que transcurre el tiempo. Se diferencia de la comprensión, en que en esta hay un cambio de volumen debido a un incremento de carga. El relleno tiende a consolidarse bajo cargas estáticas, tales como las que ocurren cuando el tajeo tiende a

cerrarse. Esta consolidación inicial puede ser muy grande en rellenos sueltos, mientras que en rellenos densos tienen menor tendencia a consolidarse bajo cargas estáticas. Después de una consolidación inicial ocurre una consolidación secundaria más lenta tanto en rellenos sueltos como en densos.

➤ **Compactación**

Es la densificación artificial de los suelos. Los materiales cohesivos se compactan mejor bajo cargas dinámicas. La eficiente compactación de estos materiales a su máxima densidad está en muchos casos, en relación al contenido de agua del material. La cantidad de agua presente debe ser suficiente como para lubricar las partículas; un exceso de agua llenará los vacíos y creará tensiones neutras positivas en el suelo, reduciendo así su densificación.

En materiales no cohesivos, como muchos rellenos, no se llega generalmente a su máxima densidad mediante la aplicación de cargas estáticas o dinámicas, siendo necesario el uso de vibradores.

➤ **Cementación**

La cementación de los rellenos hidráulicos puede tomar muchos años, dependiendo principalmente de la composición química del relleno.

Los rellenos provenientes de relaves pobres en sulfuros muestran un grado de cementación baja. En realidad, la cementación ocurre en estos rellenos, en un periodo corto de tiempo, pero las altas temperaturas debido a las oxidaciones son una desventaja para la cementación.

➤ **Compresibilidad**

Los rellenos hidráulicos son los menos compresibles de todos los rellenos usados como soporte en minería subterránea. Rara vez se comprimen más del 20%, variando generalmente entre 5% y 10%. La resistencia del relleno no se desarrolla hasta que el contenido de agua ha sido reducido de un semifluido a una condición consolidada.

2.3. Definición de términos básicos

- **Compresibilidad:** El relleno en minería se comprime en un 9% a 10% muy raramente llega a un 20%; es la capacidad de comprimirse un material.
- **Cementación:** Es el que depende de la composición química para el endurecimiento del relleno hidráulico.
- **Cohesión:** La cohesión es la atracción que tienen las partículas de un material, su origen es por las fuerzas moleculares y las películas de agua, esto varía si cambia el contenido de humedad.
- **Estándar:** Son los patrones que contienen los parámetros y requisitos mínimos aceptables establecidos por estudios experimentales, lo que hace posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial.
- **Velocidad de Percolación:** Es el tiempo en que la velocidad del agua fluye a través de la pulpa del relleno.
- **Consolidación:** Es la medida que transcurre el tiempo cambia el volumen de una carga constante.
- **Dureza de los Sólidos:** Es la característica que determina el tipo y material del equipo a utilizarse en su transporte.

- **Orientación:** Es descrito por su rumbo y buzamiento o la posición de la discontinuidad en el espacio.
- **Persistencia:** Es una extensión en área de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.
- **Relleno:** Son diseminaciones que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando el material es suave, la masa rocosa es menos competente y cuando es más duro es más competente.
- **Rugosidad:** Es una irregularidad de la superficie de la discontinuidad, a menor rugosidad de la discontinuidad, la masa rocosa es menos competente y a mayor sea ésta, la masa rocosa es más competente.
- **Pulpa:** La pulpa se define como la mezcla que está constituida por un elemento sólido y un líquido, donde el elemento líquido transporta al sólido en suspensión.
- **Productividad:** Es el mejor equilibrio entre la relación de la cantidad de bienes, servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.
- **Inspección:** Es el proceso de observación metódica de situaciones críticas de prácticas, condiciones, equipos, materiales y estructuras. Lo realizan personas capacitadas en la identificación de peligros y evaluación de riesgos.
- **Fibra:** Es un material novedoso que está siendo desarrollado de forma acelerada gracias al mejoramiento de las nuevas fibras, se complementa para la aplicación del concreto.
- **Aditivos:** Material que reducen el tiempo del fraguado. La mezcla exhibe un fraguado más rápido y una resistencia inicial mayor, al aplicar se tiene mayor rapidez y espesores mayores.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La reclasificación de la granulometría del relave permite mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Con la reclasificación de la granulometría mejora la dimensión de las partículas del relave para el relleno hidráulico de los tajos en la minera Casapalca.
- b) La velocidad de percolación del relleno hidráulico para los tajos mejora con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable Independiente

X: Reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.

2.5.2. Variables Dependientes

Y: Eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 5: Operacionalización de las variables

TIPO DE VARIAB LE	NOMBRE DE LA VARIAB LE	DEFINICIÓN OPERACION AL	DIMENSION ES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.	La reclasificación del relave procedente del proceso metalúrgico es muy importante. Esta reclasificación permite eliminar una gran cantidad de los finos que vienen en el relave mediante los ciclones y la dimensión del ápex, obteniéndose por el over flow granulometría más fina que se van a la cancha de relave y por el under flow la granulometría más gruesa que se va a los silos para el uso del relleno hidráulico.	Ciclón	Ápex pulgada
			Over Flow Relave	Malla micrón
				densidad Malla micrón
			Under Flow relave	densidad gr./cm ³

VARIABLE DEPENDIENTE

Y: Eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca.

Al reclasificar el relave se mejora la densidad de la pulpa que va como relleno a los tajos de esta manera se menora el tiempo de relleno del tajo, así mismo se mejora el tiempo de percolación de la pulpa, muchas veces se mezcla con cemento esta pulpa para mejorar la solidez del piso del relleno en los tajos para que puedan transitar los equipos de perforación y limpieza del tajo como también el personal operante.

Eficiencias

Granulometría micrón .

Velocidad de percolación del RR.HH. cm./hora

Fuente. Elaboración: Propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

Esta investigación principalmente es experimental-aplicativo, el trabajo se ubica en un nivel de profundización descriptivo, correlacional y explicativo en relación con los objetivos considerados.

3.2. Nivel de investigación

El presente trabajo de acuerdo a la naturaleza de la investigación, reúne por su nivel las características de un trabajo de investigación comprende al nivel descriptivo y correlacional.

3.3. Métodos de Investigación

Por los objetivos de la investigación el método es lógico donde se utiliza el análisis, la deducción y la síntesis, asimismo mediante la observación se determinan los valores y todos los resultados del objeto en estudio.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de esta investigación por las dimensiones es cuantitativa, descriptiva y correlacional, se considera una base de datos que describe toda la información tomada y los resultados al reclasificarse el relave en comparación con los valores actuales. Luego de presentar los resultados se realiza un diseño descriptivo con estos resultados del análisis de comparación.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Tajos en explotación para el relleno hidráulico de la minera Casapalca.

3.5.2. Muestra

El tajo en explotación éxito-2 y veta-3, zona oeste del nivel tres de la minera Casapalca.

3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

El proceso y análisis de la base de datos se realizará con la aplicación del Microsoft Excel, relacionando las variables y resultados en tablas y gráficos dinámicos.

➤ Descripción de las técnicas empleadas

- Búsqueda de datos.
- Se recopila la información histórica de programas de sostenimiento.
- Observación de campo.
- Se realizó observaciones directas en la reclasificación del relave.
- Recopilación de información bibliográfica
- Se busca textos y páginas de internet para tener una mejor fundamento y

comprensión acerca del relleno hidráulico.

➤ **Instrumentos de recolección de datos**

○ **Materiales**

- Informe de la planta de relleno hidráulico
- Planos de líneas de gradiente.
- Informe estadístico de la velocidad de percolación del relleno hidráulico
- Informes estadísticos de bombeo de relleno hidráulico
- Informes de relaves mina percolados
- Cronometro.

○ **Equipos**

- Computadora personal.
- Impresoras.
- Tablet.
- Cámara Fotográfica.

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

Se reitera la importancia de la selección, validación y confiabilidad de los datos obtenidos mediante los instrumentos en donde se incluirá los costos de operaciones mina en el lugar de la investigación

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se revisará sistemáticamente toda la información recopilada a efectos de determinar su calidad y el grado de confianza y se someterá a un tratamiento estadístico y de Excel.

3.9. Tratamiento estadístico

Se realizarán histogramas y otros gráficos estadísticos en Microsoft Excel y el software del Excel.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El proceso de la investigación en toda su integridad es inédita, original, la tesis se desarrolla con los principios de la ética personal, conjuntamente compartiendo los valores, principios y criterios, que un trabajo debe tener. Es necesario resaltar que el estudio es el producto y la suma de la experiencia obtenida; realizada en la minera Casapalca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Muestras del relave de línea base

El análisis del relave es uno de los puntos más importantes para cumplir el objetivo de esta investigación, por lo que se efectuó en el punto de salida de la planta concentradora, over flow y under flow de este material, con la siguiente información:

- Volumen de la pulpa relave general 182, 486 m³/hora
- Volumen total con presencia de agua 803, 195 galones/hora
- Peso de la muestra 500 gramos para cada análisis de mallas.
- Abertura del Ápex de cada ciclón 2 pulgadas

Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

4.1.1. Muestras del Relave de la planta concentradora

Tabla 6: Muestra 1 (Densidad 1, 200 Gr./dm³.)

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	29.12	5.8	5.8
+100	71.46	14.3	20.1
+140	60.99	12.2	32.3
+200	53.47	10.7	43.0
+270	52.24	10.4	53.4
+325	18.14	3.6	57.0
+400	19.34	3.9	60.9
-400	195.24	39.1	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 7: Muestra 2 (Densidad 1, 220 Gr./dm³.)

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	27.10	5.4	5.4
+100	72.48	14.5	19.9
+140	62.97	12.6	32.5
+200	51.49	10.3	42.8
+270	50.22	10.0	52.8
+325	20.16	4.1	56.9
+400	21.35	4.3	61.2
-400	194.23	38.8	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 8: Muestra 3 (Densidad 1, 210 Gr./dm³.)

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	28.05	5.6	5.6
+100	73.52	14.7	20.3
+140	60.85	12.2	32.5
+200	51.47	10.3	42.8
+270	48.20	9.6	52.4
+325	22.17	4.4	56.8
+400	23.37	4.7	61.5
-400	192.37	38.5	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 9: Muestra 4 (Densidad 1, 200 Gr./dm³.)

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	27.11	5.4	5.4
+100	74.53	14.9	20.3
+140	58.65	11.7	32.0
+200	50.38	10.1	42.1
+270	49.11	9.8	51.9
+325	20.06	4.0	55.9
+400	23.25	4.7	60.6
-400	196.91	39.4	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 10: Muestra 5 (Densidad 1, 225 Gr./dm³.)

Malla	peso	% peso	% acumulado
+60	25.11	5.0	5.0
+100	75.35	15.1	20.1
+140	62.45	12.5	32.6
+200	49.57	9.9	42.5
+270	50.78	10.2	52.7
+325	23.13	4.6	57.3
+400	24.89	5.0	62.3
-400	188.72	37.7	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 11: Muestra 6 (Densidad 1, 215 Gr./dm³.)

Malla	peso	% peso	% acumulado
+60	26.71	5.3	5.3
+100	73.46	14.7	20.0
+140	63.36	12.7	32.7
+200	50.77	10.2	42.9
+270	49.93	10.0	52.9
+325	21.67	4.3	57.2
+400	22.09	4.4	61.6
-400	192.01	38.4	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 12: Muestra 7 (Densidad 1, 250 Gr./dm³.)

