

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA**



**“REUTILIZACION DE RELAVES ANTIGUOS DEPOSITADOS
EN LA CANCHA N°4 PARA LA OPERACIÓN DEL RELLENO
HIDRAULICO EN LA UNIDAD OPERATIVA ARCATA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ELABORADO POR:

ARTURO VICENTE SIFUENTES NUÑEZ

ASESOR:

MSc. ING. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO

LIMA-PERU

2014

DEDICATORIA

A mis Padres Vicente y Magda, porque creyeron en mí y me sacaron adelante, quienes han sabido formarme con buenos sentimientos y valores.

A mi esposa Isabel, por su apoyo incondicional, por la comprensión y consejos en los momentos más difíciles.

A mi hermana Carmen, por contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional de Ingeniería, en cuya escuela de formación profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica formaron en mí al profesional que hoy en día soy.

Debo agradecer a Compañía Minera Ares S.A.C. Unidad Operativa Arcata por haberme permitido y brindado todo el apoyo para la realización del presente trabajo de investigación, de igual manera a la Compañía Minera Pan American Silver S.A. Unidad Operativa Huaron en cuyas instalaciones crecí y me desarrolle como persona y profesional.

Finalmente, me gustaría que estas últimas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo.

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I GENERALIDADES DE COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C. U.O.

ARCATA	16
1.1. UBICACIÓN	16
1.2. ACCESO	17
1.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	19
1.4. LOCALIZACIÓN REGIONAL	19
1.5. GEOLOGÍA LOCAL Y ESTRUCTURAS	19
1.5.1. Rocas de Caja	19
1.5.2. Estructuras	20
1.5.3. Tipos de Alteración	20
1.6. MINERALIZACIÓN ECONÓMICA	22
1.7. MINERALOGÍA	23
1.8. MINADO SUBTERRÁNEO	24
1.8.1 Método de Explotación	26
1.8.2. Ciclo de Minado	27
1.9. PLANTA CONCENTRADORA	34
1.9.1 Sección de Chancado	34
1.9.2. Sección de Molienda	35
1.9.3. Sección de Flotación	37
1.9.4. Sección de Espesamiento y Filtrado	37
1.9.5. Sección de Relave	37

CAPÍTULO II ASPECTO CONCEPTUAL DE RELLENO HIDRÁULICO

2.1 GENERALIDADES	39
2.2 VENTAJAS DE RELLENO HIDRÁULICO	40
2.3 DESVENTAJAS DE RELLENO HIDRÁULICO	41

2.4	PULPA	42
2.4.1.	Pulpa Homogénea	42
2.4.2.	Pulpa Heterogénea	42
2.5	CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS PARA RELLENO HIDRÁULICO	42
2.5.1.	Clasificación de los Sólidos para el Relleno Hidráulico	43
2.5.2.	Análisis Granulométrico	43
2.5.3.	Coeficiente de Uniformidad	48
2.5.4.	Velocidad de Percolación	49
2.5.5.	Densidad Aparente	50
2.5.6.	Contenido de Agua	51
2.5.7.	Grado de Saturación	51

CAPÍTULO III RELLENO HIDRÁULICO U. O. ARCATA

3.1	CLASIFICACIÓN DEL RELAVE	53
3.1.1	Rendimiento de la Clasificación	54
3.2.	LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DEL RELAVE CLASIFICADO	57
3.3.	DISTRIBUCIÓN DEL RELAVE EN MINA	58
3.4.	DEMANDA DE RELLENO HIDRÁULICO	59
3.5.	OFERTA DE RELLENO	60
3.6.	BALANCE DEL RELAVE	62
3.7.	DÉFICIT DEL RELAVE	63
3.7.1	Alternativas para cubrir el Déficit del Relave	64

CAPITULO IV REUTILIZACIÓN DE RELAVES ANTIGUOS

4.1	PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DE RELAVES ANTIGUOS	66
4.1.1	Objetivos	66
4.1.2	Descripción del Proyecto	66
4.1.3	Trabajos Previos	67
4.2.	PROCESO DE OPERACIÓN DE REPULPEO DE RELAVE	68
4.2.1	Acumulación del Relave	68
4.2.2.	Movimiento de Relave	69
4.2.3.	Repulpeo de Relave	73
4.2.4.	Sistema de Bombeo	74

4.3.	ANÁLISIS DE RELAVE A TRANSPORTAR	74
4.4.	DÉFICIT A CUBRIR POR EL SISTEMA DE REPULPEO	77
4.5.	PARÁMETROS DE BOMBEO	79
4.6	CALCULO DE VELOCIDADES	82
4.7	ALTURA DINÁMICA TOTAL DEL SISTEMA DE BOMBEO	85
4.8.	PUNTO DE OPERACIÓN Y POTENCIA ELÉCTRICA REQUERIDA	89
4.9.	SELECCIÓN DE BOMBA	90
4.10.	SUMINISTRO DE AGUA PARA BOMBEO	92

CAPITULO V CONSIDERACIONES ECONÓMICAS DEL PROYECTO DE REPULPEO DE RELAVES ANTIGUOS

5.1.	GENERALIDADES	93
5.2.	INVERSIÓN	94
5.2.1.	Obras de Infraestructura	94
5.2.2.	Implementación del Sistema de Bombeo	96
5.3.	COSTO DE OPERACIÓN DEL PROYECTO DE REPULPEO DE RELAVES.	99
5.3.1.	Costo de Depreciación del Proyecto	99
5.3.2.	Costo de Energía	99
5.3.3.	Costo por Mano de Obra	100
5.3.4.	Costo Mantenimiento	101
5.3.5	Costo p4r movimiento de relave	102
5.4.	INFORMACIÓN ECONÓMICA DEL MINERAL EXTRAÍDO	103

CAPITULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DEL PROYECTO

6.1	CONSIDERACIONES TOMADAS	107
6.2.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO	107

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
---------------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	114
---------------------	-----

ANEXOS	
---------------	--

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Arcata	18
Figura 2	Relación Equipos de Mina	25
Figura 3	Indicadores de Productividad Limpieza	28
Figura 4	Indicadores de Productividad Limpieza	30
Figura 5	Esquema de Explotación por corte y Relleno Ascendente (1.).	32
Figura 6	Esquema de Explotación por corte y Relleno Ascendente (2)..	33
Figura 7	Rango de Tamaño de Partículas de los Materiales	44
Figura 8	Grafico Modificado de la Velocidad de sedimentación (1)	83
Figura 9	Grafico Modificado de la Velocidad de sedimentación (2	84
Figura 10	Abaco propuesto por Mc. Elvain y Cave (1972) para determinar el Valerk	88
Figura 11	Selección de la Bomba en función al punto de operación del Sistema	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Análisis Granulométrico del Relave Enero 2014.....	45
Tabla 2	Análisis Granulométrico del Relave Abril 2014.....	46
Tabla 3	Análisis Granulométrico del Relave Julio 2014.....	47
Tabla 4	Clasificación de Arenas según su humedad.....	54
Tabla 5	Análisis granulométrico - Clasificación del nido de ciclones.....	56
Tabla 6	Programa de Producción de Mina 2014.....	59
Tabla 7	Programa de Relleno 2014.....	60
Tabla 8	Producción de Relave 2014.....	61
Tabla 9	Balance de Relave 2014.....	62
Tabla 10	Programa de Producción Mina 2013.....	65
Tabla 11	Balance de Relave 2013.....	64
Tabla 12	Resumen de Movimiento de Relave.....	73
Tabla 13	Análisis granulométrico de Relave de la Cancha N° 4.....	75
Tabla 14	Construcción de muro de contención	95
Tabla 15	Construcción de Loza de Concreto.....	95
Tabla 16	Incremento de Altura de Muro perimetral de la loza.....	96
Tabla 17	Resumen de Inversión de Infraestructura.....	96
Tabla 18	Bomba de lodos.....	97
Tabla 19	Línea de Bombeo.....	97
Tabla 20	Resumen de la Implementación de Bombeo.....	97
Tabla 21	Construcción de reservorio de 100m3.....	98
Tabla 22	Depreciación del Proyecto.....	99
Tabla 23	Costo de Energía.....	100
Tabla 24	Costo por Mano de Obra.....	101
Tabla 25	Mantenimiento del Sistema de Bombeo.....	101
Tabla 26	Movimiento de Relave.....	102
Tabla 27	Resumen de costos de Operación.....	102
Tabla 28	Costo Total 2014.....	104
Tabla 29	Análisis Financiero del Proyecto de Repulpeo de Relaves.....	108
Tabla 30	Resumen de Factores Financieros del Proyecto.....	109

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Histórico de extracción de la unidad Arcata	116
Anexo 2	Método de explotación 2013	117
Anexo 3	Método de explotación 2014	118
Anexo 4	Variación del precio de la Plata	119
Anexo 5	Ubicación de la cancha de relaves N°4 y Poza de repulpeo	120
Anexo 6	Flowsheet de oferte de Relleno Hidráulico	121
Anexo 7	Operación de Relleno Hidráulico 2013	122
Anexo 8	Operación de Relleno Hidráulico 2013	123
Anexo 9	Horas de operación de bombas – Sistema de Relleno Hidráulico 2014	124
Anexo 10	Costo unitario del relleno Hidráulico 2014 - \$/ton	125
Anexo 11	Costo unitario del relleno Hidráulico 2014 - \$/m3	126
Anexo 12	Relación de costos Repulpeo – Total	127

RESUMEN

La presente Tesis tiene como objetivo desarrollar un método que permita disponer de relave como relleno en las cantidades que la operación requiera sin correr el riesgo de desabastecimiento a partir de la reutilización de relaves antiguos y la implementación un sistema de repulpeo, con la finalidad de cumplir con los metas de producción a corto y mediano plazo de la U.O. Arcata dado el escenario coyuntural que se ha presentado a partir del segundo semestre del año 2,013.

Se reutilizara relaves depositados en la antigua Cancha de Relave N°4, que luego de un proceso de sectorización para determinar aquellas zonas de buena granulometría que contengan partículas gruesas (malla +200) en porcentaje mayores a 80% serán removidas y transportadas hacia la zona de acumulación donde se hará el repulpeo y por medio de una bomba de lodos se transportará el relave en forma de pulpa hacia la Planta de Clasificación de Relaves juntándose con el relave generado por la Planta Concentradora. Para tal efecto se realizara trabajos de infraestructura previos así como se adquirirá una bomba según el diseño obtenido.

Para el desarrollo de la presente Tesis, se han puesto en práctica conceptos de hidráulica, transporte de sólidos por tuberías con la finalidad de determinar el sistema de repulpeo a diseñar; así mismo se han desarrollado conceptos básicos financieros para demostrar la viabilidad económica del proyecto.

ABSTRACT

The objective of this thesis is develop a method to use tailings as backfill as much as the operation require without the risk of shortage caused by reuse of old tailings and the implementation of reslurry, removal and transfer of tailings, in order to comply goals of production to short and medium term of U.O. Arcata because of the conjuncture since second semester of 2013.

We're going to reuse deposited tailings in the last Cancha de Relave N° 04, after a sectorization process to determine areas with good grading which contain coarse particles (mesh +200) in a bigger percentage than 80% to remove and transport it to the accumulation area where the reslurry will work and by a mud pump, tailings will be transported in form of pulp to the tailings classification plant plus tailings generated by mineral processing plant. Previously, infrastructure buildings should be starting as well as the requirement of pump according to the obtained design.

To develop this thesis, we use hidraulic concepts, solids transport by pipes in order to design the correct reslurry system; so the same, we develop financial basic concepts showing the economic viability of the project.

INTRODUCCIÓN

Este presente Tesis busca resolver el problema de cómo lograr mantener los niveles de relleno que la operación a diario requiere a fin de no poner en riesgo el cumplimiento de objetivos de producción de la U.O. Arcata trazadas a corto y mediano plazo.

El método de explotación de las estructuras mineralizadas en la U.O. Arcata es el de Corte y Relleno Ascendente para lo cual se utiliza el relave como uno de los materiales a usar como relleno de los espacios vacíos generados en los tajos. El otro material usado son los desmontes generados por los descajes (voladuras en la roca encajonante) realizados en la labor para dar facilidad al libre tránsito de los equipos de bajo perfil (scooptram de 0.75 yd³) utilizados en la limpieza; este desmonte dado a su esponjamiento representa el 35% del volumen a rellenar y en una menor cantidad son los desmontes generados durante la preparación de las labores de desarrollo que es utilizado como relleno durante el primer corte de los tajos

El Relleno Hidráulico continúa siendo el método más eficiente, rápido y de menor costo para cubrir los espacios vacíos dejados durante la explotación de la estructura mineralizada, permitiendo que el ciclo de minado sea más

dinámico. Por tales motivos en la U.O. Arcata casi la totalidad de relleno usado es relave que es enviado a la mina en forma de relleno hidráulico; constituyendo esta operación una actividad crítica, por lo que un retraso en su operación conllevaría al no cumplimiento de objetivos programados.

Hacia la mitad del año 2,013 de una totalidad de 53 tajos de explotación que se tenían en la U.O Arcata, 29 tajos utilizaban el rastrillo convencional para la limpieza del mineral roto y 24 utilizaban scooptram para la limpieza. Estas labores donde se usaban los scooptram históricamente han presentado altos niveles de dilución o contaminación del mineral entre 60% a 80%, por el mismo hecho de que el ancho roto de la labor (para que transite el equipo) es mayor al ancho de la estructura mineralizada.

La coyuntura de los precios de los metales que se vive desde mediados del año 2,013 y la necesidad de lograr obtener un mineral roto con valores económicos aceptables para la organización han hecho que se replantee la forma de la limpieza del mineral roto dentro de los tajos, siendo el objetivo reducir al máximo la dilución del mineral; por lo que se ha visto la necesidad de reducir el uso de los scooptram para la limpieza de los tajos a tan solo 5 tajos, cuyas potencias actuales de la veta aun permiten controlar la dilución y mantener dentro lo aceptable, el valor económico del mineral.

La producción diaria a partir del segundo semestre del 2,013 de los tajos y de los avances en mineral se ha incrementado entre 1,800 a 1,900 toneladas. Por otro lado, desde inicios del año 2,012 se ha venido extrayendo mineral de baja ley acumulado en una cancha antigua denominada Macarena, las cuales han aportado un tonelaje entre 500 a 600 toneladas diarias al tratamiento de la

Planta Concentradora que tiene una capacidad instalada para tratar 2,500 toneladas.

Según el programa de extracción de la Cancha de Macarena, solo habrá aporte hasta Marzo del año 2014.

El escenario que se presenta a partir del segundo trimestre del 2014 no es nada favorable para la operación de Relleno Hidráulico, primero porque al disminuir los tajos que usaban el desmonte descajado como relleno, se va a requerir aumentar más la oferta de relave para la mina y segundo porque al cerrar la Cancha de Macarena se dejara de generar relave adicional (150 m³ aproximadamente) producto del tratamiento de este mineral que no requería ser cubierto nuevamente.

Para finales del primer trimestre del año 2,014, el desabastecimiento de relave será significativo ya que para la producción de 1,900 toneladas de mineral se generarán algo de 700 m³ de espacios vacios que ahora tendrán que ser rellenados en su totalidad con relave, mas aun teniendo en cuenta que el porcentaje útil del relave generado en Planta es alrededor del 51% solo se contará con una disposición de 550 m³ de relave esponjado.

Por tales razones es que se planteo la pregunta. ¿Cómo cubrir la demanda de relleno en cantidades que satisfagan las necesidades de la operación sin contar con relleno de “descaje” y el generado por el tratamiento de la Cancha de Macarena?

La respuesta a esta interrogante se describe en el presente trabajo de investigación, en la cual se sustenta la reutilización de relaves antiguos que permita cubrir el déficit proyectado a partir de la implementación de un sistema

de repulpeo y con ello no poner en riesgo el cumplimiento de la producción para el 2,014 y en lo sucesivo para los años venideros, por retrasos en el relleno de los tajos.

La fuente de donde se obtiene el relave es la antigua Cancha de Relave N°4 que está muy próxima a las instalaciones de la Planta de Clasificación de relave, por lo que el transporte del relave a dichas instalaciones se realiza con volquetes de 12m³.

El sistema de repulpeo consta de una Poza donde se acumulara relave proveniente de la Cancha N°4 en cantidades requeridas según el programa diario de relleno y que luego mediante el accionar de una bomba sumergible para lodos se envía el relave en forma de pulpa a la Planta de Clasificación adicionándose al relave generado en la Planta Concentradora.