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	26.98	5.4	5.4
+100	74.06	14.8	20.2
+140	62.63	12.5	32.7
+200	52.14	10.7	43.4
+270	48.12	9.6	53.0
+325	21.54	4.3	57.3
+400	22.09	4.4	61.7
-400	192.44	38.3	100.00

Fuente. Elaboración propia.

4.1.2. Muestras de Relave del Over Flow

Tabla 13: Muestra 1 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas, $d=1060 \text{ gr./dm}^3$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	1.1	0.02	0.02
+100	1.5	0.03	0.05
+140	5.34	1.27	1.32
+200	4.65	0.93	2.25
+270	17.11	3.22	5.47
+325	14.19	2.94	8.41
+400	17.90	3.88	12.29
-400	438.21	87.71	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 14: Muestra 2 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas, $d=$

1040 gr./dm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	2.00	0.4	0.4
+100	1.05	0.21	0.61
+140	13.34	2.67	3.28
+200	11.65	2.33	5.61
+270	12.41	2.48	8.09
+325	20.62	4.13	12.22
+400	19.90	3.98	16.20
-400	419.03	83.80	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15: Muestra 3 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Apex de 2 pulgadas, d=

1020 gr./dm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	5.80	1.16	1.16
+100	10.93	2.19	3.35
+140	13.81	2.76	6.11
+200	20.00	4.00	10.11
+270	25.14	5.03	15.14
+325	20.33	4.07	19.21
+400	28.80	5.76	24.97
-400	375.19	75.03	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16: Muestra 4 - Ciclón Krebs de 12'', Apex de 2.00 pulgadas, d= 1005

gr./dm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	5.99	1.20	1.20
+100	8.72	1.74	2.94
+140	10.45	2.09	5.03
+200	15.25	3.05	8.08
+270	24.10	4.82	12.90
+325	33.19	6.64	19.54
+400	48.73	9.74	29.28
-400	353.57	70.72	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 17: Muestra 5 - Ciclón Krebs de 12'', Ápex de 2.00 pulgadas, d= 1000

gr./dm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	4.99	0.99	0.99
+100	7.72	1.54	2.53
+140	9.45	1.89	4.42
+200	14.25	2.85	7.27
+270	23.10	4.62	11.89
+325	32.19	6.44	18.33
+400	47.73	9.60	27.93
-400	360.57	72.07	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 18: Muestra 6 - Ciclón Krebs de 12'', Ápex de 2 pulgadas, d= 1005

gr./dm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	9.78	1.96	1.96
+100	11.22	2.24	4.20
+140	13.34	2.67	6.87
+200	11.65	2.33	9.20
+270	12.41	2.48	11.68
+325	20.62	4.12	15.80
+400	19.90	3.98	19.78
-400	401.08	80.22	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 19: Muestra 7 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Apex de 2 pulgadas, d= 1045 gr./dm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	6.34	1.27	1.27
+100	5.98	1.20	2.47
+140	5.37	1.07	3.54
+200	4.65	0.93	4.47
+270	7.11	1.42	5.89
+325	4.69	0.94	6.83
+400	7.90	1.58	8.41
-400	457.96	91.59	100.00

Fuente. Elaboración propia.

4.1.3. Muestras del Relave del under flow

Tabla 20: Muestra 1 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas,

$$d=2000 \text{ gr./dm}^3$$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	15.42	3.08	3.08
+100	90.17	18.03	21.11
+140	62.34	12.47	33.58
+200	80.49	16.10	49.68
+270	45.17	9.03	58.71
+325	75.21	15.04	73.75
+400	55.47	11.10	84.85
-400	75.73	15.15	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21: Muestra 2 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas,

$$d=2100 \text{ gr./dm}^3$$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	29.17	5.83	5.83
+100	105.09	21.02	26.85
+140	91.35	18.27	45.12
+200	78.74	15.75	60.87
+270	63.84	12.77	73.64
+325	33.56	6.71	80.35
+400	29.89	5.98	86.33
-400	68.36	13.67	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 22: Muestra 3 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas,

$$d=2150 \text{ gr./dm}^3$$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	37.56	7.51	7.51
+100	100.27	20.05	27.56
+140	81.35	16.27	43.83
+200	67.74	13.55	57.38
+270	59.04	11.81	69.19
+325	44.52	8.90	78.09
+400	38.85	7.77	85.86
-400	70.67	14.14	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 23: Muestra 4 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas, $d=$

$$2200 \text{ gr./dm}^3$$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	40.54	8.11	8.11
+100	99.87	19.97	28.08
+140	84.41	16.88	44.96
+200	69.47	13.89	58.85
+270	61.19	12.24	71.09
+325	40.45	8.09	79.18
+400	35.08	7.02	86.20
-400	68.99	13.80	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 24: Muestra 5 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas,

$$d=2100 \text{ gr./dm}^3$$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	16.43	3.29	3.29
+100	91.18	18.24	21.53
+140	63.35	12.67	34.20
+200	81.50	16.30	50.50
+270	44.16	8.83	59.33
+325	74.20	14.84	74.17
+400	54.46	10.89	85.06
-400	74.72	14.94	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25: Muestra 6 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas,

$$d=2050 \text{ gr./dm}^3$$

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	18.45	3.69	3.69
+100	93.20	18.64	22.33
+140	65.37	13.07	35.40
+200	83.52	16.70	52.10
+270	42.14	8.43	60.53
+325	72.18	14.44	74.97
+400	52.44	10.49	85.46
-400	72.70	14.54	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 26: Muestra 7 - Ciclón Krebs de 12 pulgadas, Ápex de 2 pulgadas,

$$d=2150 \text{ gr./dm}^3$$

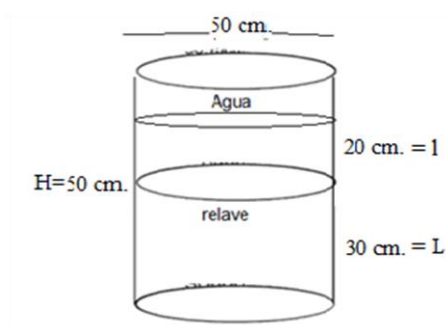
Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	17.44	3.48	5.8
+100	92.19	18.44	20.1
+140	64.36	12.87	32.3
+200	82.51	16.50	43-0
+270	43.15	8.63	53.4
+325	73.19	14.64	57-0
+400	53.45	10.69	60.9
-400	73.71	14.74	100.00

Fuente. Elaboración propia.

4.1.4. Muestra de relave para la velocidad de percolación

Para hallar la velocidad de percolación con esta granulometría del relave se tomó las muestras en un cilindro en el mismo tajo donde se está ejecutando el relleno hidráulico con las siguientes características.

Figura 7: Cilindro de prueba



Fuente. Elaboración propia.

H = altura total hasta el nivel del agua 50 centímetros

L = altura de la muestra del relave 30 centímetros

l = altura del agua 20 centímetros

D = diámetro de la base del cilindro 50 cm.

A = área de la base del cilindro 1963.5 cm^2

V = volumen de agua de la muestra 39270 cm^3

T1 = tiempo de eliminación del agua 57.5 minutos

T2 = tiempo de eliminación del agua 58 minutos

T3 = tiempo de eliminación del agua 57 minutos

4.1.5. Muestra del relave reclasificado

El análisis del relave reclasificado es más importante para cumplir el objetivo de esta investigación, por lo que se efectuó en el punto de salida de los ciclones krebs, con la siguiente información:

- Volumen de la pulpa relave general $182,486 \text{ m}^3/\text{hora}$
- Volumen total con presencia de agua $803,195 \text{ galones/hora}$
- Peso de la muestra 500 gramos para cada análisis de mallas.
- Abertura del Ápex de 2.75 pulgadas

Los resultados se muestran en los siguientes cuadros.

4.1.5.1. Muestra de relave reclasificado del over Flow

Tabla 27: Muestra 1: densidad 1030 gr/cm³.

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	0.76	0.15	0.15
+100	2.97	0.59	0.74
+140	6.43	1.29	2.03
+200	5.56	1.11	3.14
+270	10.01	2.00	5.14
+325	15.36	3.07	8.21
+400	16.89	3.38	11.59
-400	442.02	88.41	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 28: Muestra 2: Densidad 1010 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	----	0.00	0.00
+100	7.67	1.53	1.53
+140	5.64	1.13	2.66
+200	4.71	0.94	3.60
+270	7.21	1.44	5.04
+325	4.39	0.88	5.92
+400	9.13	1.83	7.75
-400	461.25	92.25	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 29: Muestra 3: densidad 1070 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	0.65	0.13	0.13
+100	5.89	1.18	1.31
+140	6.43	1.29	2.60
+200	5.56	1.11	3.71
+270	6.12	1.22	4.93
+325	5.27	1.05	5.98
+400	8.89	1.78	7.76
-400	461.19	92.24	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 30: Muestra 04: Densidad 1090 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	2.06	0.41	0.41
+100	5.79	1.16	1.57
+140	6.59	1.32	2.89
+200	5.50	1.10	3.99
+270	6.13	1.23	5.22
+325	6.16	1.23	6.45
+400	7.01	1.40	7.85
-400	460.76	92.15	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 31: Muestra 5: Densidad 1010 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	----	0.00	0.00
+100	4.87	0.97	0.97
+140	5.95	1.19	2.16
+200	6.05	1.21	3.37
+270	6.07	1.22	4.59
+325	6.67	1.33	5.92
+400	7.36	1.47	7.39
-400	463.03	92.61	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 32: Muestra 6: Densidad 1060 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	1.15	0.23	0.23
+100	4.76	0.95	1.18
+140	5.45	1.09	2.27
+200	7.53	1.51	3.78
+270	6.16	1.23	5.01
+325	7.19	1.44	6.45
+400	7.81	1.56	8.01
-400	459.95	91.99	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 33: Muestra 7: Densidad 1030 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	----	0.00	0.00
+100	4.99	0.99	0.99
+140	5.82	1.16	2.15
+200	6.35	1.27	3.42
+270	5.18	1.04	4.46
+325	7.12	1.43	5.89
+400	9.17	1.83	7.73
-400	461.37	92.27	100.00

Fuente. Elaboración propia.

4.1.5.2. Muestra del relave reclasificado del under flow

Tabla 34: Muestra 1: Densidad 1670 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	49.17	9.8	9.8
+100	110.09	22.0	31.8
+140	91.35	18.3	50.1
+200	78.74	15.7	65.8
+270	73.84	14.8	80.6
+325	23.56	4.7	85.3
+400	19.89	4.0	89.3
-400	53.36	10.7	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 35: Muestra 2: Densidad 1710 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	53.71	10.74	10.74
+100	126.17	25.23	35.97
+140	89.26	17.85	53.82
+200	80.65	16.13	69.95
+270	55.48	11.10	81.05
+325	25.29	5.06	86.11
+400	20.81	4.16	90.27
-400	48.63	9.73	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 36: Muestra 3: Densidad 1650 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	50.89	10.18	10.18
+100	137.33	27.47	37.65
+140	90.28	18.06	55.71
+200	76.44	15.23	70.94
+270	52.17	10.43	81.37
+325	26.13	5.23	86.60
+400	21.68	4.34	90.94
-400	45.08	9.06	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 37: Muestra 4: Densidad 1670 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	48.16	9.63	9.63
+100	126.24	25.25	34.88
+140	91.45	18.29	53.17
+200	82.11	16.42	69.59
+270	53.63	10.73	80.32
+325	25.77	5.15	85.47
+400	22.69	4.54	90.01
-400	49.95	9.99	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 38: Muestra 5: Densidad 1710 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	52.10	10.42	10.42
+100	116.27	23.25	33.67
+140	82.36	16.47	50.14
+200	81.01	16.20	66.34
+270	62.34	12.47	78.81
+325	24.29	4.86	83.67
+400	21.58	4.32	87.99
-400	60.05	12.01	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 39: Muestra 6: Densidad 1650 gr./cm³

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	47.86	9.57	9.57
+100	135.21	27.04	36.61
+140	93.23	18.65	55.26
+200	82.13	16.43	71.69
+270	51.43	10.29	81.98
+325	25.27	5.05	87.03
+400	23.38	4.67	91.70
-400	41.49	8.30	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 40: Muestra 7: Densidad 1680 gr./cm³

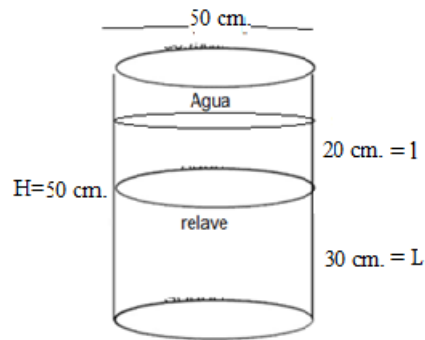
Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	48.55	9.71	9.71
+100	124.12	24.82	34.53
+140	94.32	18.86	53.39
+200	81.31	16.26	69.65
+270	57.34	11.47	81.12
+325	24.72	4.94	86.06
+400	22.58	4.52	90.58
-400	47.06	9.42	100.00

Fuente. Elaboración propia.

4.1.5.3. Muestra de relave para la velocidad de percolación

Del relave reclasificado se tomó muestras para el cálculo de la velocidad de percolación en las siguientes condiciones.

Figura 8: Cilindro de prueba



Fuente. Elaboración propia.

H = altura total hasta el nivel del agua 50 centímetros

L = altura de la muestra del relave 30 centímetros

l = altura del agua 20 centímetros

D = diámetro de la base del cilindro 50 cm.

A = área de la base del cilindro 1963.5 cm^2

V = volumen de agua de la muestra 39270 cm^3

T1 = tiempo de eliminación del agua 63.7 minutos

T2 = tiempo de eliminación del agua 64.2 minutos

T3 = tiempo de eliminación del agua 63.1 minutos

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Resumen de muestras con el ápex de 2”

Tabla 41: Muestras de relave de planta

Malla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
+60	29.12	27.10	28.05	27.11	25.11	26.71	26.98
+100	71.46	72.48	73.52	74.53	75.35	73.46	74.06
+140	60.99	62.97	60.85	58.65	62.45	63.36	62.63
+200	53.47	51.49	51.47	50.38	49.57	50.77	52.14
+270	52.24	50.22	48.20	49.11	50.78	49.93	48.12
+325	18.14	20.16	22.17	20.06	23.13	21.67	21.54
+400	19.34	21.35	23.37	23.25	24.89	22.09	22.09
-400	195.24	194.23	192.37	196.91	188.72	192.01	192.44

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 42: Muestras de relave del over Flow

Malla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
+60	1.1	2.00	5.80	5.99	4.99	9.78	6.34
+100	1.5	1.05	10.93	8.72	7.72	11.22	5.98
+140	5.34	13.34	13.81	10.45	9.45	13.34	5.37
+200	4.65	11.65	20.00	15.25	14.25	11.65	4.65
+270	17.11	12.41	25.14	24.10	23.10	12.41	7.11
+325	14.19	20.62	20.33	33.19	32.19	20.62	4.69
+400	17.90	19.90	28.80	48.73	47.73	19.90	7.90
-400	438.21	419.03	375.19	353.57	360.57	401.08	457.96

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 43: Muestras de relave under Flow

Malla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
+60	15.42	29.17	37.56	40.54	16.43	18.45	17.44
+100	90.17	105.09	100.27	99.87	91.18	93.20	92.19
+140	62.34	91.35	81.35	84.41	63.35	65.37	64.36
+200	80.49	78.74	67.74	69.47	81.50	83.52	82.51
+270	45.17	63.84	59.04	61.19	44.16	42.14	43.15
+325	75.21	33.56	44.52	40.45	74.20	72.18	73.19
+400	55.47	29.89	38.85	35.08	54.46	52.44	53.45
-400	75.73	68.36	70.67	68.99	74.72	72.70	73.71

Fuente. Elaboración propia.

4.2.2. Resumen de muestras con el ápex de 2.75”

Tabla 44: Muestras del over flow

Malla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
+60	0.76	----	0.65	2.06	----	1.15	----
+100	2.97	7.67	5.89	5.79	4.87	4.76	4.99
+140	6.43	5.64	6.43	6.59	5.95	5.45	5.82
+200	5.56	4.71	5.56	5.50	6.05	7.53	6.35
+270	10.01	7.21	6.12	6.13	6.07	6.16	5.18
+325	15.36	4.39	5.27	6.16	6.67	7.19	7.12
+400	16.89	9.13	8.89	7.01	7.36	7.81	9.17
-400	442.02	461.25	461.19	460.76	463.03	459.95	461.37

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 45: Muestras del under Flow con ápex de 2.75”

Malla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
+60	49.17	53.71	50.89	48.16	52.10	47.86	48.55
+100	110.09	126.17	137.33	126.24	116.27	135.21	124.12
+140	91.35	89.26	90.28	91.45	82.36	93.23	94.32
+200	78.74	80.65	76.44	82.11	81.01	82.13	81.31
+270	73.84	55.48	52.17	53.63	62.34	51.43	57.34
+325	23.56	25.29	26.13	25.77	24.29	25.27	24.72
+400	19.89	20.81	21.68	22.69	21.58	23.38	22.58
-400	53.36	48.63	45.08	49.95	60.05	41.49	47.06

Fuente. Elaboración propia.

4.2.3. Promedio de muestras de relave con el ápex de 2”

Tabla 46: Muestras del relave de planta

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	27.28	5.46	5.46
+100	73.56	14.71	20.17
+140	62.71	12.54	32.71
+200	51.62	10.32	43.03
+270	49.80	9.96	52.99
+325	21.82	4.36	57.35
+400	19.58	3.92	61.27
-400	193.63	38.73	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 47: Muestras de relave del over Flow

Malla	Peso	% peso	% acumulado
	5.14		
+60		1.03	1.03
	6.73		
+100		1.34	2.37
	10.16		
+140		2.03	4.40
	11.73		
+200		2.34	6.74
	17.33		
+270		3.47	10.21
	20.83		
+325		4.17	14.38
	27.28		
+400		5.46	19.84
	400		
-400		80.16	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 48: Muestras de relave del under Flow

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	25.00	5.00	5.00
+100	96.00	19.20	24.20
+140	73.22	14.64	38.84
+200	77.71	15.54	54.38
+270	51.24	10.25	64.63
+325	59.15	11.83	76.46
+400	45.66	9.13	85.59
-400	72.11	14.41	100.00

Fuente. Elaboración propia.

4.2.4. Promedio del tiempo de eliminación de agua de la muestra

T1 = tiempo de eliminación del agua 57.5 minutos

T2 = tiempo de eliminación del agua 58 minutos

T3 = tiempo de eliminación del agua 57 minutos

T4 = tiempo promedio de eliminación del agua 57.5 minutos

4.2.5. Promedio de muestras de relave con el ápex de 2.75”

Tabla 49: Muestras de relave del over flow

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	0.66	0.13	0.13
+100	5.26	1.05	1.18
+140	6.04	1.21	2.39
+200	5.89	1.18	3.57
+270	6.70	1.34	4.91
+325	7.46	1.49	6.40
+400	9.48	1.90	8.30
-400	458.51	91.70	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 50: Muestras de relave del under Flow

Malla	Peso	% peso	% acumulado
+60	50.06	10.01	10.01
+100	125.12	25.02	35.03
+140	90.32	18.06	53.09
+200	80.33	16.07	69.16
+270	58.03	11.61	80.77
+325	25.00	5.00	85.77
+400	21.80	4.36	90.13
-400	49.37	9.87	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Promedio del tiempo de eliminación de agua de la muestra

T1 = tiempo de eliminación del agua 63.7 minutos

T2 = tiempo de eliminación del agua 64.2 minutos

T3 = tiempo de eliminación del agua 63.1 minutos

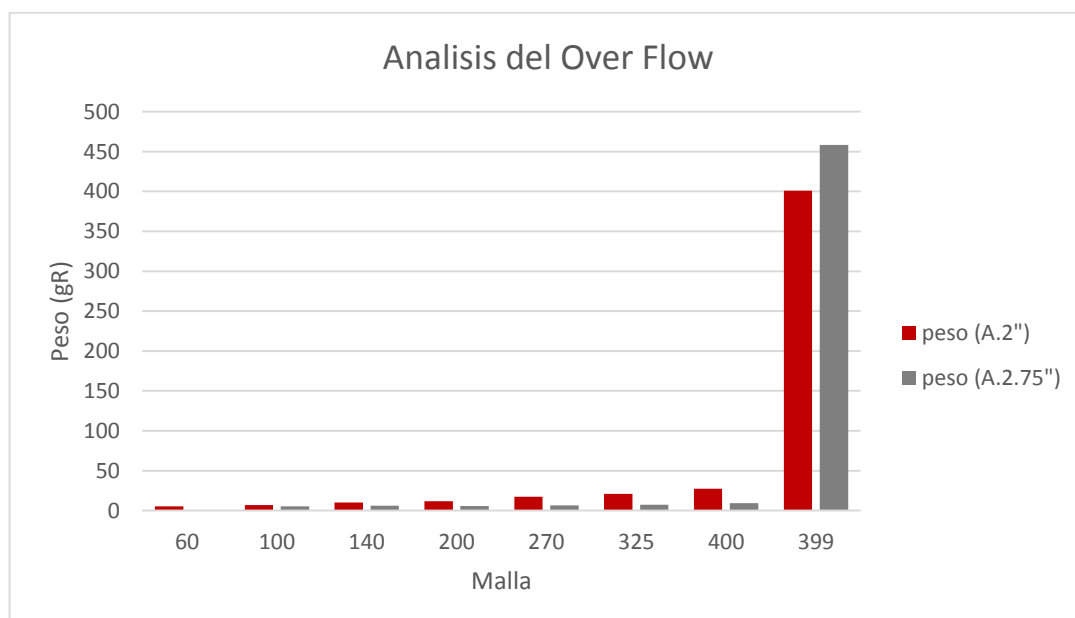
T4 = Promedio del tiempo de eliminación del agua 63.7 minutos