En Capítulo IV del presente trabajo se detalla el la metodología utilizada para la reutilización de relaves antiguos desde el proceso de estudio del relave a transportar, siguiendo por la determinación de los parámetros técnicos de bombeo y culminado en la selección de un eficiente sistema de bombeo.

Y como todo proyecto se tiene que demostrar la factibilidad económica, en los Capítulos V y VI se detallan todas las consideraciones económicas tomadas para la ejecución de este proyecto así como el análisis financiero que a finales de cuentas demuestran su viabilidad.

CAPITULO I

GENERALIDADES DE CIA. MINERA ARES SAC UNIDAD OPERATIVA ARCATA

1.1 UBICACIÓN

El Unidad Operativa Arcata está políticamente ubicado en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa. Geográficamente se encuentra al NE del nevado Coropuna, a 175 km al NE en línea recta de la ciudad de Arequipa, dentro del macizo occidental de la cordillera de los Andes, flanco oeste.

Geográficamente se ubica en las coordenadas:

Este: 789465.40 Norte: 8341572.70

Longitud Oeste	72°15' W
Latitud Sur	14°50' S
Altitud	4,600 m.s.n.m. aprox.

1.2 ACCESO

El distrito minero es accesible desde la ciudad de Arequipa por una carretera en su totalidad afirmada, cubriéndose desde Arequipa 307 km en los tramos siguientes:

Arequipa - Sibayo 148 km carretera afirmada muy bien mantenida

Sibayo - Caylloma 69 km carretera afirmada con mantenimiento estacional

Caylloma - Arcata 90 km carretera afirmada con mantenimiento estacional.

El tiempo de viaje desde Arequipa es aproximadamente 8 horas.

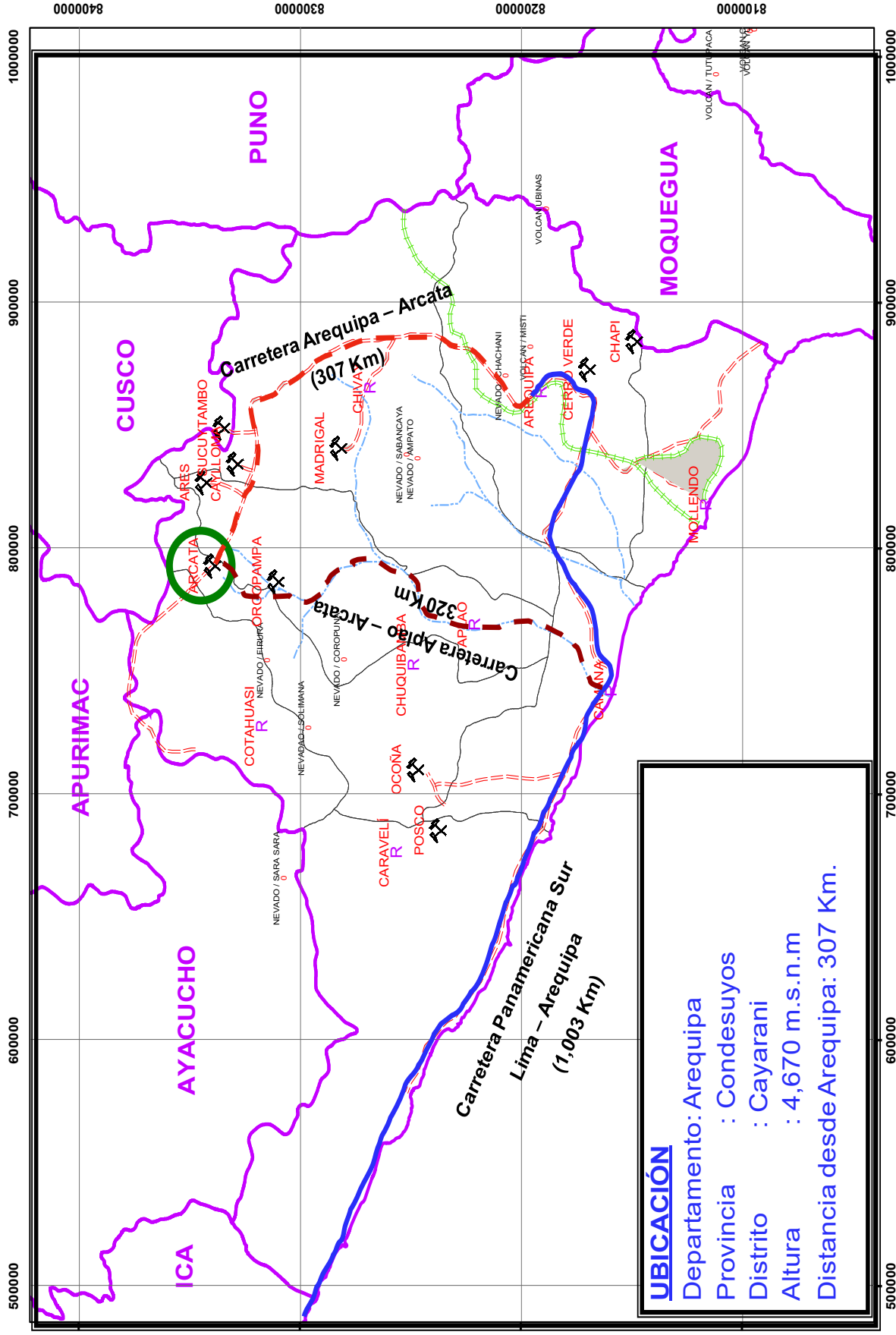


Fig 1 Ubicación geográfica de la Unidad operativa Arequipa.

1.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Las características físico-químicas del yacimiento de Arcata, permiten clasificarlo como un depósito epitermal de metales preciosos de baja sulfuración, del tipo adularia-sericita.

1.4 LOCALIZACIÓN REGIONAL

El yacimiento de Arcata se encuentra localizado en el segmento sur de la Cordillera de los Andes, donde afloran extensamente rocas volcánicas Cenozoicas genéticamente relacionadas con varios yacimientos epitermales de Plata y Oro existentes en el área tales como Caylloma, Sucuytambo, Orcopampa, Ares, y otros.

1.5 GEOLOGÍA LOCAL Y ESTRUCTURAS

1.5.1 Rocas de caja

Las estructuras de veta de Arcata, ocurren dentro de una potente secuencia de rocas volcánicas, de edad Mioceno tardío a Plioceno, constituido mayormente por derrames andesíticos intercalados con aglomerados, brechas de la misma composición y lentes pseudo estratificados de ignimbritas y tufos moderadamente compactados.

La base de esta secuencia volcánica, está constituida por flujos de ignimbrita riolítica de una edad radiométrica de 6.3 +/- 0.2 millones de años.

Domos volcánicos riolíticos afloran, al suroeste, y noreste del distrito de Arcata, cortando a las rocas volcánicas arriba señaladas. Las edades radiométricas de estos domos, indican una edad de 5.4 +/- 0.2 millones de años.

Rocas volcánicas post-minerales más recientes, no alteradas y de composición andesítica-basáltica, también ocurren suprayaciendo a las rocas de caja alteradas, que al parecer fueron eyectadas de varios conos volcánicos que se presentan en el yacimiento y alrededores.

1.5.2 Estructuras

El distrito de Arcata, está constituido por tres sistemas de vetas sub paralelas, que rellenan fallas normales de rumbos NW/SE, SW/NE, y N/S de ajuste tensional; el sistema mayor NW/SE, presenta buzamientos opuestos en sus extremos laterales, y como resultado, se ha formado un graben estructural.

Los sistemas de vetas secundarias, de menor extensión de rumbo NE/SW, y transversales N/S a las vetas principales arriba nombradas, ocurren en algunos sectores del yacimiento, algunas con mineralización económica y otras pobremente mineralizadas y rellenas mayormente por ganga de cuarzo calcita.

1.5.3 Tipo de alteración

El distrito exhibe, en superficie, una alteración hidrotermal similar a otros depósitos epitermales moderadamente erosionados. Los principales tipos de alteración presentes en el yacimiento son: fílica (sericita), argílica y propilítica. Observándose también, en ciertas porciones de la veta Tres Reyes, la alteración cuarzo-alunita.

La alteración fílica, constituida por minerales arcillosos micáceos (Illita / Smectita) y Adularia, acompañados por silicificación, ocurre

mayormente restringida a las vetas. En profundidad, la cantidad de los minerales arcillosos disminuyen gradualmente e inversamente, la adularia asociada a bandas de cuarzo y calcitas lamelar aumentan alcanzando su mayor desarrollo en el horizonte de metales preciosos. A mayor profundidad, en el horizonte de metales básicos (Pb, Zn, Cu), la cantidad de adularia disminuye notablemente, la calcita lamelar se mantiene, apareciendo la rodocrosita, rodonita, y el cuarzo hialino cristalizado.

Localmente, en los segmentos NW. del afloramiento de las vetas Marión y Baja, la alteración filica se encuentra intercrecida con la argílica y silice coloidal, constituyendo una guía que señala la continuidad de las estructuras.

La alteración cuarzo alunita (argílica avanzada), se presenta constituyendo una franja muy notable que delinea al afloramiento de la veta Tres Reyes parte central y SE, y está constituida por un agregado fino de alunita y minerales arcillosos del grupo caolín, acompañados por silice coloidal calcedónico.

La alteración argílica, afecta a las rocas de cajas a ambos lados de la veta, pero con mayor intensidad a las rocas de caja techo, disminuyendo en intensidad tanto lateralmente y en profundidad. Desaparece casi por completo por debajo del nivel -210. Esta alteración, consiste de un agregado fino de minerales arcillosos de tipo caolín producidos como resultado de la descomposición hidrotermal de los feldespatos de las rocas volcánicas de caja.

La alteración propilítica, en superficie ocurre lateralmente a continuación de la alteración argílica afectando a las rocas de caja más alejadas de las vetas. En los niveles más profundos, esta alteración, se encuentra más cerca de las vetas afectando a las rocas adyacentes, pasando directamente de alteración filica a propilítica. El agregado mineralógico de esta alteración, está constituido por clorita, calcita y pirita.

1.6 MINERALIZACIÓN ECONÓMICA

La mineralización económica en el distrito ocurre en vetas, exhibiendo texturas típicas de relleno de espacios abiertos, evidenciadas por el bandeamiento y crustificación de los minerales de mena y ganga.

La mineralización de mena de Arcata, se presenta mostrando un zoneamiento vertical muy claro. En los afloramientos más elevados de las vetas poco erosionadas, solamente se presentan valores geoquímicos de Plata y Oro por encima de los clavos mineralizados, como en el caso, de las vetas Marión (Cimoide), "D", Luisa y Macarena. Hacia profundidad, estos valores, se incrementan gradualmente alcanzando valores de mena aproximadamente a partir de los 45 y 100 m. (niveles 4743.70 y 4701.60); constituyendo debajo de estos niveles, un horizonte de plata y oro, alargado y casi continuo, de un intervalo vertical de unos 240 m y cuyo borde inferior se sitúa aproximadamente en el nivel -4512.30

En general, aproximadamente por debajo del nivel -160, los valores de Plata disminuyen gradualmente; incrementándose inversamente, los minerales de metales básicos (Pb, Zn y Cu) en profundidad, indicando una posición paragenética más antigua (nivel - 4465).

En resumen, la mineralización de mena, del horizonte de metales preciosos y básicos muestra un intervalo vertical de aproximadamente 300 m y una extensión lateral de 1,500 a 2,500 m.

El borde superior del horizonte de metales preciosos, de la mayoría de las vetas, se encuentra parcialmente oxidada y constituye una franja estrecha de 20 a 60 m más o menos subparalela a la superficie topográfica erosionada. Esta franja de oxidación, está constituida mayormente por óxidos de manganeso (Pirolusita), hierro limonitas y remanentes de minerales de Plata.

1.7 MINERALOGÍA

Los minerales de mena más comunes del horizonte de metales preciosos, lo constituyen los sulfosales de Plata (Pirargirita, Proustita, Miargirita, Polibasita y Estefanita) y cantidades menores de Tetraedrita argentífera (Freibergita), Argentita, Plata nativa, Electrum y Oro nativo (en niveles altos). Ocurren también, Estibinita en los niveles más superficiales y los sulfuros comunes Esfalerita, Galena y Calcopirita en los niveles más profundos.

Los minerales de ganga más abundantes que acompañan a la mineralización de mena son: cuarzo, adularia, calcita lamelar, clorita, rodocrosita, rodonita, pirita, arsenopirita y marcasita. Una variedad de calcita, de cristalización gruesa y estéril, no relacionado aparentemente con la mineralización de mena, ocurre como bandas hacia las cajas de las vetas y como matriz de brechas.

Estudios de inclusiones fluidas en muestras de veta, indican que los minerales del horizonte de metales preciosos se formaron a partir de soluciones mineralizantes en ebullición de temperaturas que fluctúan entre 210° y 280°C (Fornari y Prutek) y salinidades variables entre 2 a 5 % por peso de ClNa equivalente (Prutek, 1984).

Por otra parte, las edades radiométricas de las rocas de caja (6.1 m.a.) y de la mineralización (5.4 m.a.) indican que ambas, se encuentran genéticamente relacionadas a una misma actividad volcánica que ocurrió durante el Mioceno tardío y Plioceno en el distrito de Arcata.

1.8 MINADO SUBTERRANEO

La Unidad Operativa Arcata está dividida operacionalmente en cuatro zonas: zona 1A, zona 1B, zona 2 y zona Túnel 4. Las principales vetas que conforman el yacimiento de Arcata son: Mariana, Michelle, Soledad, Soledad Norte, Ramal Marión, Nicole, Julia, Amparo, Blanca, Socorro, Alexia Techo, Alexia Principal, Túnel 4 y Veta Baja.

Para acceder a estas vetas se han desarrollado rampas de sección 4.30 x 4.0 metros para dar acceso a volquetes de 12 m³ de capacidad que extraerán el mineral roto de interior mina hacia superficie. Las principales rampas de accesos son: Rampa Marión, Rampa Macarena con una sección de 4.30 x 4.0 metros y gradiente de -12% y Rampa Mariana con gradiente de -3.14%. Asimismo se tiene la rampas de 4.50 x 4.00 metros de sección y -12% de gradiente, rampas positivas con sección 3.0 x 3.0 metros con gradiente +15% y by pass con sección de 4.0 x 4.0 metros que sirven de acceso a las diferentes zonas de explotación.

Se cuenta con una fuerza laboral de 412 personas entre obreros y supervisión; teniendo jornadas laborales de 11 horas diarias que inicia a las 8:00 a.m. y culmina a las 7:00 p.m. para la guardia de día y similar para la guardia de noche, con un sistema de régimen laboral de 14 días trabajados por 7 días de descanso.

En cuanto a equipos la mina cuenta con la siguiente flota de equipos, propios o que pertenecen a las contratistas:

EQUIPOS MINA	
Equipo diesel	Cantidad
SC 075 YD3	5
SC 1.5 YD3	3
SC 2.0 YD3	1
SC 4.0 YD 3	2
Volquetes DCR	11
TORO LH 307	1
SC HSC - 010	1
SC HSC - 054	1
SC HSC - 063	1
SC HSC - 058	1
Jumbo Axera D 06	3
Volquete CHAVEZ	2
Volquete ECOVIN	2
Mixer Huron 1	2
Shocretera Manba 1	1
Camioncitos	7
Camionetas 120 hp	10
Equipo eléctrico	Cantidad
SC 075 YD3	5

Fig 2 Relación de equipos de Mina

1.8.1 Métodos de explotación

El método de explotación usado en la Unidad Operativa Arcata para la extracción del mineral es el Corte y Relleno Ascendente la que dependiendo de la calidad de la roca encajonante que envuelve a la estructura mineralizada se dividen en dos:

- Corte y Relleno en Breasting (CRB): Aquellas cuya caracterización geomecánica de la roca encajonante poseen un RMR entre 30 – 40.
- Corte y Relleno Ascendente Vertical: Aquellas cuya caracterización geomecánica de la roca encajonante poseen un RMR entre 40 – 60

Por otro lado, el tipo de equipo a utilizar para la limpieza del mineral roto hace que este último método se subdivida en dos:

- Corte y Relleno Ascendente Vertical Mecanizado (CRM): Utiliza para la limpieza del mineral roto un scooptram diesel o eléctrico de 0.75 yd³ de capacidad.
- Corte y Relleno Ascendente Vertical Convencional (CRC): Utiliza rastrillo convencional accionado por un winche eléctrico para la limpieza del mineral

1.8.2 Ciclo de minado

El ciclo de minado de un tajeo comprende una sucesión de actividades que tiene como fin la extracción de la parte valiosa del yacimiento.