4.2.6. Análisis de granulometría con el ápex de 2" y ápex de 2.75"

Tabla 51: Análisis de granulometría de relave del over flow

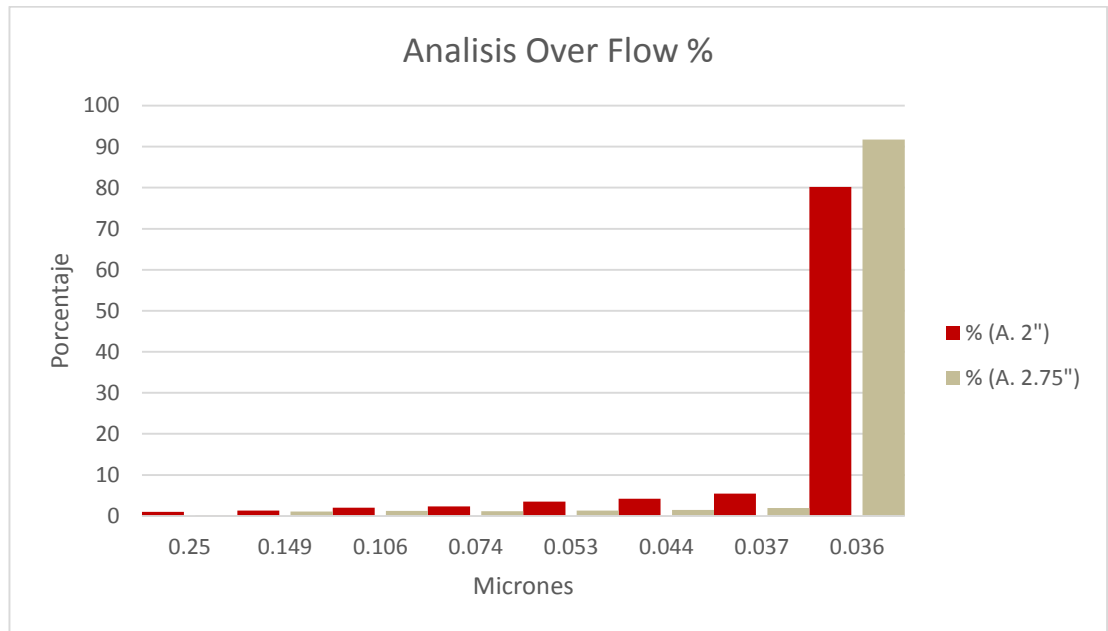
Milímetros	Peso 2"	Peso		%		% AC		Malla
		2.75"	% 2"	2.75"	2"	2.75		
0.250	5.14	0.66	1.03	0.13	1.03	0.13	+60	
0.149	6.73	5.26	1.34	1.05	2.37	1.18	+100	
0.106	10.16	6.04	2.03	1.21	4.40	2.39	+140	
0.074	11.73	5.89	2.34	1.18	6.74	3.57	+200	
0.053	17.33	6.70	3.47	1.34	10.21	4.91	+270	
0.044	20.83	7.46	4.17	1.49	14.38	6.40	+325	
0.037	27.28	9.48	5.46	1.90	19.84	8.30	+400	
< 0.037	400.80	458.51	80.16	91.70	100.00	100.00	-400	

Figura 9: Análisis granulométrico en peso



Fuente. Elaboración propia.

Figura 10: Análisis granulométrico en porcentaje



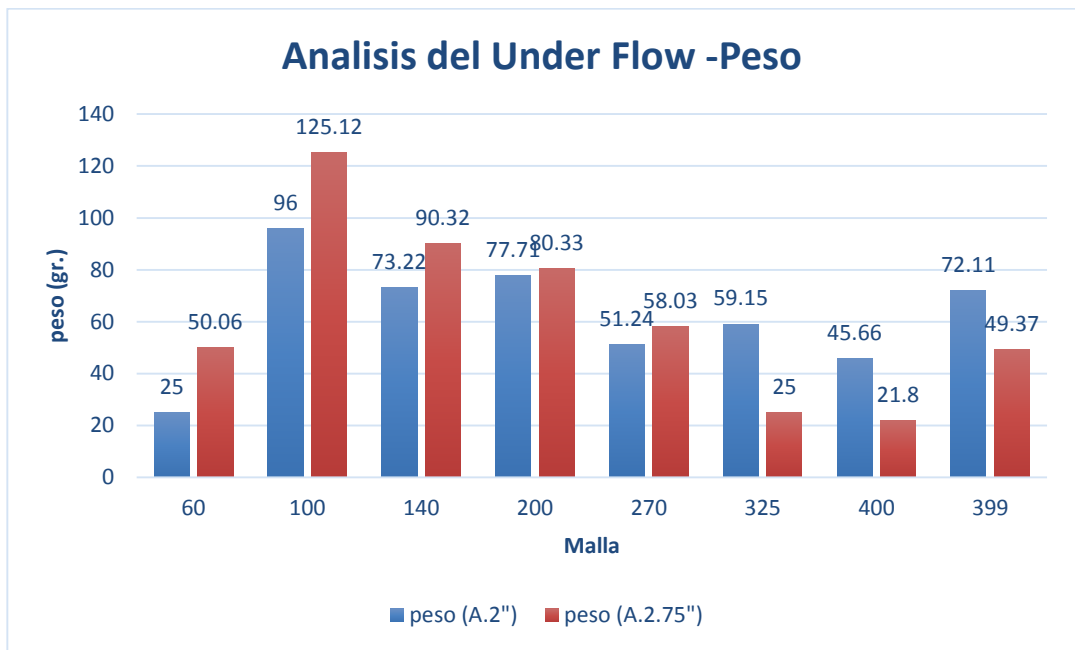
Fuente. Elaboración propia

Tabla 52: Análisis de granulometría de relave del under flow

Milímetros	Peso 2''	Peso		%		% AC		Malla
		2.75''	% 2''	2.75''	2''	2.75		
0.250	25.00	50.06	5.00	10.01	5.00	10.01	+60	
0.149	96.00	125.12	19.20	25.02	24.20	35.03	+100	
0.106	73.22	90.32	14.64	18.06	38.84	53.09	+140	
0.074	77.71	80.33	15.54	16.07	54.38	69.16	+200	
0.053	51.24	58.03	10.25	11.61	64.63	80.77	+270	
0.044	59.15	25.00	11.83	5.00	76.46	85.77	+325	
0.037	45.66	21.80	9.13	4.36	85.59	90.13	+400	
< 0.037	72.11	49.37	14.41	9.87	100.00	100.00	-400	

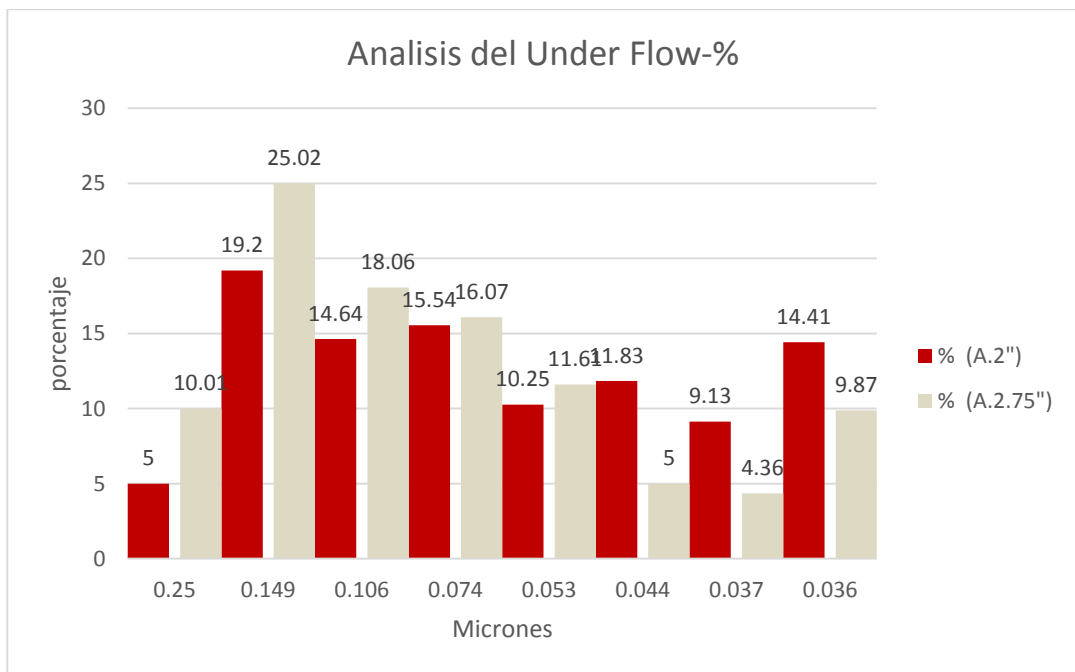
Fuente. Elaboración propia

Figura 11: Análisis granulométrico en peso



Fuente. Elaboración propia

Figura 12: Análisis granulométrico en porcentaje



Fuente. Elaboración propia

4.2.7. Cálculo de la velocidad de percolación

Para el cálculo de la velocidad de percolación vamos a utilizar el modelo matemático de Darcy:

$$VP = LQ: HA$$

VP = velocidad de percolación en cm/hora

L = Altura de la muestra del relave en cm.

Q = Caudal en cm^3/hora

H = Altura total de toda la muestra relave más agua en cm.

A = Área de la base del cilindro en cm^2 .

Velocidad de percolación con el ápex de 2"

VP = velocidad de percolación en cm/hora

L = 30 centímetros

Q = 40 977 cm^3/hora

Si 39 270 cm^3 de agua se elimina en 57.5 minutos entonces

en una hora elimina 40 977 cm^3

H = 50 cm.

A = 1963.5 cm^2 .

Reemplazando valores en el modelo matemático de Darcy hallamos la velocidad de percolación para estas condiciones.

VP = 12.5 cm./ hora

Velocidad de percolación con el ápex de 2.75"

VP = velocidad de percolación en cm/hora

L = 30 centímetros

Q = 36 989 cm³/hora

Si 39 270 cm³ de agua se elimina en 63.7 minutos entonces

en una hora elimina 36 989 cm³

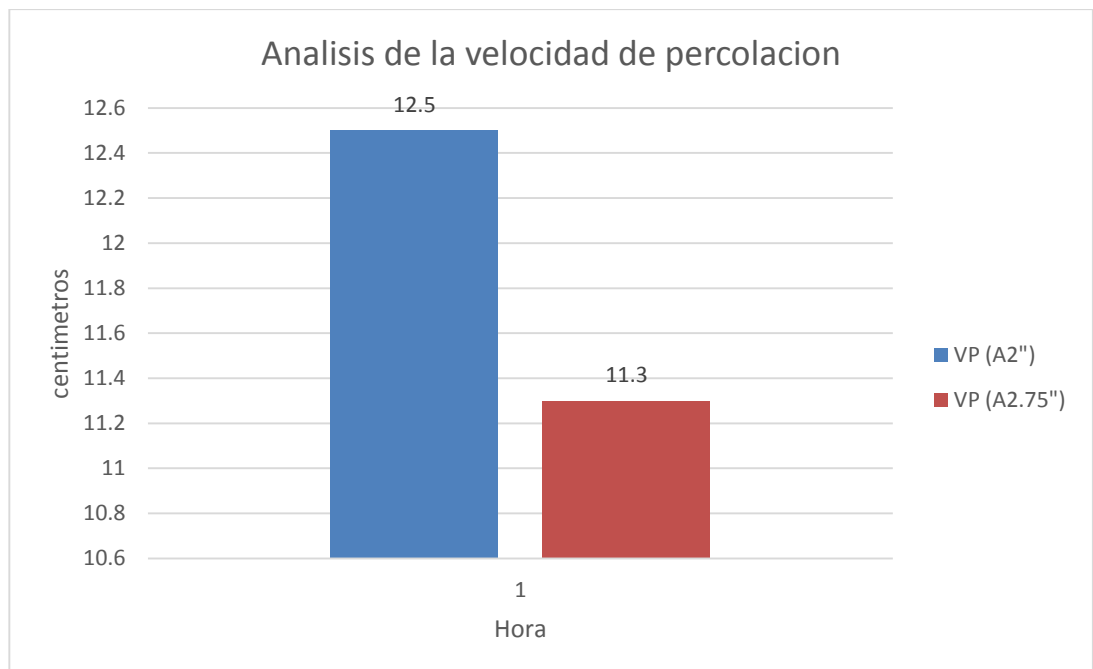
H = 50 cm.

A = 1963.5 cm².

Reemplazando valores en el modelo matemático de Darcy hallamos la velocidad de percolación para estas condiciones.

VP = 11.3 cm./ hora

Figura 13: Análisis de la velocidad de percolación



Fuente. Elaboración propia

4.2.8. Interpretación de resultados del análisis de granulometría

4.2.8.1. Interpretación de resultados del over Flow

En el cuadro correspondiente del análisis granulométrico de relave del over Flow se puede observar que con el uso del ápex de 2" se obtiene una clasificación del relave con una granulometría menor a 44 micrones equivalente a la malla -400 un promedio del 80.16%. Con el uso del ápex de 2.75" se puede observar que se tiene una clasificación del relave con una granulometría menor a 44 micrones, equivalente a la malla -400 un promedio del 91.70%.

4.2.8.2. Interpretación de resultados del under Flow

En el cuadro correspondiente del análisis granulométrico de relave del under Flow se puede observar que con el uso del ápex de 2" se obtiene una clasificación del relave con una granulometría mayor a 74 micrones equivalente a la malla +200 un promedio acumulado del 54%. Con el uso del ápex de 2.75" se puede observar que se tiene una clasificación del relave con una granulometría mayor a 74 micrones, equivalente a la malla +200 un promedio acumulado del 69.16 %.

4.2.8.3. Interpretación de resultados de la velocidad de percolación

De acuerdo con el cálculo realizado la velocidad de percolación resultante con el uso del ápex de 2" se tiene un valor de 12.5 cm/hora y con el cambio de ápex a 2.75" se obtiene un valor de 11.3 cm./hora.

Por el fundamento teórico sabemos que la velocidad de percolación óptima debe ser de 10 cm./hora, si se tiene valores menores a

4 cm./hora, la eliminación del agua va ser muy lenta retrasando el reingreso de los equipos y personal al área de operaciones de explotación; si se tiene valores mayores a 20 cm./hora, se produce el fenómeno del embudo, el relave con el agua forma conductos pequeños en el interior relleno hidráulico mediante el cual fluye la pulpa a velocidades altas ensanchándose progresivamente hasta derrumbarse en forma de un embudo.

Por lo mencionado de los resultados obtenidos podemos concluir que con el cambio del ápex de 2" a 2.75" se mejora la velocidad de percolación.

4.3. Prueba de Hipótesis

De la hipótesis general queda demostrado la hipótesis planteada; “con la reclasificación de la granulometría del relave se mejora la eficiencia del relleno hidráulico para los tajos en la minera Casapalca”.

De las hipótesis específicas:

La dimensión de las partículas para el relleno hidráulico de los tajos ha mejorado con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca; de la malla 60 al 200 mejora del 54% acumulado al 69.16% acumulado se tiene mayor dimensión de partículas de relave en el relleno hidráulico. El cual va a mejorar la eficiencia de la dimensión de las partículas.

Con la reclasificación de la granulometría del relave para el relleno hidráulico de los tajos ha mejorado la velocidad de percolación de 12.5 cm./hora a 11.3 cm./hora. Quedando demostrado que se mejora la velocidad de percolación.

4.4. Discusión de resultados

Tabla 53: Comparación de Resultados de la granulometría del under flow con ápex de 2" y 2.75"

Milímetros	Peso 2"	Peso		% 2.75"	% AC		Malla
		2.75"	% 2"		2"	2.75"	
0.250	25.00	50.06	5.00	10.01	5.00	10.01	+60
0.149	96.00	125.12	19.20	25.02	24.20	35.03	+100
0.106	73.22	90.32	14.64	18.06	38.84	53.09	+140
0.074	77.71	80.33	15.54	16.07	54.38	69.16	+200
0.053	51.24	58.03	10.25	11.61	64.63	80.77	+270
0.044	59.15	25.00	11.83	5.00	76.46	85.77	+325
0.037	45.66	21.80	9.13	4.36	85.59	90.13	+400
< 0.037	72.11	49.37	14.41	9.87	100.00	100.00	-400

Fuente. Elaboración propia

Observando la tabla anterior podemos deducir:

Con la reclasificación de la granulometría del relave para el relleno hidráulico de los tajos en la minera Casapalca; en la malla 60 de una dimensión de 250 micrones de las partículas del relave mejora en porcentaje de peso de línea base se tiene 5% y con el cambio del ápex del ciclón se obtiene un mejor porcentaje de 10.01%. En la malla 100 de una dimensión de 149 micrones de las partículas del relave mejora en porcentaje de peso de línea base se tiene 19.20% y con el cambio del ápex del ciclón se obtiene un mejor porcentaje de 25.02%.

En la malla 140 de una dimensión de 106 micrones de las partículas del relave mejora en porcentaje de peso de línea base se tiene 14.64% y con el cambio del ápex del ciclón se obtiene un mejor porcentaje de 18.06%.

En la malla 200 de una dimensión de 74 micrones de las partículas del relave mejora en porcentaje de peso de línea base se tiene 15.54% y con el cambio del ápex del ciclón se obtiene un mejor porcentaje de 16.07%.

Hasta la malla 200 se puede observar que se tiene un porcentaje acumulado en línea base de 54.38% y con el cambio de ápex del ciclón se mejora este porcentaje acumulado obteniendo 69.16%. Obteniendo una diferencia del 14.78% en peso de muestra.

En las siguientes mallas 270, 325, 400 y -400 la variación de porcentajes es mínima pero también se puede observar que con el cambio del ápex del ciclón mejoran estos porcentajes.

Asimismo, en cuanto a la velocidad de percolación se mejora con la reclasificación de la granulometría.

CONCLUSIONES

- El relave producto de la planta metalúrgica requiere una reclasificación de la granulometría para poder ser utilizado en el relleno hidráulico ya que se tiene la presencia de una gran cantidad de finos, esta condición repercute que la velocidad de percolación sea muy lenta.
- La reclasificación de la granulometría del relave mejora con el cambio de ápex de 2" a 2.75" de diámetro en el ciclón de 12" marca KREBS, por lo que hace posible mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca.
- La reclasificación de la granulometría del relave ha permitido mejorar la dimensión de las partículas del relave que se utiliza para el relleno hidráulico se mejora a mayores de 74 micrones equivalente a la malla 200 del porcentaje de 54.38% acumulado y con el cambio de ápex del ciclón se mejora este porcentaje acumulado obteniendo 69.16%. Obteniendo una diferencia del 14.78%.
- La reclasificación de la granulometría del relave ha permitido mejorar la velocidad de percolación del relleno hidráulico, como línea base se tenía 12.5 cm/hora y ahora se tiene 11.5 cm./hora.
- La reclasificación de la granulometría del relave permite mejorar las densidades del relave para el uso del relleno hidráulico, se obtiene densidades más estables el cual permite rellenar los tajos en menor tiempo.

RECOMENDACIONES

- Realizar más pruebas con el cambio de la dimensión del ápex en los ciclones para llegar a una eficiencia optima en el relleno hidráulico.
- De manera permanente se debe programar la toma de muestras de los puntos de la planta metalúrgica, del over flor y under Flow de los ciclones para controlar y garantizar una buena clasificación del relave.
- Considerar el uso del cemento y aditivos en el relleno hidráulico para acelerar la compactación y solidez del piso de trabajo de los tajos para que tenga una buena estabilidad el equipo de perforación, de esta manera evitar la desviación de taladros por tener un piso inestable.
- Considerar el reemplazo total o parcial de la batería de ciclones de acuerdo al volumen de relave que produce la planta metalúrgica ya que se tiene planeado aumentar la producción del tonelaje del mineral.
- Realizar cálculos de beneficios y costos al incrementar el uso de cemento y aditivos en la mezcla del relleno hidráulico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assureira, E. (2018). *Transporte de Partículas Sólidas por Tuberías*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Beltrán, W. (2017). Estudio Experimental de Relleno Hidráulico en la Mina Atacocha. Perú.
- Bouso, J. (2013). Manual de Bombeo de Pulpas. Madrid, España. Equipos y Procesos S.A.
- Córdova, D. (2000). Técnicas Geomecánicas Básicas para Evaluación de la Estabilidad de Excavaciones Rocosas Subterráneas. Peru, Mina Chacua.
- Dave, L. (2018). Tecnología de Pasta para Aplicaciones de Relleno Subterráneo. Peru, Golder Paste Technology Ltda. Curso Internacional.
- Delucio, F. (2012). Teoría de Relleno Hidráulico. Perú. XVII Convención de Ingenieros de Minas.
- Huancaya, G. (2018). Análisis de los Sistemas de Relleno Hidráulico en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A. Lima-Perú. Informe anual.
- Ingersoll-Dresser Pumps. (2014). Cameron Hydraulic Data. USA. Centro de investigación IDP.
- Meza, E. (2015). Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A. Lima-Perú.
- Sócrates, S. (2005). Agregados en Relleno Hidráulico para la Explotación por Cámaras y Pilares Temporales en Yacimientos Sub Horizontales. Peru Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.
- Toledo G. (2016). Reducción del Impacto Ambiental en Minas con la Disposición de Residuos en el Subsuelo. Lima Perú, Tesis universitaria, Unidad de post grado, UNMSM.

- Valera, C. (2018) Requerimiento de Relleno Hidráulico en Uchucchacua. Compañía de Minas Buenaventura S.A. Informe Anual. Perú.
- Ortiz, R. (2015). Esquema del diseño del sistema de RR.HH. Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/63>
- Hernandez, P. (2017). Gestión Integral. Recuperado de: www.casadellibro.com/libro-sostenimiento/871078

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos

INFORME DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO

Compañía Minera Casapalca S.A.

INFORME DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRÁULICO

Fecha: Casapalca, mayo 12 del 2022

A: Ing. Alexander Zamora Champin, Superintendente Mina.

De: Ing. Pedro Vega Meza, jefe del área de Relleno Hidráulico.

Se ha muestreado la Planta de Relleno Hidráulico (Fig.Nº1) los tres puntos de la batería de 4 ciclones, los días 23, 24 del pasado mes de mayo.

Cada ciclón esta anexado a una tubería matriz de 10" \emptyset en forma perpendicular; en dicha cámara se instaló un manómetro para determinar la presión; el mismo que indica un promedio de 25 lbs/pulg.². Del mismo modo se instaló en los ciclones cuya presión indica 23 lbs./pulg.², teniéndose 2 lbs / pulg.² de caída de la cámara a los ciclones.

El muestreo efectuado fue cada 1/2 hora y cada 2 horas, se determinó las densidades cuyas lecturas promedio son:

	<u>Densidades</u>	<u>Gravedad Específica</u>
1 Alimentación	= 1220	Rel. Zn. = 2.8
2 Over Flow	= 1050	Over Flow = 2.63
3 Under Flow	= 1670	Under Flow = 2.94

A cada ciclón se puso apex de 2" \emptyset para el muestreo. Con las muestras obtenidas se realizaron un screen análisis para obtener la relación del Over flow y Under Flow de la cámara de cicloneo; para cada resultado del screen análisis se ha corregido con el método de mínimos cuadrados, y con estos datos se estableció el balance de materia.

CONCLUSIONES:

- Los ciclones con apex de 2" \emptyset y 23 lbs/pulg², tienen un % de clasificación de 38.4 % para los finos y 61.66 % para los gruesos.