El ciclo se inicia con la actividad de Perforación que consiste en la realización de taladros en la parte económica de la labor (veta) mediante el uso de perforadoras neumáticas. El número de taladros perforados dependerá del tipo de método de explotación,

- Si el método es de Corte y Relleno Ascendente Vertical la cantidad de taladros dependerá del área minable (ancho minable por la longitud del tajo) y que en la mayoría de los tajos se tiene un ancho minable de 1.2 m y una longitud de ala de tajo de 40 m. La distribución de los taladros perforados se denomina Malla de perforación y es común tener una malla de 40 cm por 40 cm, la que nos da un total de 250 taladros.
- Si el método es de Corte y Relleno Ascendente en Breasting, el frente de perforación tendrá un ancho minable de 1.2 m y una “bancada” o altura de 2.4 m en la que se perforan de 8 a 10 taladros.

Como indicador de productividad de esta actividad se tiene la cantidad de mineral extraído por taladro perforado.

El sistema de aire comprimido permite al personal de mina obtener una velocidad de perforación de 6 pies/min. Para la perforación se utiliza máquinas perforadoras del tipo Jackleg S250 de la marca Boart Longyear

La siguiente actividad es la Voladura o rotura de la veta mediante el uso de agentes explosivos. Consiste en “cargar” o rellenar la columna perforada con el agente explosivo y posteriormente ser iniciados a través de accesorios de voladura. Los accesorios de voladura permiten realizar el secuenciamiento de las detonaciones y el tipo de “arranque” o salida y la distribución de estas se denomina “Malla de voladura”.

El indicador de productividad de esta actividad es el Factor de Potencia la cual relaciona la cantidad de explosivos usados para obtener una tonelada de mineral o en su defecto una tonelada de desmonte.

El horario de inicio de los disparos se realiza a las 7:00 am y 7:00 pm al finalizar la guardia de noche y de día respectivamente.

El cuadro siguiente indica los indicadores de productividad para estas dos primeras actividades.

INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD	
ACTIVIDAD	
Perforación	
Toneladas por Taladro Tajeos (tn/tal)	
CRM	0.93
CRC Vertical	0.73
CRB Breasting	1.12
Voladura	
Factor de Potencia Tajeos (kg/tn)	0.95
Factor de Potencia Veta (kg/tn)	0.88
Factor de Potencia Desmonte (kg/tn)	0.07
Factor de Potencia - CRM	0.89
Factor de Potencia - CRC Vertical	1.33
Factor de Potencia - CRC Breasting	0.68

Figura 3 Indicadores de Productividad Limpieza

Posterior a la voladura la siguiente actividad es el Sostenimiento, que consiste en dar estabilidad a la labor evitando el desprendimiento de rocas afectados por la voladura mediante el uso de elementos de sostenimiento.

El tipo de elemento de sostenimiento a usar dependerá de la calidad de la roca encajonante determinada por su clasificación geomecánica RMR:

- RMR entre 50 – 60: Se clasifica como roca tipo Regular A, clase III-A y su equivalente en el sistema de clasificación G.S.I. (Geological Strength Index) es F/R, LF/R. El sostenimiento en este tipo de roca es empernado sistemático y combinado con malla y puntales de seguridad.
- RMR entre 40 - 50 clasificándose como roca tipo Regular B, clase III-B y su equivalente en el sistema de clasificación G.S.I. (Geological Strength Index) es MF/R, F/P, LF/P. El sostenimiento en este tipo de roca es con pernos sistemáticos y malla electrosoldada con puntales de seguridad.
- RMR entre 30 - 40 clasificándose como roca tipo Mala A, clase IV-A y su equivalente en el sistema de clasificación G.S.I. (Geological Strength Index) es MF/P, IF/R. El sostenimiento en este tipo de roca es guarda cabezas a 1.5m y puntales de seguridad a 1.5m.

La siguiente actividad es la Limpieza del mineral roto, la cual consiste en evacuar el mineral de la labor hacia los echaderos en cuya boca se tiene instalada una tolva metálica la que permite acumular el mineral limpiado en

toda la columna del echadero hasta que sea descargado a los volquetes que lo trasladara a la Planta Concentradora para su procesamiento.

El tipo de limpieza dependerá del equipo a usar:

- Limpieza convencional: Se utilizará winches eléctricos de 40 HP, las que mediante un sistema de cableado de acero y rastras, arrastraran al mineral roto hacia la zona del echadero. Se usan rastras desde 60 cm hasta 90 cm de ancho, para tajos donde el ancho de la veta esta en el rango de 60 cm a 100 cm.
- Limpieza mecanizada: se utilizan equipos de bajo perfil denominados scooptram con capacidad de cuchara de 0.75 yd³ accionados por motor eléctrico o diesel. Se usan para vetas mayores a 100 cm, para lo cual se tiene que ensanchar (descaje) la caja piso para su fácil desplazamiento en el tajo.

INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD	
ACTIVIDAD	
Limpieza	
Rendimiento Scoops (tn/hr)	
Scoop 1.50 yd ³	26.87
Rendimiento Winche (tn/hr)	
Rastra 70 cm	5.20

Figura 4 Indicadores de Productividad Limpieza

Finalmente la ultima activad del Ciclo de Minado es el Relleno, que consiste en cubrir el espacio vacío dejado luego de la limpieza con la finalidad de dar estabilidad a la labor y dar piso para la perforación y nuevamente el ciclo.

ESQUEMA DE EXPLOTACION POR CORTE Y RELLENO ASCENDENTE VERTICAL CONVENCIONAL

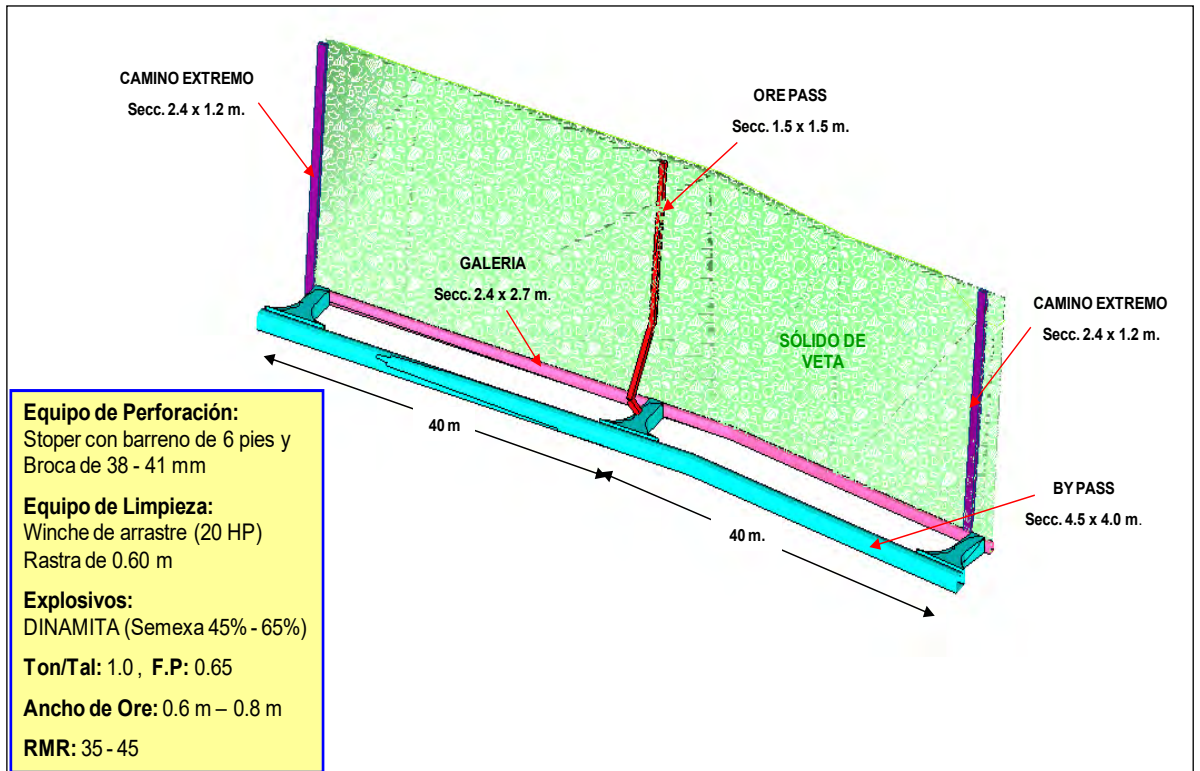
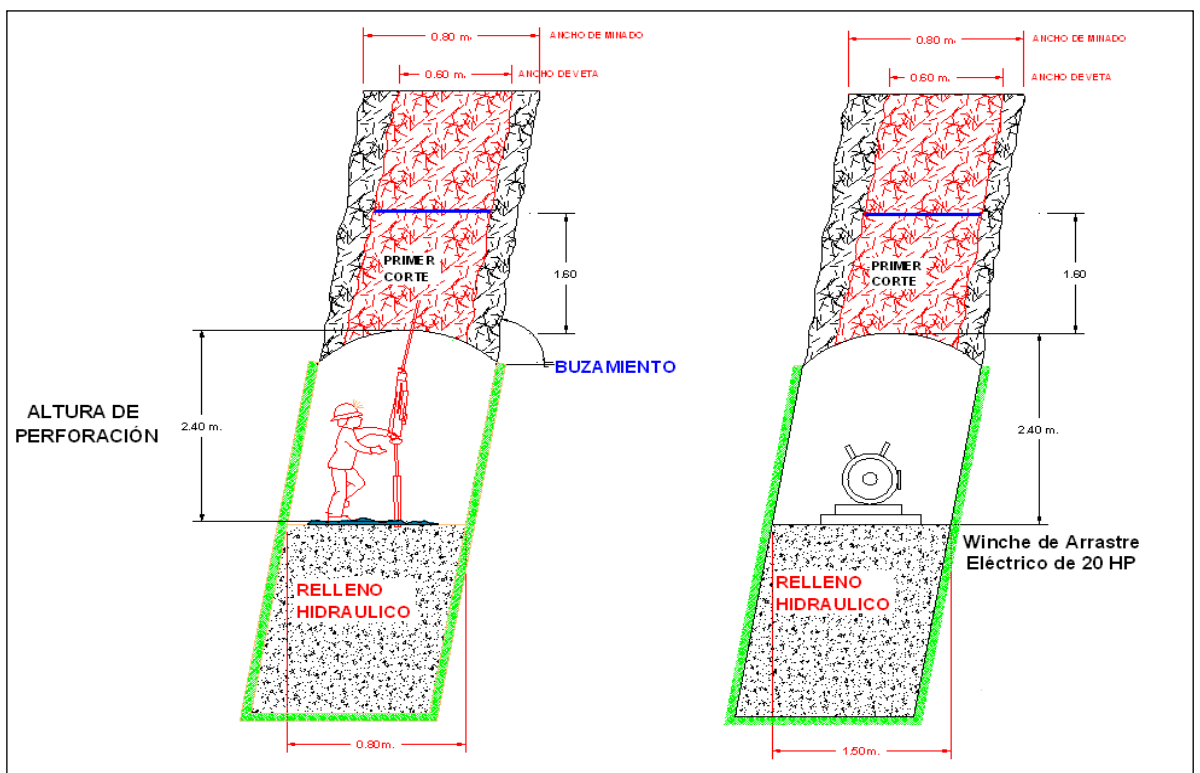


Figura 5 Esquema de explotación por corte y relleno ascendente vertical convencional



ESQUEMA DE EXPLOTACION POR CORTE Y RELLENO ASCENDENTE VERTICAL MECANIZADO.

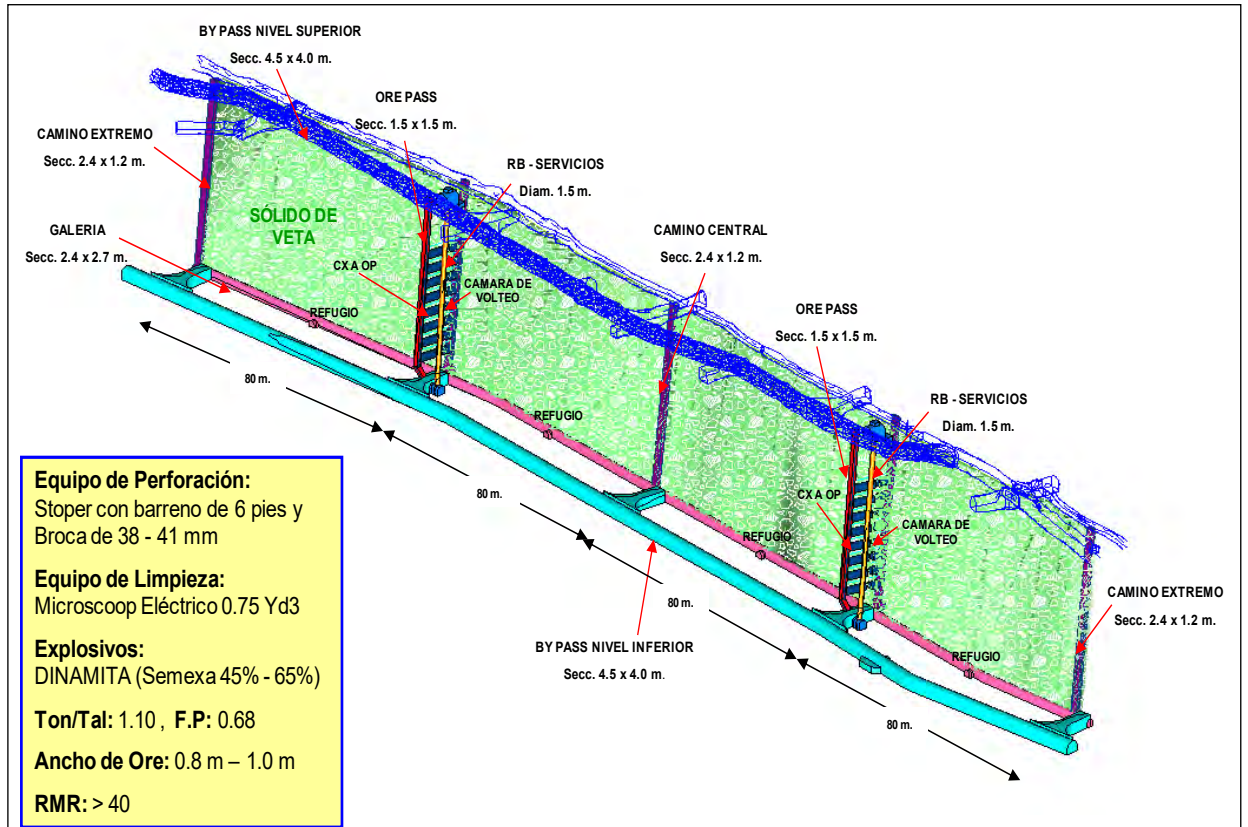
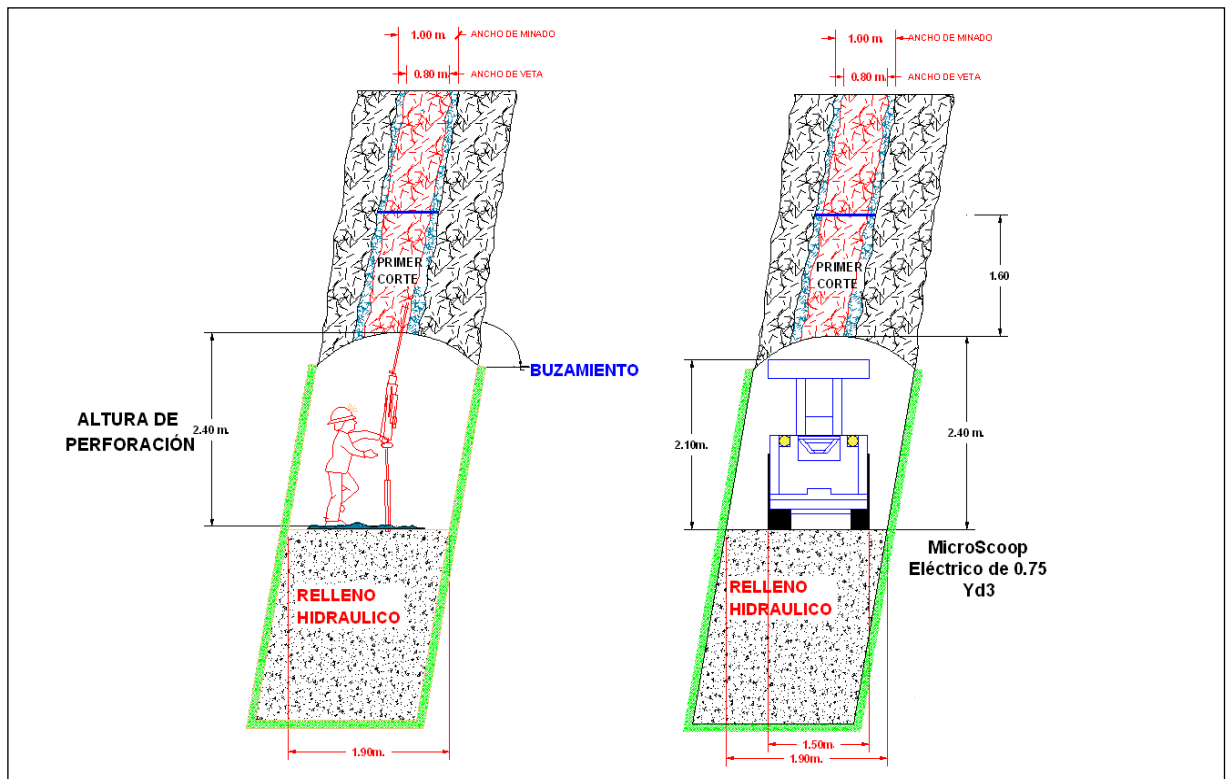


Figura 6 Esquema de explotación por corte y relleno ascendente vertical mecanizado



1.9 PLANTA CONCENTRADORA

La Planta Concentradora de Cia. Minera Ares SAC Unidad Operativa Arcata trata minerales de plata con bajos contenidos de oro, plomo y zinc por el método de flotación; obteniendo un concentrado bulk.

Su capacidad instalada está diseñada para procesar 2,500 TMS de mineral por día. El proceso de beneficio consta de tres fases: Chancado, Molienda y Flotación.

1.9.1 Sección de chancado

Chancado Primario y Lavado

El mineral procedente de la mina es previamente es pesado en una balanza electrónica "PHILIPS" de 80 TM.

El sistema es convencional y se tiene los siguientes equipos: tolva de gruesos con tres compartimientos con capacidad neta de 120 TM c/u, Alimentadores de Placas Famia 30"x11' – 11", Faja Transportadora N° 1", grizzly vibratorio Symons 42"x5', chancadora de quijadas C-100, Faja Transportadora N°2, 2A y lavador de minerales 5'x6'-6", con lo que se logra reducir el tamaño de la roca mineralizada de 12" a 3.0".

Chancado Secundario

Se realiza en circuito abierto mediante una chancadora cónica HP-300', faja transportadora N° 3 y una zaranda vibratoria de doble malla 5'x 12'; obteniéndose un producto de 7/8".

Chancado Terciario

Se efectúa en circuito cerrado mediante dos chancadoras cónicas HP-200 que trabajan en paralelo y una zaranda doble 6'x 12'; el producto es almacenado en seis tolvas de finos de 250 TM de capacidad las cuatro primeras y de 500 TM las dos restantes de donde se alimenta a dos circuitos de molinos de bolas primarios mediante fajas transportadoras con un producto de 99% malla -3/8".

Los finos del lavador alimentan al clasificador helicoidal 36"x20' donde se clasifica las arenas y se junta con el producto del chancado terciario, mientras que los finos del clasificador se junta con el producto de la molienda primaria.

1.9.2 Sección de molienda

La molienda se efectúa en dos circuitos;

El circuito No 1 se realiza en un molino de bolas No. 6 Comesa 8'x 10'). El producto del molino No. 6 es trasladado por una bomba denver 8"x6"N° 1 y 2 hacia el hidrociclón Gmax 15 el cual trabaja en circuito cerrado con el molino primario retornando a ello el underflow, el overflow del hidrociclón Gmax 15 son trasladados por las bombas SRL 8"x 6" No.5 y 6 hacia hidrociclones diámetro 10" LB cuyo overflow viene a ser cabeza de flotación con una granulometría de 65% malla -200; el undeflow va a molienda secundaria a los molinos No. 4 DENVER de bolas 6' x 6' y No. 1 AGUILA de bolas 6' x 6' que trabaja en circuito cerrado con dichos hidrociclones.

El circuito No. 2 se realiza en un molino de bolas No. 7 COMESA 9.5'x12' que efectúa la molienda primaria y que opera en circuito cerrado con hidrociclones Gmax 15 y D-15", éstos reciben el producto molido mediante bombas SRL 8" x 6" No.3 y 4, el underflow regresa al molino No. 7 y el overflow va al cajón de las bombas SRL 5" x 4" No.3 y 4 junto con el producto del molino No 5 es impulsado por medio de las bombas SRL 5" x 4" No.3 y 4 hacia los hidrociclones Gmax 15 y D-15" cuyo overflow es la cabeza de flotación con una granulometría de 65% malla -200; el underflow retorna a molienda secundaria en los molinos de bolas No. 2 DERVER 6'x 6' y No.3 COMESA 6'x 6' y No 5 COMESA 8'x8' cuya descarga alimenta a las bombas SRL 8" x 6" No.7 y 8 y esta alimenta a la zaranda derrick de 5 deck del cual el Under size alimenta a flotación y el over size alimenta en circuito cerrado a molienda secundaria en los molinos de bolas No. 2 DERVER 6'x 6' y No.3 COMESA 6'x 6' y No 5 COMESA 8'x8'.

Las bombas 5"x4" N° 3, 4 están trabajando con un variador de velocidad con el fin de mantener una presión constante en la clasificación de los hidrociclones. El alimento de mineral a los molinos primarios son pesados con una balanza Ronan ubicados en las fajas transportadoras de alimento de cada molino.

En el circuito de molienda se alimentan reactivos de flotación en el alimento de cada molino con bombas alimentadores peristálticos para ganar tiempo de acondicionamiento.

1.9.3 Sección de flotación

Se realiza en celdas de flotación convencionales en dos circuitos paralelos; cuenta con un distribuidor de pulpa y cada circuito consta de un acondicionador 8'x 8', un banco rougher de 8 celdas OUTOKUMPO OK-3 de 100 ft³ de capacidad, un banco de scavenger de 6 celdas DENVER DR-30 de 100 ft³, y para flotación cleaner en cuatro etapas, 10 celdas DENVER Sub-A 21 y una celda WS-180. Para el traslado de concentrado en pulpa, de las espumas rougher y scavenger así como de colas cleaner, se cuenta con bombas SRL 5"x 4", 4"x 3" y 3" x 3". La recuperación obtenida para la plata es de 87%.

La dosificación de reactivos se realiza a través de alimentadores clarson hacia los acondicionadores y el banco Scavenger.

1.9.4 Sección de espesamiento y filtrado

El concentrado producido es impulsado por bombas SRL 4"x 3" N° 3 y 4 hacia el espesador de concentrado Ag de 22' X 10'; de aquí, mediante una bomba dúplex de diafragma de 2", el concentrado va hacia la eliminación de agua en el filtro de discos DENVER. El concentrado Ag con una humedad promedio de 10.5 % es ensacado en bolsas de polipropileno y polietileno con 50 kg de peso y apilados para su traslado a embarque.

1.9.5 Sección relave

Los productos finales de desechos están constituidos en su mayor parte por ganga cuarzosa y pirita los cuales se clasifican en un nido de ciclones D-6 para separar el material grueso (under flow) para relleno Hidráulico el cual

llega a ser el 40%, los finos alimentan a un espesador 50'x10' donde se adiciona floculante para mejorar la velocidad de sedimentación de los sólidos, el agua del rebose del clasificador es recirculada para el proceso industrial en planta y relleno Hidráulico, Para depositar este producto, se cuenta con la cancha de relaves N° 6 al sur de la concentradora, a 2.5 km de distancia. Este depósito con capacidad actual para 5 años aproximadamente, La ganga es bombeada con una densidad de 1300g/cc mediante la bomba GEHO ZPM 600 previo espesamiento en un espesador de 50' de diámetro y 5 bombas Denver 4"x3" los cuales trabajan en serie con dos estaciones.

CAPITULO II

ASPECTO CONCEPTUAL DEL RELLENO HIDRAULICO

2.1. GENERALIDADES

Se define como relleno hidráulico a uno de los variados sistemas de rellenado de los espacios vacíos, en el cual el material usado como relleno es el relave que es el producto desechado al final del proceso de obtención de concentrados en la Planta Concentradora.

Estos relaves pueden ser transportados como sólidos suspendidos en agua. Y justamente por esta razón es que recibe la denominación hidráulica.

El relleno hidráulico tiene las siguientes aplicaciones:

- Proveer de una plataforma de trabajo durante la actividad de perforación.
- Brinda estabilidad al macizo rocoso, debido a que el relleno al ocupar el espacio abierto dejado por la explotación, neutraliza los esfuerzos actuantes en la roca encajonante.
- Facilitar la recuperación de pilares.

- Evitar o minimizar la subsidencia.
- Controlar y prevenir incendios en las minas.
- Ayuda al control ambiental al minimizar la deposición de relaves en superficie.

2.2. VENTAJAS DEL RELLENO HIDRÁULICO

- Reduce la cantidad de polvo en el área de minado.
- Facilita la mecanización del lugar de operaciones.
- El altamente productivo e eficiente en comparación a otro tipos de relleno.
- Se adapta a las formas irregulares de los tajos sin dejar espacios vacíos.
- Flexibilidad de sistema (cambios de dirección) limpieza en el transporte y gran simplicidad de operación.
- Disminuye el gran problema de almacenamiento de relaves en superficie.
- Actúa como sostenimiento equilibrando el sistema de fuerzas resultantes de las labores explotadas.
- El transporte hidráulico en tuberías es mucho más eficiente, económico y veloz, que el transporte a través de echaderos o equipos.

- Al entrar el relleno en forma de pulpa hacia las labores, este tiende a buscar su nivel, eliminando la necesidad de esparcimiento manual o mecánico.
- Al utilizar el relave que se desecha de la Planta Concentradora el costo de obtención del material es cero, ya que durante la obtención del beneficio se ha cubierto los costos de reducción de tamaño del material.
- El relleno hidráulico por la granulometría del material que es de fácil control permite una alta resistencia al movimiento de las cajas.

2.3. DESVENTAJAS DEL RELLENO HIDRÁULICO

- El Relleno Hidráulico necesita una inversión inicial alta, requiere de una inversión de capital que se tiene que justificar con una adecuada producción.
- La introducción de agua en la mina puede crear problemas de desestabilización de la roca.
- Es peligroso si las barreras de contención no están bien realizadas, porque la presión ejercida por el relleno la puede soplar..
- Requiere gran cantidad de agua.
- Desgaste del equipo debido a la naturaleza abrasiva y corrosiva de los materiales a transportar.

- Cuando el relleno está constituido por relave con alto contenido de Pirita y Pirrotita, la oxidación de estos sulfuros eleva considerablemente la temperatura, produciendo anhídrido sulfuroso (SO_2);
- Los finos del relleno pueden ser arrastrados con el agua de rebose y depositados en las galerías, causando problemas en la limpieza de estas.

2.4. PULPA

Se define como pulpa a la mezcla constituida por una fase sólida y una líquida, donde la fase líquida transporta a la sólida en suspensión.

2.4.1 Pulpa homogénea

Este tipo de pulpa se comporta como un fluido plástico de Bingham, es decir que las propiedades del agua se afectan por la presencia de los sólidos, por ejemplo las arcillas.

2.4.2. Pulpa heterogénea

Los relaves, arenas, concentrados de minerales se comportan como mezclas, ya que el líquido y los sólidos se comportan independientemente, denominándose al conjunto sólido-líquido, mezcla o pulpa heterogénea.

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS PARA RELLENO HIDRAULICO

El diseño de relleno en mina subterránea dependerá de los siguientes parámetros:

- a. Flujo dinámico de tratamiento; el cual nos dará la cantidad de volumen disponible de relleno.
- b. Grado de molienda para la liberación del mineral, el cual no dará la calidad de material para determinar las propiedades físicas y de resistencia del relleno.

Un factor importante para la determinación de los parámetros anteriormente indicado es el la clasificación de los sólidos del relave.

2.5.1 Clasificación de sólidos para relleno.

La clasificación de sólidos se realiza con la utilización hidrociclones el cual separa de total de relaves la parte útil que será usada como relleno hidráulico. Un relleno con sólidos por debajo de malla 200 con menos de 20% de fracción es recomendable porque satisfecerá las condiciones de velocidad de percolación, compacidad y uniformidad.

La clasificación se efectúa mediante un análisis granulométrico utilizando mallas de la serie de Tayler. El mismo análisis se realizará para muestras obtenidas de las tres aberturas del hidrociclón: Feed (Alimentación), Under (Fracción gruesa) y Over (Fracción fina).

2.5.2. Análisis granulométrico.

Determina la distribución del tamaño de las partículas o granos que constituyen un material. Esta distribución se analiza en base a su porcentaje de su peso total.

La fracción muy gruesa consiste de 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 deleznales. 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:

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

Figura 7 Rango de Tamaño de Partículas de los materiales

Para poder determinar algunas propiedades físicas del relave utilizado en la Unidad Minera Arcata, se realiza un análisis granulométrico del material en sus tres interfaces: Alimentación (Feed), Fracción gruesa (Under) y la fracción fina (Over).

Con los datos hallados se dibuja la Curva de distribución granulométrica para poder determinar el D(10), D(50) y D(60) valores que nos permitirán calcular algunos parámetros físicos.