...//

- De acuerdo al tonelaje de alimentación durante el tiempo de muestreo (1904.9 T.M.S. del relave de la Planta) se envió a la mina 1174.494 T.M.S., como gruesos y a la cancha de relaves 730.406 T.M.S. como finos.
- Se seguirá la evaluación con apex de 2 1/4 , 2 1/2, 2 3/4 y 3" ϕ ; con lo que se obtendrá el apex óptimo; además se dará todos los resultados de eficiencia de clasificación y demás parámetros de control.

RELAVE DE ZINC (CABEZA)

<u>Malla</u>	<u>Peso</u>	<u>% Peso</u>	<u>% Acum.</u>	<u>% Passing</u>
60	29.12	5.8	5.8	94.2
100	71.46	14.3	20.1	79.9
140	60.99	12.2	32.3	67.7
200	53.47	10.7	43.0	57.0
270	52.24	10.4	53.4	46.6
325	18.14	3.6	57.0	43.0
400	19.34	3.9	60.9	39.1
-400	195.24	39.1	100.00	

OVER FLOW DE CLASIFICADORES

<u>Malla</u>	<u>Peso</u>	<u>% Peso</u>	<u>% Acum.</u>	<u>% Passing</u>
60	1.76	0.4	0.4	99.6
100	6.97	1.4	1.8	98.2
140	5.34	1.1	2.9	97.1
200	4.65	0.9	3.8	96.2
270	7.11	1.4	5.2	94.8
325	4.19	0.8	6.0	94.7
400	7.90	1.6	7.6	92.4
-400	462.08	92.4	100	

UNDER FLOW

<u>Malla</u>	<u>Peso</u>	<u>% Peso</u>	<u>% Acum.</u>	<u>% Passing</u>
60	49.17	9.8	9.8	90.2
100	110.09	22.0	31.8	68.2
140	91.35	18.3	50.1	49.9
200	78.74	15.7	65.8	34.2
270	73.84	14.8	80.6	19.4
325	23.56	4.7	85.3	14.7
400	19.89	4.0	89.3	10.7
-400	53.36	10.7	100	

-200 +270	4.8	9.4	1.0
-270 +325	5.2	6.3	1.0
-325 +400	2.1	2.5	1.1
-400	32.4	10.4	93.00

1.2.- RENDIMIENTO DEL SISTEMA EN OPERACION

El tonelaje de 50.1 T.M.S. de sólido de relaves corresponde al 63.7% del total de las colas de la concentradora. A una densidad aparente de 1.724 gramos por centímetro cúbico se rellenaría el vacío dejado por la explotación de 98.8 T.M.S. de mineral extraídas de la mina. Estimándose un 10% de pérdidas, en general, el relleno hidráulico enviado a la mina ocupa el vacío dejado por la extracción de 89 T.M.S. de mineral.

La capacidad de relleno en 23 días de operación al mes a 85% de disponibilidad de planta es el equivalente al vacío dejado por la explotación y extracción de 41,720 T.M.S.

Para cubrir las necesidades de relleno se utiliza material detrítico, de mayor manipuleo y costo que el hidráulico.

1.3.- DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL

Dos bombas Denver SRL 8" x 6" con motores de 48 H.P. proyectan los relaves de la concentradora hacia los ciclones instalados en la planta de relleno hidráulico N° 1, en donde, a una presión de entrada de 30 libras por pulgada cuadrada (p.s.i.) se produce la clasificación eliminándose un alto porcentaje de material fino hacia el over-flow.

El sistema de relleno hidráulico está formado por dos plantas de bombeo, en las que, en cada una hay instaladas tres bombas en serie de marca Denver 5" x 4" SRL movidas por motores de 36 H.P. y 1,750 revoluciones por minuto (r.p.m.).

En la figura 1 correspondiente al sistema actual de relleno hidráulico se ha calculado el alcance de cada planta. Este ha sido graficado indicándose el mismo mediante las líneas de gradiente hidráulica.

Nuestro relleno hidráulico tiene una densidad promedio de 1,635 gramos por centímetro cúbico. A éste le corresponde una pulpa de 29.4% de sólidos en volumen y de 56.8% en peso.

Un promedio de 237 galones por minuto (g.p.m.) de relleno hidráulico de las características mencionadas fluyen a lo largo de las tuberías disponiendo en los tajeos una cantidad de 50.1 T.M.S. de sólidos por hora, para ocupar un volumen de 29.1 metros cúbicos. (Altura 67 TMS \rightarrow 40mc³) Por hora.

La pulpa encuentra una resistencia al flujo de un caudal de agua limpia de 306 g.p.m. equivalente. La resistencia al flujo es de 9.6% en tubería de 4" interiores según la fórmula de Hazen y Williams para un coeficiente de conducto de C=100.

La planta de bombeo del nivel "0" abastece a la planta "booster" del nivel +50 con una cabeza hidráulica insuficiente. Esta cabeza es cubierta por la primera bomba de la serie del nivel alto al desarrollar un efecto de succión de cerca de 70 pies como se deduce en el cálculo:

Cabeza necesaria:

Altura= 50 m. x 3.28 x 1.635=	268'
Fricción= 487 x 3.28 x 0.095=	152'
	<hr/>
	420'

Alcance de las tres bombas

Cabeza total= 117 x 3	351'
-----------------------	------

Succión necesaria en la planta booster= 69'

También es curioso el caso que se presenta en las ocasiones en que se rellena los tajeos del sector norte de los niveles -50 y -100, al encontrarse que la serie de las

bombas de la planta del nivel "0" no está en capacidad de llevar las pulpas a lo largo del nivel "0" hasta la ubicación de la chimenea N° 1 Veta 5. Sin embargo, como el bombeo inicial es de agua, que la instalación sí puede disponer, el conducto integral actúa como sifón ayudando al relave a fluir hacia su destino. Es de prever que, al ascender la explotación de los tajos del nivel -50 unos pisos mas, no será posible rellenar éstos en las mismas condiciones en las que hasta ahora se viene efectuando.

1.4.- CAPACIDAD DE LOS MOTORES DE LAS BOMBAS

Las seis bombas de las dos plantas de relleno giran a una recomendable velocidad de 1,350 revoluciones por minuto (r.p.m.) por transmisión de fajas movidas por motores de 36 H.P. y 1,750 r.p.m.

A flujo normal, es decir 237 g.p.m. de pulpas la energía requerida en la barra es de:

$$\text{B.H.P.} = \frac{237 \times 117}{3,960 \times 0.44} = 16 \text{ H.P.}$$

Y, a flujo equivalente de 306 g.p.m. de agua limpia se requiere:

$$\text{B.H.P.} = \frac{306 \times 108}{3,960 \times 0.52} = 16 \text{ H.P.}$$

Estimando pérdidas por transmisión del 10% y una eficiencia de motores de 85% se deduce que la potencia de los motores debe ser de 21 H.P.

Motores de 25 H.P. nos dan un amplio margen de seguridad del 20% con lo que alcanzaríamos un ahorro de energía del 30%, que, para las seis bombas es de un total de ~~58~~ 126 H.P.

2.- PROYECCIONES DEL RELLENO HIDRAULICO EN MILPO

La planta concentradora debe continuar elevando sus niveles de procesamiento de minerales hasta alcanzar un

95% del tiempo total, lo que significaría un tratamiento de 63,000 T.M.S.

Teniendo en cuenta que parte del mineral proviene de labores que no necesitan relleno, calculamos que la cantidad de relave que hay que disponer en la mina para rellenar los tajeros es de:

$$\frac{63,000 \times 0.9}{3.4} \times 1.724 \times 1.1 = 31,625 \text{ T.M.S. de sólidos}$$

cantidad que significa el 62.7% del total de sólidos evacuados en las colas de la concentradora a esos niveles de producción. Esa proporción es similar a la que se tiene actualmente en vigencia.

2.1.- NECESIDADES FUTURAS

Las instalaciones de relleno hidráulico deben adaptarse a las necesidades futuras, muchas de las cuales han sido tratadas en varias ocasiones.

El servicio debe extenderse, del modo mas aparente y económico posible, hacia el nivel -200 e inferiores.

La operación de relleno debe continuar en las ocasiones en que la planta concentradora suspenda el tratamiento. Para ello debemos contar con un depósito de relaves de reserva.

Eventualmente es necesario fabricar losas sólidas en los tajeros. Estas se consiguen incorporando cemento al relleno hidráulico, siendo objeto de este reporte encontrar la forma mas conveniente de la aplicación.

2.1.1.- RELLENO HIDRAULICO HACIA LOS NIVELES INFERIORES

Repetidas veces se ha tratado sobre la apertura de una chimenea desde los alrededores de la planta concentradora hacia los niveles inferiores de modo que se aproveche la gravedad para enviar el relleno hidráulico.

La concentradora se encuentra a un nivel de

unos cuarenta metros sobre el nivel -100. El flujo de relaves en el caudal deseado sólo llegaría hasta a unos 500 metros al norte de la chimenea en ese nivel. Sería necesario, además, instalar equipo adicional de inyección de relave y de cicloneo.

Desde la planta de relleno hidráulico N° 1, en el nivel "0", hay una altura de 100 metros sobre el nivel -100. Esta planta, que cuenta con los ciclones que reciben la inyección del total del relave, parece ser lo más adecuado a considerar como el punto de partida del relleno hacia los niveles inferiores; con ello se tornaría en el punto central del sistema, puesto que desde la misma planta se envía el relleno hacia la parte alta de la mina.

El relleno hidráulico será posible disponerlo por gravedad a todas las labores del nivel -200 y llegará a los primeros pisos de los tajeos alejados del nivel -100.

El alcance del relleno por bombeo y por gravedad ha sido graficado en la figura N° 2.

En ese gráfico también puede observarse que la alimentación a la estación de bombeo del nivel +50 es a presión insuficiente. Las instalaciones de bombeo del nivel "0" deben habilitarse para cubrir esa insuficiencia y a la vez vencer la resistencia de la línea del nivel "0" hasta la Chimenea N° 1 de Veta 5 para poder rellenar los pisos altos de los tajeos del nivel -50.

Ambos problemas serían resueltos si se instala una cuarta bomba Denver SRL de 5" x 4", de las mismas características que las actuales, en la planta del nivel "0". Esta podría ser tomada de la planta del nivel +50 que conservaría, por lo menos, el alcance que ahora tiene.

Los alcances del bombeo de relleno hidráulico con las modificaciones que se manifiesta pueden ser visualizados en la figura N° 3.

2.1.2.- ALMACENAMIENTO DE SOLIDOS PARA RELLENO HIDRAULICO

La planta de relleno hidráulico podría operar durante las paradas de la planta concentradora si se dispusiera de un depósito de, al menos ~~600~~⁵⁰⁰ metros cúbicos de capacidad, el que permitiría continuar rellenando por 24 horas luego de la paralización de la planta. Se estima que, en el futuro, los períodos de paradas en la concentradora no deben ser mayores que ese lapso.

En las condiciones actuales, en que la planta concentradora opera un promedio de 23 días mensuales, con unas 50,700 TMS de capacidad de procesamiento, ⁽²⁴⁾ la planta de relleno hidráulico podría funcionar por 26 días, que, a una disponibilidad normal de 85% alcanzaría un rendimiento suficiente para cubrir el vacío dejado por la extracción de 52,400 TMS.

Habiéndose deducido que, por razones de ubicación, es conveniente seguir utilizando la planta de relleno hidráulico del nivel "0", como punto de partida del relleno hacia todo destino, el depósito, o tanque de reserva, debe ubicarse en un nivel mayor que esta planta, de manera que sirva para almacenar relave cicloneado que, por gravedad, retornaría a la misma planta, para ser enviado a cualquier destino cuando la planta concentradora paralice y suspenda el bombeo de colas.

Un esquema de la ubicación del tanque de reserva en relación con la planta de relleno hidráulico y sus líneas puede apreciarse en la figura N° 4.

El terreno ha sido inspeccionado habiéndose encontrado que existe área suficiente para ubicar el tanque que se recomienda instalar y cuya forma sería la de un cilindro de 10.0 mts. de diámetro y 6.5 mts. de altura con una base tronco cónica invertida de 5.0 mts de alto.

2.1.3.- EMPLEO DE CEMENTO

La planta de relleno hidráulico del nivel "O", que se constituiría en el centro de la operación, sería también el punto a enviar el cemento que se utilizaría para la elaboración de losas de distinta consistencia.

Es conveniente considerar la alimentación de cemento con agua con el fin de evitar el polvo en suspensión en el ambiente de la planta.

A manera de prueba se recomienda instalar una pequeña tolva de cemento con un alimentador y una celda de agitación en un lugar accesible en la parte alta de la concentradora antigua.

Por medio de una pequeña bomba (tipo Denver SRL de 1½" x 1¼") se enviaría la pulpa de cemento a través de una tubería de 2" de diámetro hacia la tolva de la planta de relleno; desde allí, conjuntamente con los sólidos, en la pulpa previamente clasificada sería expedida hacia la mina.

Una mezcla de uno de bentonita por diez de cemento será conveniente disponer para evitar la deposición del cemento en la tubería. En la figura 4 se observa la ubicación esquemática de la instalación de prueba recomendada.

En operación normal, el cemento que se alimenta al tanque de mezcla de la planta de relleno hidráulico debe provenir de un silo de unas 200 toneladas métricas de capacidad (140 metros cúbicos) ubicado en los alrededores de la planta de relleno. Este silo se abastece y descarga en forma neumática.

Los camiones transportan bolas contenedoras herméticas de unas quince toneladas métricas de capacidad con una alimentación por la parte superior que se sella con una compuerta de ajuste de tuerca del tipo mariposa. La descarga es neumática y se realiza por la parte inferior por inyección de aire comprimido mediante la utilización de una serie de vál-

vulas dispuestas del modo que puede apreciarse en la figura N° 5. En la misma figura se puede observar las conexiones de aire comprimido necesarias para la inyección de éste para la descarga de las bolas y llenado del silo.

El silo de cemento es un cilindro de unos 5.0 metros de diámetro y seis de alto con un cono invertido en su base de 2.5 mts. de alto. Con una capacidad de 150 mts. cúbicos está en condiciones de ser utilizado para el vaciado continuo de una losa de mezcla 1:6 en un tajeo de 600 metros cuadrados de área y una altura de 1.5 metros.

El silo tiene doble entrada en tubo de 4" de diámetro, desde los camiones bola y desde un tanque desareador. Cuenta también con un punto de desfogue anexo a un filtro en la parte superior.

El silo alimenta al tanque desareador en forma intermitente mediante una compuerta ubicada en su base, la que es accionada por un pistón que funciona automáticamente de acuerdo al nivel de carga de cemento en el tanque desareador.

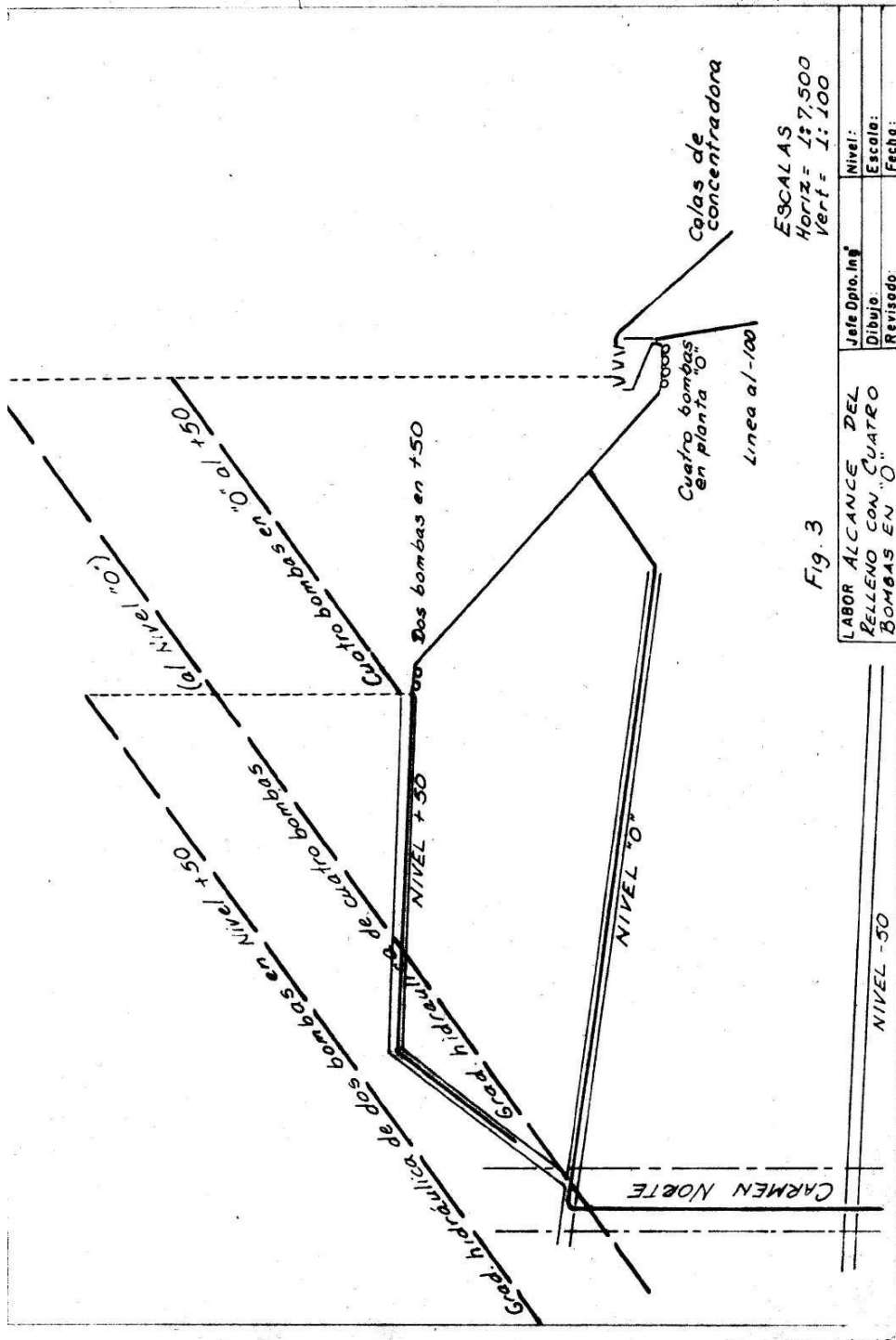
Bajo el mismo estímulo funciona también un vibrador colocado en la superficie de la parte cónica del silo. Este vibrador se usa para hacer que la carga esté constantemente descendiendo dentro del silo.

El cemento es tomado en forma regular desde el tanque desareador pasándose al mezclado con el relave, ya sea a través de faja transportadora o, en forma de pulpa, por tubería.

El flujo de la alimentación de cemento desde el silo puede apreciarse en la figura N°6.

Mediante observación en el campo se detallará la ubicación precisa del silo y los otros elementos de almacenamiento y alimentación del cemento a la planta de relleno hidráulico.

LINEA DE GRADIENTE 1 DEL RELLENO HIDRAULICO



LINEA DE GRADIENTE 2 DE RELLENO HIDRAULICO

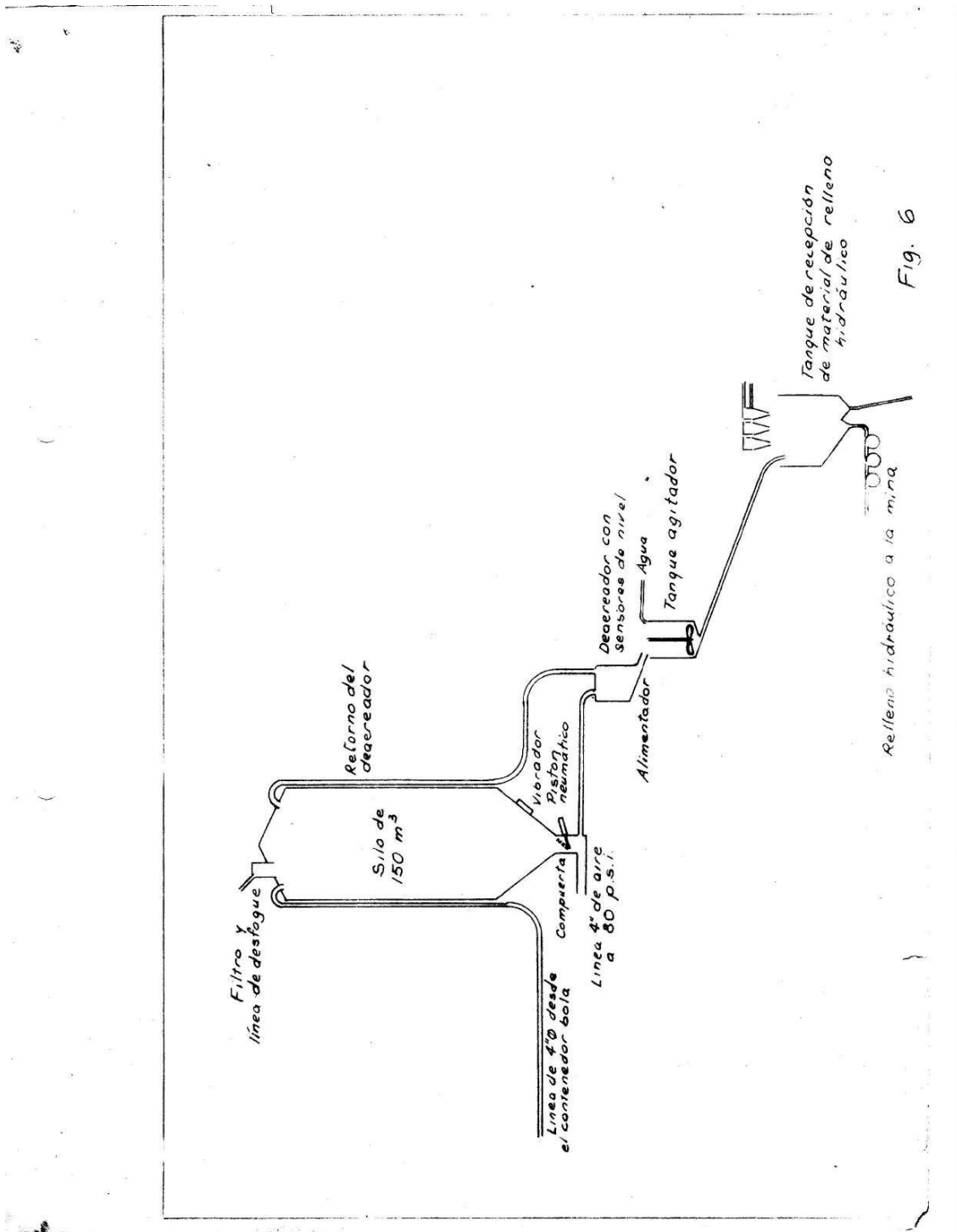
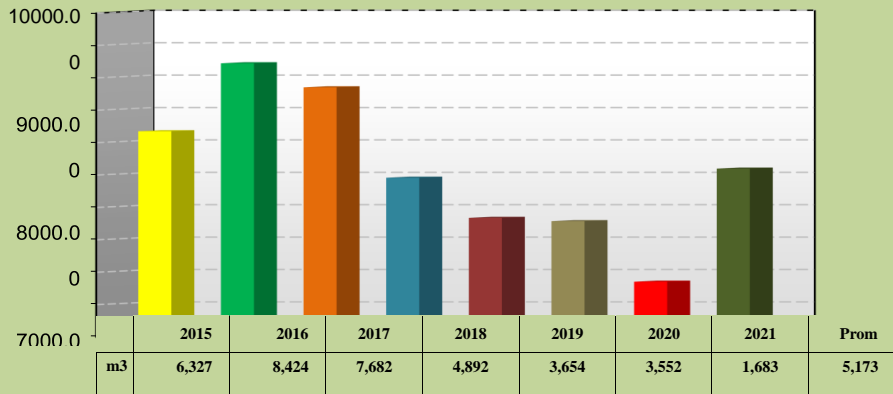