Tabla 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RELAVE - ENERO 2014

Malla	Abertura en micrones	Promedio en micrones	Feed Ciclon D 20			Underflow Ciclon D 20			Overflow Ciclon D 20		
			Peso	% Peso	Acum (-)	Peso	% Peso	Acum (-)	Peso	% Peso	Acum (-)
50	300	357	0.41	0.41	99.59	1.1	1.1	98.9	0	0	100
60	248	252	0.56	0.56	99.03	2.15	2.15	96.75	0	0	100
100	150	178	9.3	9.3	89.73	16.4	16.4	80.35	0.13	0.13	99.87
140	106	126	13.45	13.45	76.28	25.47	25.47	54.88	0.75	0.75	99.12
200	74	89	10.03	10.03	66.25	24.36	24.36	30.52	2.59	2.59	96.53
270	53	63	8.15	8.15	58.1	10.26	10.26	20.26	4.92	4.92	91.61
400	38	45	7.2	7.2	50.9	7.7	7.7	12.56	9.47	9.47	82.14
-400	32	0	50.9	50.9	0	12.56	12.56	0	82.14	82.14	0
			100	100		100	100		100	100	

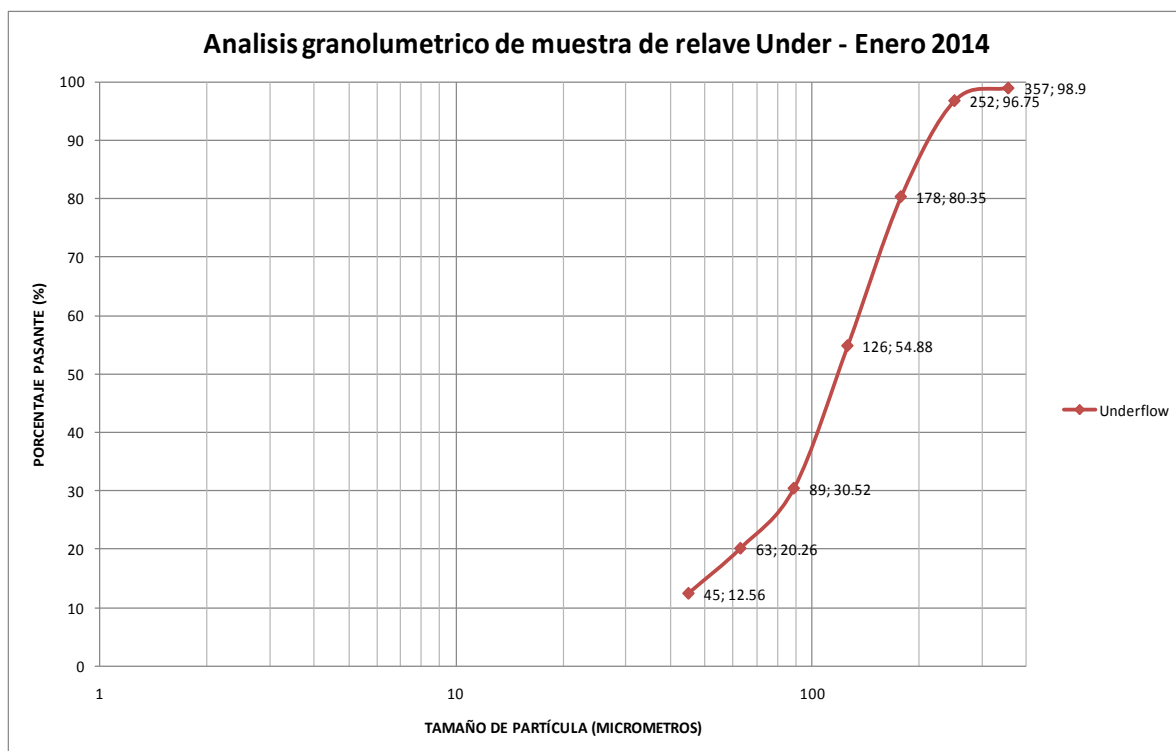


Tabla 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RELAVE - ABRIL 2014

Malla	Abertura en micrones	Promedio en micrones	Feed Ciclon D 20			Underflow Ciclon D 20			Overflow Ciclon D 20		
			Peso	% Peso	Acum (-)	Peso	% Peso	Acum (-)	Peso	% Peso	Acum (-)
50	300	357	0.81	0.81	99.19	0.98	0.98	99.02	0	0	100
60	248	252	1.52	1.52	97.67	3.05	3.05	95.97	0	0	100
100	150	178	7.58	7.58	90.09	17.6	17.6	78.37	0.09	0.09	99.91
140	106	126	14.8	14.8	75.29	20.81	20.81	57.56	1.2	1.2	98.71
200	74	89	12.48	12.48	62.81	26.69	26.69	30.87	3.27	3.27	95.44
270	53	63	8.56	8.56	54.25	8.8	8.8	22.07	5.06	5.06	90.38
400	38	45	9.02	9.02	45.23	8.45	8.45	13.62	10.23	10.23	80.15
-400	32	0	45.23	45.23	0	13.62	13.62	0	80.15	80.15	0
			100	100		100	100		100	100	

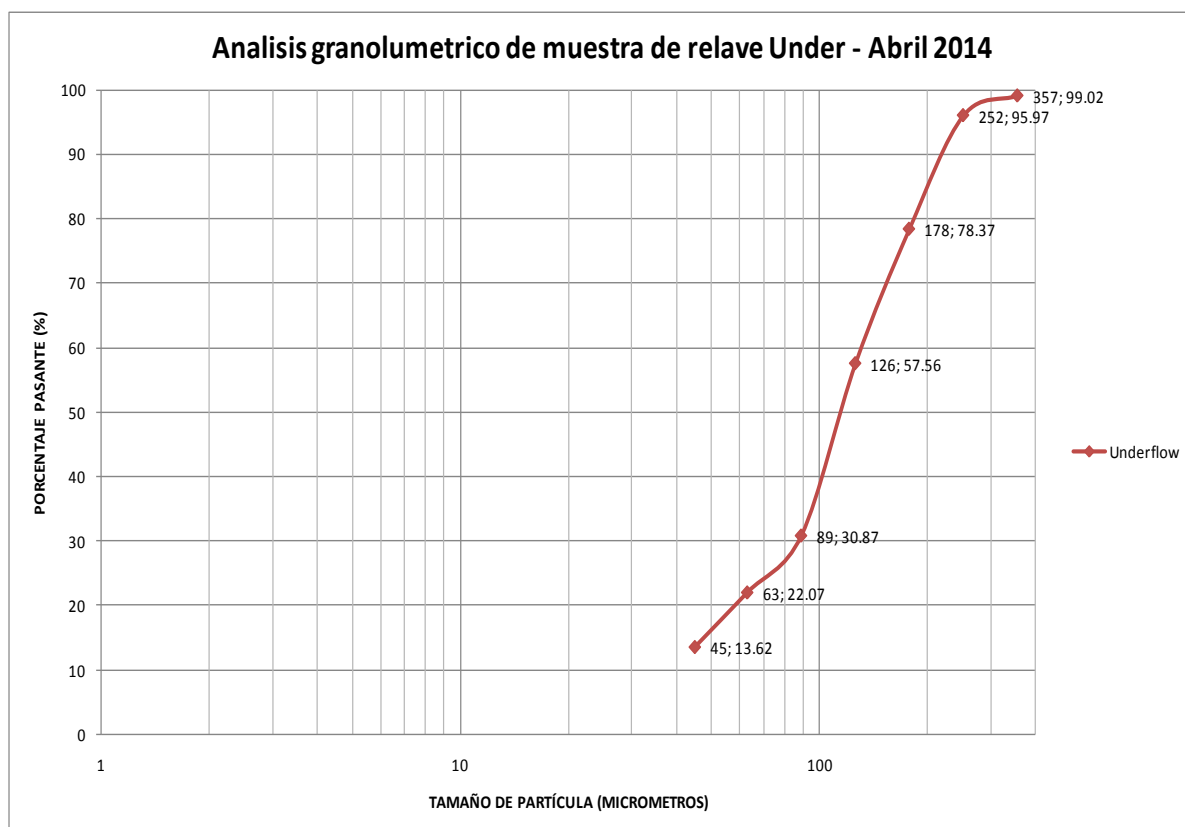
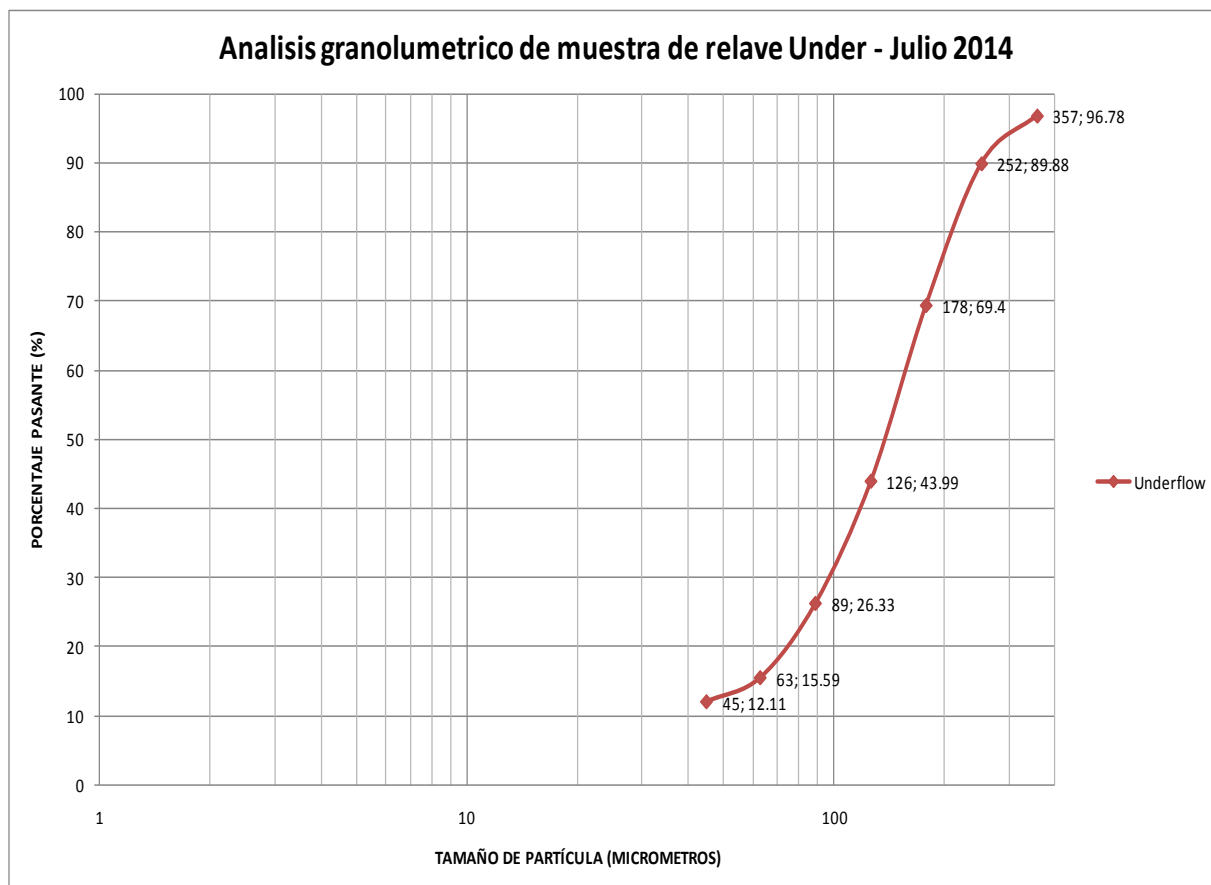


Tabla 3

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RELAVE - JULIO 2014

Malla	Abertura en micrones	Promedio en micrones	Feed Ciclon D 20			Underflow Ciclon D 20			Overflow Ciclon D 20		
			Peso	% Peso	Acum (-)	Peso	% Peso	Acum (-)	Peso	% Peso	Acum (-)
50	300	357	1.94	1.94	98.06	3.22	3.22	96.78	0	0	100
60	248	252	3.05	3.05	95.01	6.9	6.9	89.88	0.05	0.05	99.95
100	150	178	12.31	12.31	82.7	20.48	20.48	69.4	0.1	0.1	99.85
140	106	126	14.87	14.87	67.83	25.41	25.41	43.99	0.3	0.3	99.55
200	74	89	10.56	10.56	57.27	17.66	17.66	26.33	1.89	1.89	97.66
270	53	63	6.48	6.48	50.79	10.74	10.74	15.59	3.8	3.8	93.86
400	38	45	3.56	3.56	47.23	3.48	3.48	12.11	4.3	4.3	89.56
-400	32	0	47.23	47.23	0	12.11	12.11	0	89.56	89.56	0
			100	100		100	100		100	100	



2.5.3 Coeficiente de uniformidad (c_u)

Determina la uniformidad del relave, es representada por la extensión de la curva de distribución granulométrica. Un relave con $C_u < 5$ indica baja concentración de partículas finas en el material esto hace que la percolación del agua sea mayor, mientras que un valor $C_u > 5$ indica la presencia de gran cantidad de partículas finas y causa una difícil percolación del agua.

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

Donde:

D_{60} = Diámetro de la partícula más grande en el 60% del porcentaje en peso acumulado negativo

D_{10} = Diámetro de la partícula más grande en el 10% del porcentaje en peso acumulado negativo

Haciendo uso del grafico del análisis granulométrico se determina los siguientes diámetros y sus respectivos Coeficientes de uniformidad, la cual indica que el relave tendrá una buena percolación.

	<u>ENERO</u>	<u>ABRIL</u>	<u>JULIO</u>
D 10 (μm)	40	38	36
D 60 (μm)	135	130	150
C.U.	3.38	3.42	4.17

2.5.4 Velocidad de percolación (VP)

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:

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

Donde:

VP: Se expresa en cm/Hr

D₁₀: Se expresa en micrones (um)

Para el caso del relleno hidráulico la velocidad de percolación óptima que se ha comprobado estadísticamente es de 10cm/hr, valores mayores o menores traen perjuicios:

Para una velocidad inferior a 4cm/hr se tendrá una eliminación muy lenta del agua y una velocidad por encima a 20cm/hr dará lugar a la aparición del fenómeno de “embudo” que consiste en la formación de conductos pequeños en el interior del relleno donde fluye la pulpa a velocidades altas ensanchándolos progresivamente hasta derrumbarse.

Nuevamente haciendo uso del grafico se determina que la velocidad de percolación para el Relleno hidráulico utilizado en la unidad Operativa de

Arcata está dentro de los parámetros cercanos a una buena velocidad de percolación (**buen drenaje**)

	<u>ENERO</u>	<u>ABRIL</u>	<u>JULIO</u>
D 10 (µm)	40	38	36
D 60 (µm)	135	140	150
V.P. (cm/Hr)	5.76	5.2	4.67

2.5.5 Densidad aparente (D ap)

Es la densidad de relave in situ, luego de que haya terminado de evacuar la totalidad del agua contenido durante la fase de pulpa. La densidad aparente se determina tomando una muestra del relave depositado (in situ) a un volumen conocido.

Esta muestra es secado a 105 °C, y luego es pesada. La relación entre la masa de la muestra del relave seco entre el volumen ocupado es lo que se conoce como densidad aparente.

Este valor dependerá del tamaño de las partículas del relave; un relave con alto porcentaje de partículas finas tendrá un valor de densidad aparente alto por encima de 2, siendo lo contrario si el relave contiene partículas gruesas tendrá un valor de densidad aparente menores a 1.5.

La densidad aparente calculada en la Unidad Operativa Arcata es de 1.80 Ton/m³

2.5.6 Contenido de agua (W)

Es la cantidad de agua contenida en los espacios vacios formados durante el acomodo de las partículas solidas del relave.

Expresado por:

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

Donde:

M_w = Masa de agua

M_s = Masa de sólidos

Este valor de determina al igual que el ensaye para determinar la densidad aparente; se pesa la muestra sacada de la labor y luego esta es secada a 105°C y luego es vuelto a ser pesado para determinar el peso seco del relave.

El contenido de agua calculada del relave in situ en la Unidad Operativa Arcata es de **23.69%** por volumen.

2.5.7 Grado de saturación (S_r)

Definido por:

$$S_r = \left(\frac{V_w}{V_v} \right) \times 100$$

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

Tabla 4 Clasificación de la arenas según su humedad

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

El grado de saturación calculado para el relave de la Unidad Operativa Arcata está estimada en 62.05%, por lo que esta dentro de grupo de arenas **muy húmedas**

CAPITULO III

RELLENO HIDRAULICO EN LA U.O ARCATA

3.1 CLASIFICACION DEL RELAVE.

Luego del proceso interno de la Planta Concentradora en la que el mineral extraído de la mina pasara por un proceso de chancado, molienda y flotación para obtener concentrados de Plata y Oro, los productos finales de deshechos son enviados a la Planta de clasificación con la finalidad de obtener el relave de granulometría gruesa que es la materia prima para el relleno hidráulico.

El desecho de la planta es enviada a través de una canaleta de descarga en forma de pulpa, la que finalmente llegan a dos sumideros donde se encuentra instalada una bomba estacionaria DENVER 8 x 6 en cada uno de ellos.

El relave es enviado por medio de bombeo al nido de ciclones donde se realizara la clasificación; este nido de ciclones está constituido por 5 ciclones KREBS D-10 y están instalados en paralelo.

La fracción gruesa del relave extraída por el Underflow son acumuladas en dos tanques de almacenamiento de 100 m³ de capacidad cada uno. La fracción fina del relave es derivada hacia la canaleta de descarga de la Planta Concentradora para su posterior disposición en la relavera.

3.1.1 Rendimiento de la clasificación (U/F)

Es la relación que expresa el porcentaje del relave que será expulsada por el Underflow (fracción gruesa) con respecto al Feed (total de relave que ingresa al ciclón).

$$U/F = 1 - O/F$$

El rendimiento de la clasificación es determinado luego de efectuar un análisis de clasificación granulométrico del relave producido en la Planta Concentradora, usando la serie de tamices de Tyler.

$$O/F = \frac{\sum A}{\sum B}$$

$$A = [\%A(-) \text{ Feed} - \%A(-) \text{ Under}] \times [\%A(-) \text{ Over} - \%A(-) \text{ Under}]$$

$$B = [\%A(-) \text{ Over} - \%A(-) \text{ Under}]^2$$

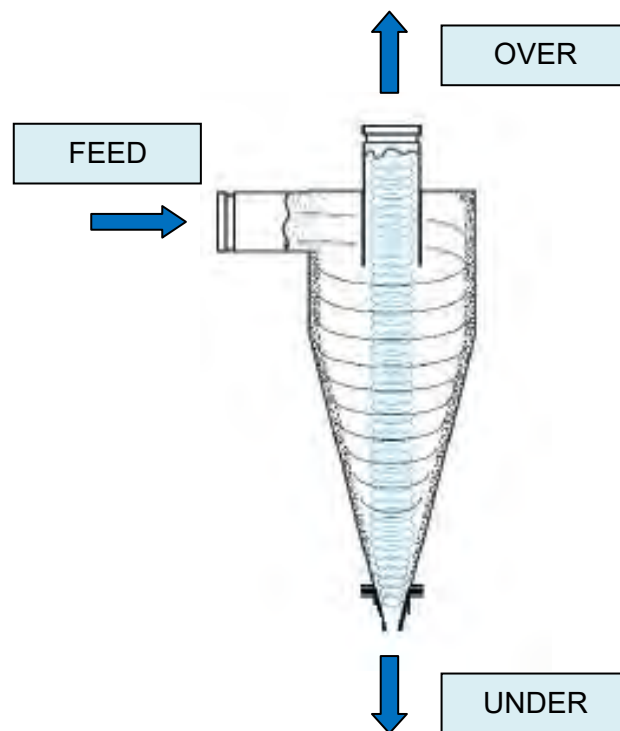
Donde:

O/F = Porcentaje fino (Over) del total de relave.

%A(-) Feed = Porcentaje acumulado negativo de la alimentación.

%A(-) Under = Porcentaje acumulado negativo de gruesos.

%A(-) Over = Porcentaje acumulado negativo de finos.



Tal como se muestra en el esquema, un ciclón tendrá tres puntos de muestreo en la que se realiza de forma independiente un análisis de clasificación granulométrica. El cuadro siguiente muestra los resultados de este análisis.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA CLASIFICACION DEL NIDO DE CICLONES

MALLA	ABERTURA PROMEDIO (µm)	FEED		UNDERFLOW			OVERFLOW					
		PESO	%PESO	PESO	%PESO	ACUM(-)	PESO	%PESO	ACUM(-)			
50	300	0.65	0.65	1.28	1.28	99.35	1.28	1.28	98.72	0.00	0.00	100.00
60	248	1.58	1.58	3.08	3.08	97.77	3.08	3.08	95.64	0.00	0.00	100.00
100	150	9.31	9.31	18.11	18.11	88.46	18.11	18.11	77.53	0.05	0.05	99.95
140	106	14.08	14.08	27.18	27.18	74.38	27.18	27.18	50.35	0.31	0.31	99.64
200	74	11.84	11.84	21.74	21.74	62.54	21.74	21.74	28.61	1.44	1.44	98.20
270	53	9.58	9.58	13.58	13.58	52.96	13.58	13.58	15.03	5.38	5.38	92.82
400	38	7.37	7.37	5.14	5.14	45.59	5.14	5.14	9.89	9.72	9.72	83.10
-400	32	45.59	45.59	9.89	9.89	0.00	9.89	9.89	0.00	83.10	83.10	0.00
		100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	100.00		100.00	100.00	

De los valores indicados en el cuadro anterior obtendremos el valor porcentual de la cantidad de finos que se evacua por el OVER.

A	B
0.806	1.638
9.287	19.010
245.051	502.656
1184.439	2429.504
2361.189	4842.768
2950.575	6051.284
2613.597	5359.704
0.000	0.000
9364.943	19206.565

O/F	0.488	Over
U/F	0.512	Under

Del análisis determinamos que el rendimiento de la clasificación será igual a 51.2% que significa que este será el porcentaje útil para mina del total de relaves producidos en la Planta Concentradora.

3.2 LINEAS DE CONDUCCION DEL RELAVE CLASIFICADO

Se cuenta con dos líneas de bombeo que se encargan de enviar el relave clasificado en forma de pulpa desde la Planta Concentradora hacia la Planta de dosificación de relleno, ubicada en la bocamina Marion.

La línea principal es de material de acero al Carbono SCH-80 (espesor = 10.97 mm) con un diámetro de 6" y es la línea de conducción de la bomba de desplazamiento positivo GEHO 800. La línea auxiliar es de material polietileno C-10 con un diámetro de 4" y es la línea de conducción de la bomba centrífuga WARMAN 3 X 2.

Ambas líneas tienen una longitud aproximada de 1.7 km y una diferencia de cota entre el nivel de la salida de las bombas y el de la descarga en la Planta de Marion de 150 metros.

3.3 DISTRIBUCION DE RELAVE A MINA

La disposición final del relave clasificado es la Planta de Relleno Hidráulico de Marion; es desde aquí donde se realiza la dosificación y el envío de la pulpa de relave hacia la mina.

Esta Planta consta de tres tanques de almacenamiento de relave de 100 m³ de capacidad cada uno; es en estos tanques donde se acumulan el relave bombeado desde la Planta de Clasificación.

Se cuenta con dos tanques agitadores de 30 m³ cada uno de ellos, que tienen por finalidad de homogenizar la densidad de la pulpa antes de que sean bombeadas.

Se cuenta con cuatro líneas de bombeo para las cuatro zonas operacionales de la mina; estas líneas son de material de polietileno C-10 en diámetro de 4".

La pulpa es impulsada a través del uso de bombas centrifugas estacionarias WARMAN 3 x 2 de 50 HP, las cuales están ubicadas al inicio del bombeo en la Planta de Relleno Hidráulico de Marion y en interior mina en la línea de conducción en aquellas zonas donde la presión de impulsión a decrecido.

La Planta de Relleno Hidráulico de Marion está ubicada aproximadamente en el nivel 4,700 y el nivel más profundo donde descarga la línea que conduce la pulpa es el nivel 4,410.

Las longitudes de la línea de conducción de la pulpa son variadas, estas dependerán de la ubicación de la labor a rellenar; actualmente la línea de mayor longitud es la que conduce el relave hacia el nivel 4,550 Socorro con una longitud aproximada de 5,000 metros.

La velocidad crítica para el transporte de la pulpa está en función de las características granulométricas del relave, siendo actualmente este valor igual a 1.78 m/seg.

3.4 DEMANDA DE RELLENO

La cantidad de relleno requerido para cubrir los espacios vacíos dejados por la extracción del mineral en interior mina está en función a las metas que se establecen en el Programa de Producción de la mina.

Tabla 6
PROGRAMA DE PRODUCCION MINA 2014

	EXPLOTACION (TON)	PREPARACIONES (TON)	DESARROLLOS (TON)	TOTAL MES (TON)	TON / DIA (TON)
ENERO	43,898	234	2,569	46,701	1,868
FEBRERO	48,758	259	2,853	51,870	1,853
MARZO	53,635	285	3,138	57,058	1,841
ABRIL	51,347	273	3,004	54,624	1,821
MAYO	53,058	282	3,104	56,444	1,821
JUNIO	51,060	272	2,988	54,320	1,811
JULIO	56,511	301	3,306	60,118	1,939
AGOSTO	55,598	296	3,253	59,147	1,908
SEPTIEMBRE	54,240	289	3,174	57,703	1,923
OCTUBRE	56,647	301	3,314	60,262	1,944
NOVIEMBRE	54,815	292	3,207	58,314	1,944
DICIEMBRE	67,528	359	3,951	71,838	1,942
TOTAL AÑO	647,095	3,443	37,861	688,399	

La demanda de relleno por mes será igual a las toneladas mensuales extraídas de mineral entre su densidad cuyo valor es igual a 2.64 Ton/m³.

Tabla 7
PROGRAMA DE RELLENO 2014

	PRODUCCION (TON)	VOLUMEN (m ³)	VOL / DIA (m ³)
ENERO	43,898	16,628	665
FEBRERO	48,758	18,469	660
MARZO	53,635	20,316	655
ABRIL	51,347	19,450	648
MAYO	53,058	20,098	648
JUNIO	51,060	19,341	645
JULIO	56,511	21,406	691
AGOSTO	55,598	21,060	679
SEPTIEMBRE	54,240	20,545	685
OCTUBRE	56,647	21,457	692
NOVIEMBRE	54,815	20,763	692
DICIEMBRE	67,528	25,579	691
TOTAL AÑO	647,095	245,112	

3.5 OFERTA DE RELLENO

Dada a la rapidez de su colocado y a su menor costo, el relave viene a ser el principal tipo de relleno a usar durante la explotación del mineral.

Como el relave es un producto generado por el tratamiento del mineral extraído de la mina, su producción mensual también está en función a las metas que se establecen en el Programa de Producción de la mina.

A diferencia de la demanda de relleno donde solo se requiere conocer la producción por la explotación en los tajos; para la oferta de relleno se

considera la totalidad de mineral extraído que ingresara a la Planta Concentradora.

Para determinar la cantidad de relave que disponemos para ser enviada a mina como relleno debemos conocer algunos parámetros:

- Tonelaje mensual extraído de mina (Ton).
- Radio de concentración = 33.
- Peso específico del relave = 2.72 Ton/m³.
- Densidad aparente del relave = 1.8 Ton/m³.
- Densidad del mineral = 2.64 Ton/m³.
- Rendimiento de la clasificación U/F = 51.24 %.

Tabla 8
PRODUCCION DE RELAVE 2014

	TONELAJE TRATADO	RELAVE TOTAL		RELAVE PARA MINA		RELAVE PARA MINA IN SITU	
	(TON)	(TON)	(m ³)	(TON)	(m ³)	(TON)	(m ³)
ENERO	46,700	45,285	16,649	23,204	8,531	23,204	12,891
FEBRERO	51,871	50,299	18,492	25,773	9,475	25,773	14,318
MARZO	57,059	55,330	20,342	28,351	10,423	28,351	15,751
ABRIL	54,624	52,969	19,474	27,141	9,978	27,141	15,079
MAYO	56,445	54,735	20,123	28,046	10,311	28,046	15,581
JUNIO	54,319	52,673	19,365	26,990	9,923	26,990	14,994
JULIO	60,118	58,296	21,432	29,871	10,982	29,871	16,595
AGOSTO	59,147	57,355	21,086	29,388	10,805	29,388	16,327
SEPTIEMBRE	57,702	55,953	20,571	28,671	10,541	28,671	15,928
OCTUBRE	60,262	58,436	21,484	29,943	11,008	29,943	16,635
NOVIEMBRE	58,314	56,547	20,789	28,975	10,652	28,975	16,097
DICIEMBRE	71,838	69,661	25,611	35,694	13,123	35,694	19,830
TOTAL AÑO	688,399	667,538	245,418	342,047	125,752	342,047	190,026

3.6 BALANCE DE RELAVE

Conocido la demanda así como la oferta de relave se realiza el balance con la finalidad de saber si es que existe superávit o déficit o de relave.

Si es que hay mas relave de lo que requiere la mina, entonces se acortará la vida útil de la presa de relaves que es donde se depositara finalmente el excedente.

Por el contrario si es que hay menos relave de lo que se requiere, se tendrá problemas de retrasos en el ciclo de minado de los tajos por la no oportuna entrega del relleno.

Tabla 9

BALANCE DE RELAVE 2014

	OFERTA (m3)	DEMANDA (m3)	BALANCE (m3)
ENERO	12,891	16,628	-3,737
FEBRERO	14,318	18,469	-4,151
MARZO	15,751	20,316	-4,566
ABRIL	15,079	19,450	-4,371
MAYO	15,581	20,098	-4,517
JUNIO	14,994	19,341	-4,347
JULIO	16,595	21,406	-4,811
AGOSTO	16,327	21,060	-4,733
SEPTIEMBRE	15,928	20,545	-4,617
OCTUBRE	16,635	21,457	-4,822
NOVIEMBRE	16,097	20,763	-4,666
DICIEMBRE	19,830	25,579	-5,749
TOTAL AÑO	190,026	245,112	-55,086

3.7 DEFICIT DE RELAVE

El balance de relave para el año 2014 presenta un escenario desfavorable desde los primeros meses del año, debido a que el aporte de relave generado por el tratamiento del mineral explotado en interior mina no cubre la demanda para rellenar los espacios vacíos dejados por la misma.

El escenario del año 2013 presentaba una realidad diferente; si bien es cierto que los niveles de producción fueron casi los mismos la oferta de relave era mayor debido a que se trataba mineral de baja ley depositados en superficie en la Cancha de Macarena y por otro lado la existencia de tajos mecanizados donde el 60% del relleno usado era desmonte que era generado por el desquinche de las rocas encajonantes del tajo.

En los cuadros siguientes se muestran el escenario que se tenía con respecto al balance de relave en el año 2013.

Tabla 10

PROGRAMA DE PRODUCCION MINA 2013

	EXPLORACION (TON)	PREPARACIONES (TON)	DESARROLLOS (TON)	MACARENA	TOTAL MES (TON)	TON / DIA (TON)
ENERO	36,699		2,443	19,107	58,249	1,779
FEBRERO	39,866	129	2,317	22,238	64,550	1,763
MARZO	50,989		2,223	22,399	75,611	1,900
ABRIL	46,608	22	2,051	27,077	75,758	1,623
MAYO	47,015	689	4,776	23,319	75,799	1,693
JUNIO	41,105	659	4,116	30,212	76,092	1,529
JULIO	49,695	39	3,060	24,237	77,031	1,703
AGOSTO	50,426	143	5,445	21,284	77,298	1,807
SEPTIEMBRE	45,489	514	6,157	20,893	73,053	1,739
OCTUBRE	47,493	315	5,016	25,716	78,540	1,704
NOVIEMBRE	45,361	129	2,141	25,765	73,396	1,588
DICIEMBRE	57,970	751	3,993	27,981	90,695	1,695
TOTAL AÑO	558,716	3,390	43,738	290,228	896,072	

Tabla 11
BALANCE DE RELAVE 2013

	OFERTA (m3)	DEMANDA (m3)	BALANCE (m3)
ENERO	16,079	13,901	2,178
FEBRERO	17,818	15,101	2,718
MARZO	20,872	19,314	1,558
ABRIL	20,912	17,655	3,258
MAYO	20,924	17,809	3,115
JUNIO	21,004	15,570	5,434
JULIO	21,264	18,824	2,440
AGOSTO	21,337	19,101	2,237
SEPTIEMBRE	20,166	17,231	2,935
OCTUBRE	21,680	17,990	3,690
NOVIEMBRE	20,260	17,182	3,078
DICIEMBRE	25,035	21,958	3,077
TOTAL AÑO	247,352	211,635	35,717

3.7.1 Alternativas para cubrir el deficit de relleno

Dado que el método de explotación iba a continuar siendo la misma, es decir Corte y Relleno Ascendente y a su vez la producción se iba a centrar netamente en lo explotado en interior mina; el escenario que se vislumbraba para el 2014 era poco favorable para la operación de relleno hidráulico debido al desabastecimiento de relave que se iba a generar por la poca producción de la misma.

Esta coyuntura obliga a buscar alternativas que permitan cubrir la necesidad de la mina respecto al relleno de los tajos y con ello asegurar el normal cumplimiento de ciclo de minado en los tiempos estimados.

Se analizaron diversas alternativas como las siguientes:

- Realizar el relleno de los tajos convencionales con desmonte generado descajado de la caja piso para el pase del rastrillo. Se descartó esta alternativa porque este descaje iba a implicar incremento en el costo operativo de la labor por el uso de mas explosivos, mas sostenimiento y por dejar condiciones de peligro al tener “cornisas” colgadas.
- Realizar el relleno de los tajos con desmonte proveniente de las labores de preparación. Se descartó esta alternativa porque los tajos se encuentran en altura y no cuentan con accesos para equipos de carguío, siendo la única alternativa construir chimeneas al nivel superior con la finalidad de que por esta labor de comunicación se lanzara el desmonte. Esto implicaría incremento de costo por mayor uso de equipos, uso de ventiladores para disipar los gases que generarían estos equipos y por el retraso a la producción del tajo debido a la construcción de la chimenea.
- Incrementar la cantidad de relave ofertado a la operación de relleno hidráulico, haciendo uso de relaves depositados en antiguas relaveras.

En vista que se requerirá una solución factible, rápida y económica se opto por la alternativa de la reutilización de relaves antiguos.

CAPITULO IV

REUTILIZACION DE RELAVES ANTIGUOS

El déficit de relave ofertado para la operación de relleno hidráulico nos obliga a buscar alternativas para cubrir la necesidad de relleno de los tajos, optándose a reutilizar relaves depositados en la antigua Cancha N°4.