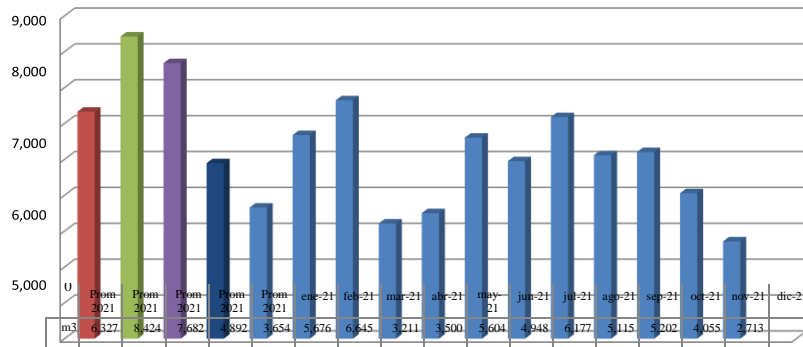
Fig. 6

Histórico de Velocidad de Percolación en Relleno

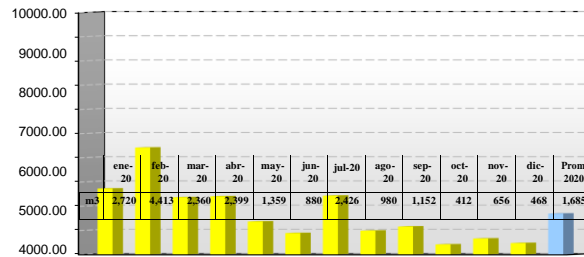


Metros3/mes

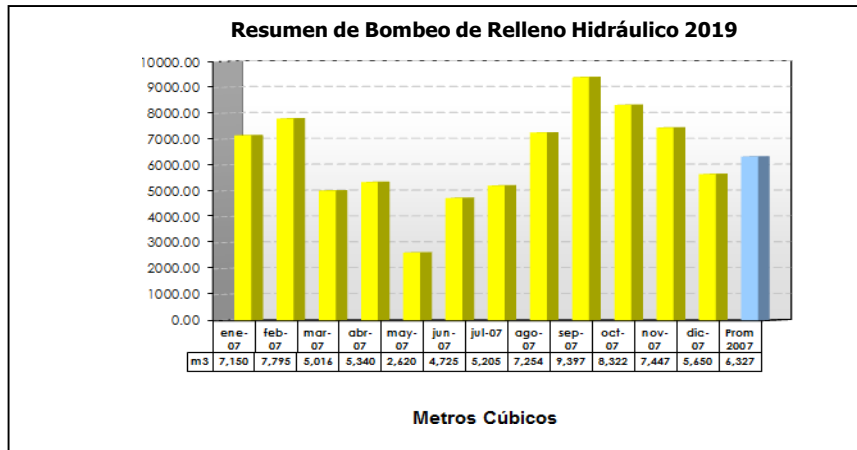
Resumen de Bombeo de Relleno Hidráulico 2,021



Resumen de Bombeo de Relleno Hidráulico 2020



Metros Cúbicos



RELAVES MINA PERCOLADO S							
FECHA	RELA VE		Bombeo RH a Tajos Mina	relleno Hidraulico percolado en tajos minas	Costos Relleno Hidráulico (Mano de obraCia. + suministro)		
	Relave de Planta	Relave de gruesos disponibles (m3)	Relaves gruesos bombeados a tajosm3	m3 de relaves gruesos dispuestos en los tajos	S/.	US D	USD/m3
Ene-21	79,991.00	13,792.00	3,284.00	2,299.00	66576.45	24737.11	10.76
Feb-21	77,712.00	13,399.00	2,966.00	2,076.00	76816.55	28676.73	9.67
Mar-21	82,965.00	14,304.00	2,807.00	1,965.00	80997.46	30321.19	10.8
Abr-21	82,759.00	14,269.00	5,098.00	3,569.00	74298.82	28032.18	5.5
May-21	82,608.00	14,243.00	6,603.00	4,622.00	72924.39	26979.04	4.09
Jun-21	81,723.00	14,090.00	2,660.00	1,862.00	109858.91	41164.48	15.48
Jul-21	82,149.00	14,164.00	6,177.00	4,324.00	94253.19	35805.55	5.8
Ago-21	83,406.00	14,380.00	5,115.00	3,581.00	77365.72	29553.87	5.78
Set-21	78,254.00	13,492.00	5,202.00	3,642.00	75591.55	29024.47	5.58
Oct-21	84,511.00	14,571.00	7,264.00	5,085.00	100785.17	38777.37	5.34
Nov-21	77,891.00	13,429.00	3,018.00	2,112.00	65000.43	25208.62	8.35
Dic-21	84,162.00	14,511.00	2,807.00	1,965.00	127694.39	50026.74	17.82
Promedio	81,511.00	14,054.00	4,417.00	3,092.00			8.75
TOTALES	978,131.00	168,644.00	53,001.00	37,102.00	1,022,163.03	388,307.35	104.97

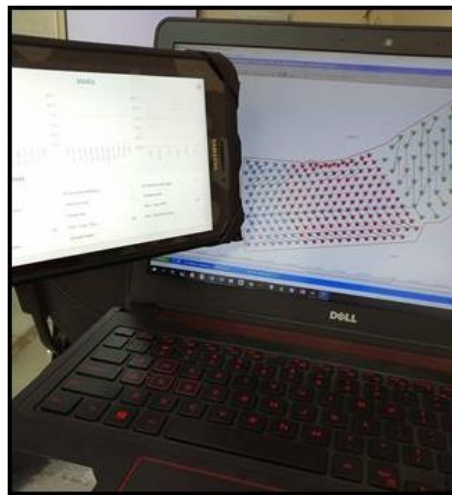
Relaves							
Fecha	Relave		Bombeo RH a Tajos Mina	Relleno Hidráulico percolado en Tajos Mina	Costos Relleno Hidráulico (Mano de Obra Cía. + suministros)		
	Relaves de Planta (TMS)	Relaves gruesos disponibles (M3)	Relaves gruesos Bombeado a Tajos (M3)	M3 de Relaves gruesos dispuestos en los Tajos	S/.	USD	USD/m3
Ene-20	84,223	14,521	2,720	1,632	75,613.00	29,319.00	10.78
Feb-20	78,356	13,510	4,412	2,647	86,676.00	33,493.00	7.59
Mar-20	83,502	14,397	2,360	1,416	103,484.00	39,993.00	16.95
Abr-20	54,513	9,399	2,399	1,439	49,391.00	18,726.00	7.81
May-20	83,007	14,312	0	0	123,129.00	44,343.00	0.00
Jun-20							
Jul-20							
Ago-20							
Sep-20							
Oct-20							
Nov-20							
Dic-20							
Promedio	76,720	13,228	2,293	1,605			10.78
TOTAL S	383,602	66,138	11,891	7,135	438,293	165,874	

Figura 14: Cronometro.



Fuente. Propia

Figura 15: Laptop para registrar y procesar datos.



Fuente. Propia.

Figura 16: Kit de Control de densidades.



Fuente. Elaboración propia



ANEXO 02

Procedimiento de validación y confiabilidad

HOJA DE EVALUACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS INFORMATIVOS

Apellido y Nombre del Informante	Cargo o Institución donde Labora	Nombre del Instrumento de Evaluación	Autor del Instrumento
Mg. UGARTE GUILLERMO Luis Alfonso	Docente del Programa de Ingeniería de Minas	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	Bach. Difer SALCEDO CAPCHA


Título: "Reclasificación de la Granulometría del Relave para Mejorar la Eficiencia del Relleno Hidráulico en los Tajos de la Minera Casapalca"

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0- 20%	Regular 21- 40%	Buena 41- 60 %	Muy buena 61-80%	Excelente 81- 100%
1. TITULO	Hace referencia al problema mencionado en las variables				X	
2. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				X	
3. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.				X	
4. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.			X		
5. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				X	
6. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.				X	
7. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.				X	
8. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico-científicos.				X	
9. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones.				X	
10. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	

III. OPINION DE APLICABILIDAD: La investigación realizada es muy importante porque efectúa el análisis granulométrico del relave para reclasificar y mejorar la velocidad de percolación con el objetivo de optimizar el tiempo de operaciones de minado. Es una base de datos para la aplicación en cualquier empresa minera.

IV. PROMEDIO DE VALORACION: Muy Buena 70%

Cerro de Pasco, 02 de mayo del 2023	04020437		970467746
Lugar y fecha	DNI	Firma del Experto Ingeniero de Minas CIP. 55042	Teléfono

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Reclasificación de la granulometría del relave para mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
General	General	Hipótesis general		Tipo de Investigación	
¿Es posible mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca?	Mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca	La reclasificación de la granulometría del relave permite mejorar la eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca.	Variable independiente	Es experimental-aplicativo, el trabajo se ubica en un nivel de profundización descriptivo, correlacional con relación a los objetivos considerados.	Población
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Método de Investigación	Muestra
a) ¿La reclasificación de la granulometría del relave permitirá mejorar la dimensión de las partículas del relave para el relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca?	a) Mejorar la dimensión de las partículas del relave para el relleno hidráulico de los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.	a) La dimensión de las partículas del relave mejora para el relleno hidráulico de los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.	Variable Dependiente	Por los objetivos de la investigación el método es lógico donde se utiliza el análisis, la deducción y la síntesis, asimismo mediante la observación se determinan los valores y todos los resultados del objeto en estudio.	Muestra
b) ¿La reclasificación de la granulometría del relave permitirá mejorar la velocidad de percolación del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca?	b) Mejorar la velocidad de percolación del relleno hidráulico en los tajos con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.	b) La velocidad de percolación del relleno hidráulico en los tajos mejora con la reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.	X: Reclasificación de la granulometría del relave en la minera Casapalca.		Tajos en explotación para el relleno hidráulico de la minera Casapalca.
			Y: Eficiencia del relleno hidráulico en los tajos de la minera Casapalca.		El tajo en explotación éxito-2 y veta-3, zona oeste del nivel tres de la minera Casapalca