Debido a la cercanía de la antigua cancha de relave N°4 a las instalaciones de la Planta de Clasificación de relave es que también esta opción se hace viable.

4.1 PROYECTO DE REUTILIZACION DE RELAVES ANTIGUOS.

4.1.1 Objetivo

El presente proyecto tiene por objetivo cubrir la demanda de relleno requerida por la operación mina, en virtud al déficit de relave que se generara al dejar de tratar el mineral proveniente de la Cancha de Macarena.

4.1.2 Descripción del proyecto

El proyecto comprende la reutilización de relaves antiguos provenientes de la antigua Cancha de relave N°4 ubicada aguas abajo de la Planta Concentradora.

El relave será transportado mediante volquetes a una poza contigua a la Planta de Clasificación en donde se acopiará según la necesidad del día.

A partir de esta poza se repulpeará el relave acumulado y se enviara a la canaleta de descarga de la Planta Concentradora mediante el uso de una bomba de lodos sumergible y posteriormente ingresara al nido de ciclones para su clasificación.

En el nido de ciclones se recuperara la fracción gruesa del relave antiguo y se sumara al relave producido en la Planta Concentradora completando el déficit de relave diario.

4.1.3 Trabajos previos

Antes de comenzar a evacuar el relave de la cancha antigua hacia la poza donde se realizara el repulpeo se deberá realizar una serie de trabajos previos que se detallan a continuación.

- Limpieza de la superficie de la cancha de todo material contaminante tales como el desmonte, lodos y trozos de madera, con el apoyo de un cargador frontal y volquete.
- Toma de muestras de relave y posterior realización del análisis granulométrico con la finalidad de zonificar la superficie de la cancha de relave N°4 a fin de determinar zonas que contengan partículas gruesas (malla +200) en porcentaje mayores a 80%. Las muestras serán tomadas luego de realizar un zanjeo de aproximadamente 2 metros con la ayuda de un cargador frontal.

- Acondicionar la poza de contingencia para derrames N°3 como poza de acopio y posterior repulpeo del relave, para lo cual se debe ampliar la capacidad de almacenaje incrementando la altura del muro perimétrico de la misma y luego la construcción de losa de concreto al inicio de la poza para evitar contaminación del suelo al momento de acopiar relave.
- Instalación de un sistema de bombeo en la poza de repulpeo para el envío del relave a la Planta de Clasificación; esto con la finalidad de separar las partículas finas (mallas -200) de las gruesas (mallas +200).
- Construcción de muro de contención al borde de la cuenca del río que se ubica al frente de la poza de repulpeo, con la finalidad de evitar ingreso de relave al río.

4.2 PROCESO DE OPERACIÓN DE REPULPEO DE RELAVE

La operación de repulpeo de relave en conjunto comprenderá las siguientes actividades:

4.2.1 Acumulación de relave

El primer paso contemplará la remoción del suelo de la Cancha de relave N°4 con la finalidad de separar las capas de relave de granulometría gruesa con los de granulometría fina. Se empezará por las zonas donde superficialmente se observa relave grueso, y en aquellas donde estén confirmados por el análisis granulométrico realizado a las muestras tomadas previamente.

La forma de cómo se irá removiendo el relave será de manera escalonada y descendente, es decir se irá retirando el relave a partir de la superficie de la cancha, profundizando hasta llegar a capas de relaves de granulometría fina que son fáciles de identificar porque presentan textura compacta arcillosa que no se disgrega con la mano.

Durante el proceso de profundización se tendrá cuidado en no dejar taludes mayores a 3 metros para evitar desmoronamiento de relave, por lo que se dejara banquetas si es que la profundización supera los 3 metros de profundidad.

El relave seleccionado de granulometría gruesa será acopiado en rumas, esto con la finalidad de hacer más fácil el posterior carguío de relave a los volquetes. Esta actividad se realizara con el apoyo de una Excavadora que presenta mayor ventaja operacional que un Cargador frontal

El relave que contiene granulometría fina (mallas -200) se acopiará en un lado de la cancha donde no interfiera con el tránsito de los equipos de remoción y carguío para posteriormente ser usado como relleno de los espacios vacios dejado en la cancha de relave N°4.

4.2.2 Movimiento de relave

Una vez que se tenga acopiado el relave en rumas y determinada la necesidad diaria de relave que va de acorde al sistema de bombeo, se procede al transporte de relave en volquetes desde la cancha de relave N°4 hacia la poza de repulpeo: siendo esta distancia en promedio de 500 metros

Para el transporte de relave se usaran volquetes de 12 m³ de capacidad y para el carguío de relave a estos volquetes se usa la misma Excavadora que realiza la remoción y acopio de relave.

La siguiente fórmula nos permite calcular el rendimiento de la excavadora.

$$R = \frac{V_c * 3600 * Fe * Fe' * C_t}{T_c} = m^3/h$$

Donde:

V_c = Capacidad de la cuchara de la excavadora en m³.

Fe = Factor de eficacia de la máquina.

Fe' = Factor de eficacia de la cuchara que depende del tipo de terreno.

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE
Flojo	0.90 - 1.00
Medio	0.8 - 0.90
Duro	0.5 - 0.80

C_t = Coeficiente de transformación que depende según lo que se transportará

CLASE DE TERRENO	PERFIL	MATERIAL ESPONJADO	MATERIAL COMPACTO
Tierra	1.00	1.25	0.9
Arcilla	1.00	1.40	0.9
Arena	1.00	1.10	0.95

T_c = Tiempo de duración del ciclo en segundos, comprendido en el carguío.

TIPO DE TERRENO	TC EN SEGUNDOS
Flojo	15 - 20
Medio	20 - 25
Duro	25 -30

El equipo utilizado para la remoción y carguío de relave es una Excavadora CAT modelo 320CL, con una cuchara de capacidad 1.5 yd³.

Dado que el relave es un tipo de arena, se calcula el rendimiento para el cucharón de la excavadora usada con los siguientes datos.

- Capacidad de cuchara (Vc): 1.5 yd³
- Factor de eficacia (Fe): 0.90
- Factor de eficacia del cucharón (Fe'): 0.95
- Coeficiente de transformación (Ct): 1.1
- Ciclo de cuchareo (Tc): 20 seg

Con la que se obtiene un rendimiento de la excavadora de 3.10 m³/min, por lo tanto el tiempo de carguío de un volquete de 12 m³ es de 3.8 minutos.

La demanda diaria de relave asciende aproximadamente a 410 toneladas por lo que el número de viajes diarios será igual a 19 viajes.

En tal sentido, el tiempo total de carguío de relave por día de trabajo usando la excavadora será de 72.2 minutos o 1.2 horas.

Por otro lado el rendimiento del volquete viene dado por la siguiente fórmula,

$$R = \frac{V_c * 60 * Fe}{T_c} = m^3/h$$

Donde:

Vc = Capacidad de la tolva en m3.

Fe = Factor de eficacia 80% - 90%

Tc = Tiempo de duración del ciclo en minutos, comprendido en el carguío, transporte y descarga

Como ya se ha indicado se usan volquetes VOLVO de 12 m³ de capacidad y en campo se ha realizado un ensayo piloto para realizar mediciones de tiempo, obteniéndose los siguientes valores.

○ Capacidad de la tolva (Vc):	12 m ³
○ Factor de eficacia (Fe):	0.8
○ Tiempo de carguío:	3.8 min
○ Tiempo de transporte de ida:	3 min
○ Tiempo de transporte de regreso:	3 min
○ Tiempo de descarga:	4 min
○ Tiempo total del ciclo (Tc):	13.8 min

El rendimiento obtenido para el transporte de relave usando volquete de 12 m³ asciende a 42 m³/hr de la que se desprende que cada viaje de volquete tomara unos 17.1 minutos.

De los cálculos anteriores se determinó que para un día de trabajo de requería mover 19 viajes de relave con volquete, por lo tanto el tiempo total de transporte por día de trabajo es de 325 minutos o 5.4 horas.

Como el relave extraído procede de antiguos depósitos, se tendrá que ir removiendo y posteriormente cubriendo los espacios vacios. Para estos trabajos se ha dispuesto que la excavadora trabaje 2 horas por día adicionales a los realizados en el movimiento de relave.

Tabla 12

RESUMEN DE MOVIMIENTO DE RELAVES					
DESCRIPCION	EQUIPO	RENDIMIENTO	UNIDAD	TIEMPO (min/viaje)	TIEMPO (hr/día)
Carguio de relave.	Excavadora	3.1	m3/min	3.8	1.2
Preparacion de relave	Excavadora				2
Transporte de relave.	Volquete	42	m3/hr	17.1	5.4
Producción:					
Relave a mover	410 Ton				
Capacidad de volquete	21.6 Ton/viaje				
Nº de viajes	19 viajes				
TIEMPO USADO (hr/día)			EXCAVADORA		3.2
			VOLQUETE		5.4

4.2.3 Repulpeo de relave

El relave que es transportado desde la Cancha N°4 es acumulado en una poza contigua a la Planta de Clasificación, al que luego se le agregará agua lanzada a chorros por medio de un “pitón” para formar una pulpa homogénea capaz de ser transportada, que luego mediante una bomba de lodos será enviado a la canaleta de desfogue del relave de Planta Concentradora para sumarse al relave proveniente de ella y ingresar como alimentación al nido de ciclones de la Planta de Clasificación de relave.

La cantidad de relave seco y agua a utilizar, dependerá del déficit diario de relave que se quiere cubrir.

Para mover el relave de la poza hacia la canaleta de desfogue de la planta se recurría a un sistema de bombeo cuyo componente principal es la bomba sumergible de lodos cuyas características dependerá de la cantidad de relave que se querrá por mover al día.

4.2.4. Sistema de bombeo

El sistema de bombeo es la encargada de mover el relave repulpeado desde su ubicación inicial que es la poza de acumulación hasta su destino final que es la canaleta de desfogue de la planta.

Para seleccionar la bomba adecuada que se utilizara en este sistema de bombeo del proyecto de repulpeo, se debe conocer los siguientes parámetros:

- Caudal de la pulpa a bombear.
- Altura dinámica total a bombear.

Para obtener estos parámetros se debe analizar las características físicas del relave que será transportado por el sistema de bombeo, así como las características que tiene este sistema de bombeo.

4.3. ANALISIS DE RELAVE A TRANSPORTAR

El análisis granulométrico del relave proveniente de la Cancha N°4 nos permitirá conocer el tamaño promedio de la partícula $d(50)$ cuyo valor es útil para conocer la velocidad limite de transporte del solido o también llamado velocidad critica.

Tabla 13
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE RELAVE DE LA CANCHA N° 4

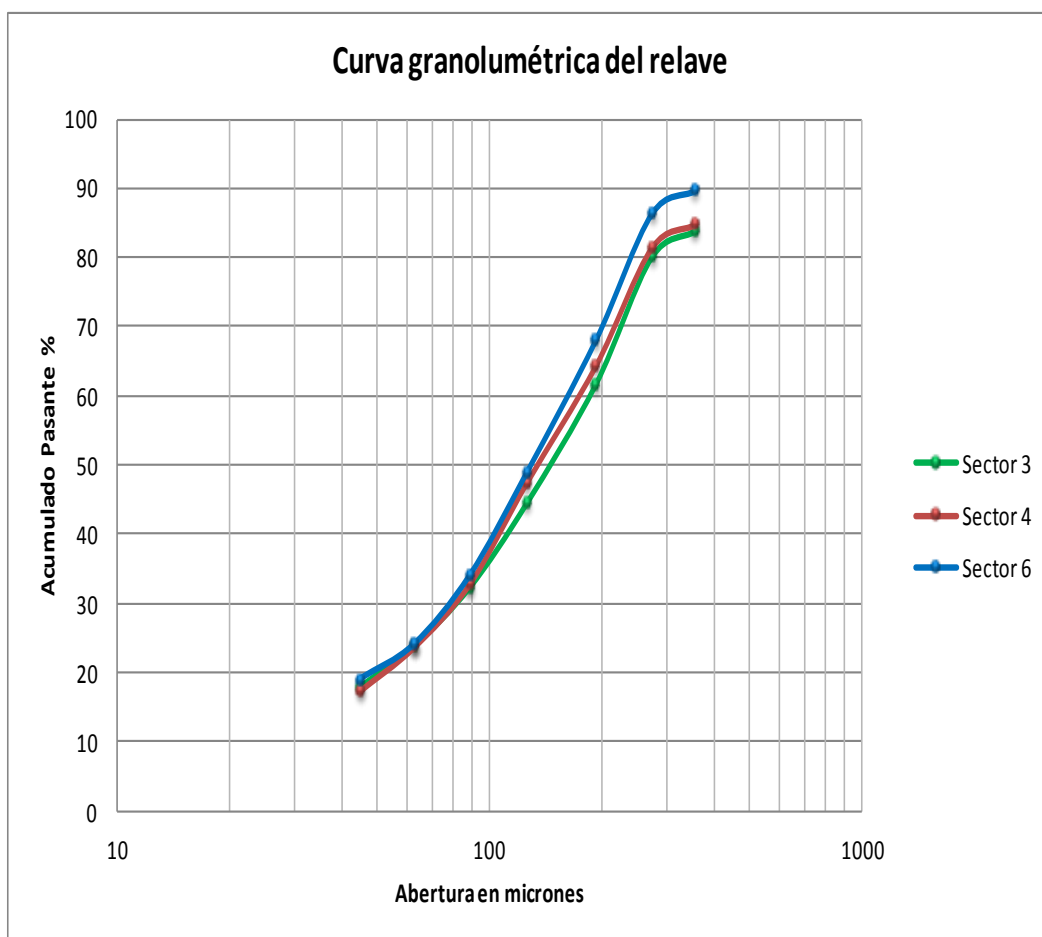
Malla	SECTORES DE LA CANCHA 4								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3/8	2.38	3.94	8.86	2.34	0.69	4.16	0.6	7.88	0
3	0.76	1.92	0.7	1.46	1	0.32	0.29	1.06	1.8
4	0.79	0.39	0.13	1.08	1.56	0.43	0.63	1.53	0.72
6	0.82	0.88	0.4	1.55	0.91	0.43	0.49	1.18	0.59
8	0.73	0.55	0.54	1.05	1.09	0.4	0.37	1.28	0.66
10	0.36	0.29	0.13	0.4	0.44	0.19	0.2	0.52	0.26
16	1.22	1.04	0.43	1.3	1.35	0.56	0.63	1.62	1.18
20	0.88	0.62	0.27	0.74	0.74	0.29	0.43	0.89	0.51
30	1.31	0.88	0.4	0.99	0.85	0.37	0.63	0.91	0.59
35	0.76	0.6	0.43	0.84	0.62	0.37	0.52	0.64	0.46
50	3.34	2	3.99	3.65	2.18	2.79	2.15	2.29	2.12
60	1.82	1.53	3.75	3.37	1.41	3.35	1.49	1.43	1.64
100	7.39	7.23	18.46	17.03	6.97	18.37	7.03	7.19	8.62
140	10.52	10.2	17.14	16.78	10.89	19.09	8.87	9.06	11.46
200	9.39	8.45	12.2	14.61	11.62	14.91	9.36	8.47	10.41
270	6.29	6.32	8.53	9.16	9.27	10.02	10.36	6.97	7.98
400	3.37	2.68	5.91	6.26	6.18	5	8.81	5.14	4.45
-400	47.87	50.48	17.73	17.39	42.23	18.95	47.14	41.94	46.55
total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-200	57.53	59.48	32.17	32.81	57.68	33.97	66.31	54.05	58.98
-270	51.24	53.16	23.64	23.65	48.41	23.95	55.95	47.08	51

Previo a la operación de repulpeo del relave se realizó diversos análisis granulométricos de diferentes sectores de la Cancha de relave N° 4, con la finalidad de determinar que parte útil de esta cancha antigua se iba a reutilizar.

El cuadro anterior indica los resultados de la sectorización; que partiendo de la premisa de considerar a la Malla 200 como la malla de corte, solo tres sectores de la Cancha de relave N° 4 estuvieron disponibles para ser reutilizados. Estos sectores son el 3, 4 y 6 los cuales presentan un

porcentaje acumulado de relave con granulometrías por debajo de la malla - 200 (partículas finas) menores a 35%.

Dado que los relaves provenientes de estos tres sectores tienen similares distribuciones granulométricas tal como se puede apreciar en la siguiente grafica; tomaremos como patrón el relave proveniente del sector N° 3.



De la gráfica, podemos obtener los valores aproximados del $d(50)$ realizando interpolación lineal, así como de otros diámetros como el $d(10)$ y el $d(80)$, que nos servirán para futuros cálculos.

$d(50) = 148$ micras.

$d(20) = 52$ micras.

$d(80) = 273$ micras.

$d(80) / d(20) = 5.3$: Relación utilizado para el cálculo de la constante de Durand's

4.4. DEFICIT A CUBRIR POR EL SISTEMA DE REPULPEO

A partir del cuadro de Programa de producción para el año 2014 se tomará los valores de tonelaje de extracción promedio así como el tonelaje promedio de tratamiento, a fin de poder determinar el déficit diario y saber cuál es el volumen de relave antiguo a mover por día.

Se estima un tonelaje promedio mensual de extracción para el año 2014 de 53,924.58 toneladas secas y un tonelaje promedio mensual de tratamiento de 57,366.57 toneladas secas. Se tiene el siguiente cuadro de balance de masas para poder determinar el déficit diario de relave.

DEMANDA DE RELAVE MINA

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
Producción mensual de mina .	ton/mes	53,924.58
Producción diaria de mina .	ton/día	1,797.49
Densidad de mineral	ton/m3	2.64
Demanda diaria de relave.	m3/día	680.87

OFERTA DE RELAVE MINA

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
Tratamiento mensual	ton/mes	57,366.57
Tratamiento diario	ton/día	1,912.22
Radio de concentracion.		33.00
Producción diaria de relave.	ton/día	1,854.27
Fraccion gruesa.	%	51.11
Oferta diaria de relave.	ton/día	947.64
Densidad aparente de relave.	ton/m3	1.80
Oferta diaria de relave.	m3/día	526.47

DEFICIT DE RELAVE MINA

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
Deficit diario volumen de relave.	m3/día	154.40
Horas de operación día	h/día	10.00
Deficit volumen de relave por hora.	m3/h	15.44

Las horas de operación indicada en el cuadro anterior se refieren al tiempo que durará la operación de repulpeo, considerando que solo esta tarea se hará en el turno de día.

El análisis granulométrico del relave a usar en el repulpeo nos indica que este relave aun posee un 32.17% de partículas con granulometría fina (malla -200) que durante el proceso de clasificación serán depurados; por lo

que para poder cubrir los 154.4 metros cúbicos de déficit diario realmente se tendrán que mover esta cantidad más 32.17% adicionales, es decir se tendrá que repulpear diariamente 227.6 metros cúbicos de relave.

Conocido la cantidad de relave que se ha de repulpear y las horas que debe durar esta actividad, se determina el flujo de relave seco que deberá mover el proyecto de repulpeo, la cual es de 22.76 metros cúbicos por hora.

4.5. PARAMETROS DE BOMBEO

Conocido ya el flujo de relave seco a mover se puede determinar el resto de parámetros utilizados para poder realizar una correcta elección del sistema de bombeo, para lo cual se asume una densidad de la pulpa bombeada de 1,500 gr/cc o 1.5 ton/m³.

DESCRIPCION		UNIDAD	VALOR
Flujo Volumétrico de sólido esponjado	Qse	m ³ /h	22.76
Densidad aparente de relave	Dap	ton/m ³	1.8
Densidad de la Pulpa	Dp	ton/m ³	1.5
Peso específico del sólido	GEs		2.72

- Porcentaje de sólidos en volumen (Cv):

$$C_v = \frac{(D_p - D_a)}{(P_{Es} - P_{Ea})}$$

- Porcentaje de sólidos en masa (Cw):

$$C_w = \frac{P_{Es}}{D_p} \frac{(D_p - D_a)}{(P_{Es} - P_{Ea})}$$

Donde:

Dp = Densidad de la pulpa (ton/m³)

Da = Densidad del agua (ton/m³)

Pes = Peso específico del sólido (ton/m³)

Pea = Peso específico del agua (ton/m³)

DESCRIPCION		UNIDAD	VALOR
Porcentaje de sólidos peso	%Cw	%	52.71
Porcentaje de sólidos volumen	%Cv	%	29.07

Determinado los valores de concentración, calcularemos el resto de parámetros de bombeo.

FLUJO MASICO DE SOLIDOS (Ms):

$$Ms = Qse \times Dap$$

(ton/h sólido) 40.97

FLUJO MASICO DE PULPA (Mp):

$$Mp = Ms / \% Cw$$

(ton/h pulpa) 77.73

FLUJO VOLUMETRICO DE PULPA (Qp):

$$Qp = Mp / Dp$$

(m3/h pulpa) 51.82

FLUJO MASICO DE AGUA (Ma):

$$Ma = Mp - Ms$$

(ton/h agua) 36.76

FLUJO VOLUMETRICO DE AGUA (Qa):

$$Qa = Ma$$

(m3/h agua) 36.76

FLUJO VOLUMETRICO DE SOLIDOS (Qs):

$$Qs = Qp \times \% Cv$$

(m3/h sólido) 15.06

PESO ESPECIFICO DEL SOLIDO (PE):

$$PE = Ms / Qs$$

(ton/m3 sólido) 2.72

El sistema de bombeo que se usará en la actividad de repulpeo tendrá las siguientes características de diseño:

- Cabeza de descarga estática: 17 metros.
- Longitud de la tubería: 60 metros.
- Diámetro nominal de la tubería: 4 pulgadas.
- Diámetro interno de la tubería: 93.8 milímetros.
- Sólido a transportar: relave
- Tamaño promedio de partículas (d50): 148 micras.
- Peso específico del solido: 2.72 ton/m3

Así mismo, la pulpa a transportar presenta las siguientes características:

- Densidad de la pulpa: 1.5 ton/m³.
- Concentración de sólidos por volumen: 29.07%.
- Concentración de sólidos por peso: 52.71%.
- Peso de relave por hora: 40.97 ton/hr.
- Caudal de la pulpa: 51.82 m³/hr.
- Caudal de agua: 36.76 m³/hr

4.6. CALCULO DE VELOCIDADES

Establecido el caudal de la pulpa que se va a bombear, también se determina la velocidad de diseño (V_d) para tales condiciones.

$$V_d = \frac{Q_p}{A_t}$$

Donde:

Q_p = Caudal de la pulpa a bombear. (m³/s)

A_t = Área transversal de la tubería. (m²)

Para las condiciones expuestas, la velocidad de diseño es igual a 2.08 m/s.

Para evitar riesgos de atoramiento en la tubería, esta velocidad debe ser mayor que la velocidad crítica.

- **Velocidad crítica.**

La velocidad crítica se define como la velocidad límite con la que la pulpa será transportada a través de las tuberías. Si en la línea de bombeo se presentara velocidades menores a la velocidad crítica se presentarían atoramientos en la misma.

$$V_c = F_L \sqrt{2gD \frac{(S_P - S_L)}{S_L}}$$

Donde:

F_L = Constante de Durand's.

D = Diámetro interno de la tubería. (m)

S_P = Gravedad específica del sólido.

S_L = Gravedad específica del líquido.

g = Aceleración de la gravedad. (m/s)

El factor de Durand's (F_L) es un valor adimensional que dependerá de la concentración volumétrica de sólidos de la pulpa bombeada.

Durand y Candolios establecieron un diagrama donde se relaciona la concentración volumétrica con el tamaño de la partícula más grande en el 50% del porcentaje en peso acumulado negativo (d_{50}).

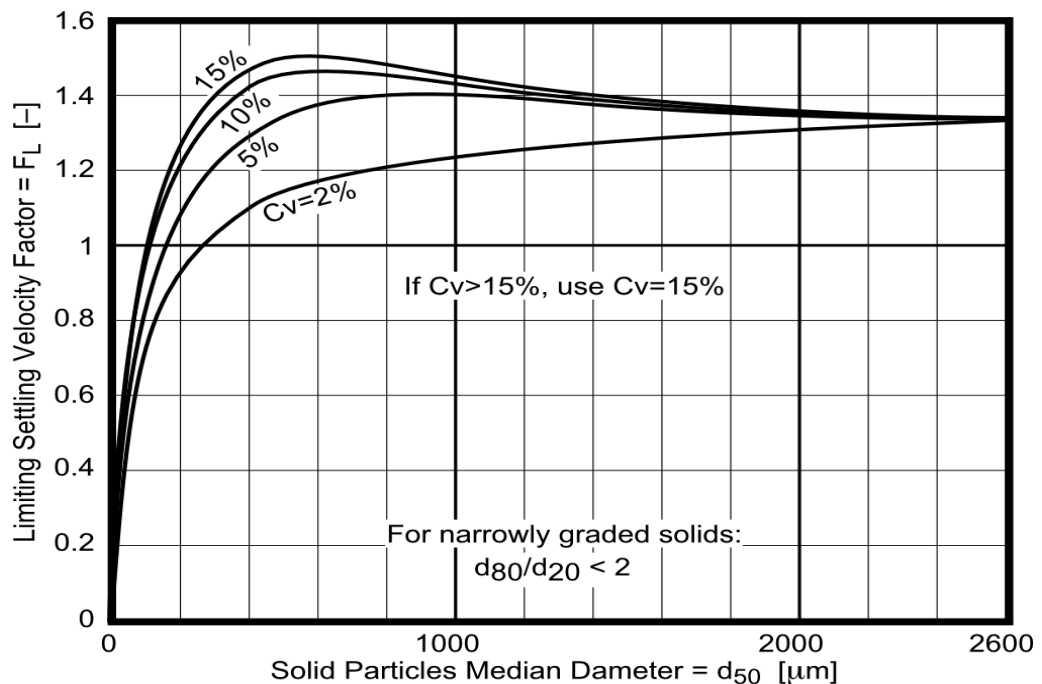


Figura 8 Grafico modificado de la Velocidad Límite de Sedimentación.

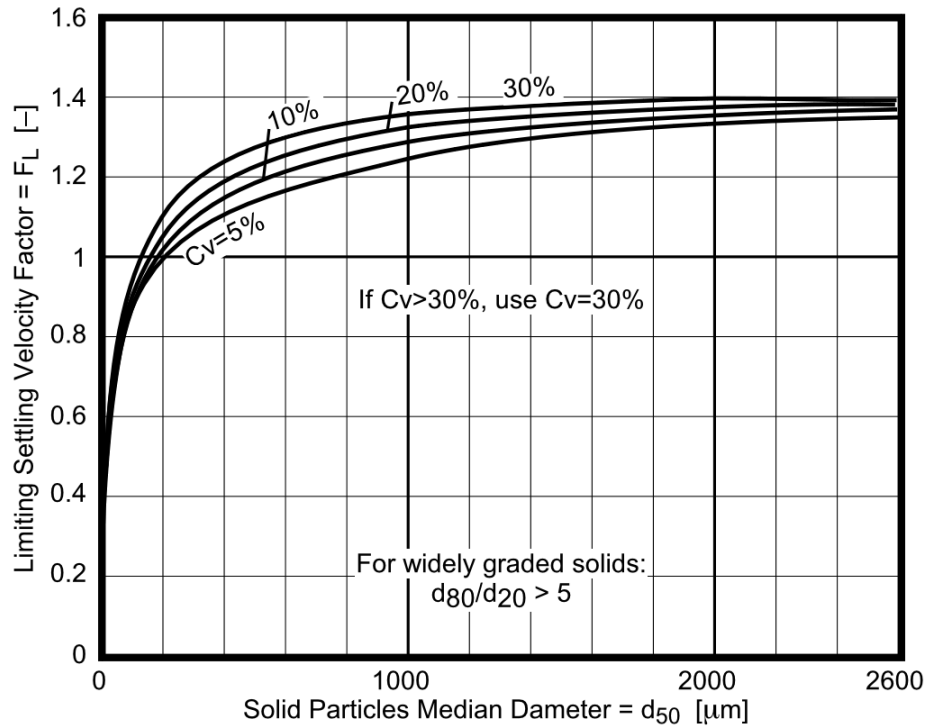


Figura 9 Grafico modificado de la Velocidad Límite de Sedimentación.

Para el caso del proyecto se tiene una concentración de sólidos por volumen (C_v) de 29.07% y un d_{50} igual a 148 μm y teniendo una relación del d_{80}/d_{20} es igual a 5.3, a partir del segundo grafico se puede determinar que el valor del factor F_L es igual a 1.

Para nuestro sistema de bombeo que cuenta con tubería de 4" y que transporta pulpa con sólidos con gravedad especifica igual a 2.72, la velocidad crítica será igual a 1.78 m/seg.

Dado que la velocidad de diseño igual a 2.08 m/s es mayor que la velocidad crítica es igual a 1.78 m/s, no existe el riesgo de atoramiento de la tubería durante la operación de repulpeo.

Conocido la velocidad de diseño para el sistema de bombeo a utilizar en la operación de repulpeo de relave antiguo y además que está garantizado que para las condiciones entregadas no tendremos problemas de atoramiento de la línea de bombeo, se procede a determinar la altura dinámica del sistema de bombeo.

4.7. ALTURA DINAMICA TOTAL DEL SISTEMA DE BOMBEO.

La altura dinámica total (ADT) es la suma de todas las restricciones expresadas en metros que se presentan en un sistema de bombeo, para que una bomba pueda desplazar el fluido de un punto a otro.

Estas restricciones o cargas básicamente son dos: carga estática y carga dinámica; la primera consiste en la diferencia de altura entre el eje de la bomba y el punto final de la descarga del fluido y la segunda se refiere a las pérdidas por fricción generadas por la rugosidad en la tubería y accesorios utilizados en la misma.

$$ADT_B = H_{estática} + H_{fricción} + H_{accesorios}$$

- H estática: Diferencia de alturas o cotas entre el punto de salida o eje de la bomba y el punto de llegada o descarga del fluido.
- H accesorios: Pérdidas locales debido al uso de accesorios tales como válvulas, codos, etc.
- H fricción: Pérdida debido a la fricción generada por la rugosidad de las paredes internas de la tubería al paso del fluido. Se determina usando la siguiente fórmula.

$$H_{friccion} = f \frac{LV^2}{2gD}$$

Donde:

- f : Coeficiente de fricción de la tubería.
- L : Longitud de la tubería de bombeo. (m)
- V : Velocidad del flujo del sistema de bombeo. (m/s)
- g : Aceleración de la gravedad. (m/s²)
- D : Diámetro interno de la tubería. (m)

El coeficiente de fricción “ f “, es un valor adimensional de depende de las características de la tubería, así como del fluido que transporta y puede ser determinada por la siguiente formula.

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right) \right]^2}$$

Donde:

- ε : Rugosidad de la tubería. (mm)
- D : Diámetro interno de la tubería. (m)
- Re : Número de Reynolds.

El número de Reynolds está dada por la siguiente formula.

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido.

- V: Velocidad del fluido. (m/s)
 D: Diámetro interno de la tubería. (m)
 μ : Viscosidad dinámica del fluido. (Pa – s)

Tomando en cuenta lo indicado en las características del sistema de bombeo del proyecto de repulpeo, se resuelve las anteriores ecuaciones y se obtiene los siguientes valores.

- Número de Reynolds (Re): 91,182.32
- Coeficiente de fricción (f): 0.0183
- Pérdida por fricción en la tubería (H_f): 2.59 m

Dado que el tramo de la tubería es pequeño, se asume que la pérdida por accesorios será el 5% de la pérdida por fricción y es igual a 0.13 metros.

La suma de estas alturas o pérdidas nos dan la altura dinámica total de la bomba ó ADT.

$$ADT_B = 17 \text{ m} + 2.59 \text{ m} + 0.13 \text{ m} = 19.72 \text{ m.}$$

Finalmente, se corregirá el ADT_B que ha sido calculado para el transporte de pulpa a su ADT_B equivalente para agua limpia, dado que la mayoría de curvas de rendimiento de bombas están dadas para agua limpia.

La siguiente expresión relaciona las cabezas totales o alturas totales tanto para el bombeo de agua limpia y pulpa.

$$HR = \frac{ADT_B(pulpa)}{ADT_B(agua)}$$

El factor de reducción (HR) es determinada a partir del siguiente modelo empírico planteado por Mc Elvain y Cave (1972)

$$HR = 1 - \frac{KC_v}{20}$$

Donde:

C_v : Concentración de sólidos por volumen.

K : Valor obtenido de un ábaco parametrizado por la gravedad específica de los sólidos (S_p).

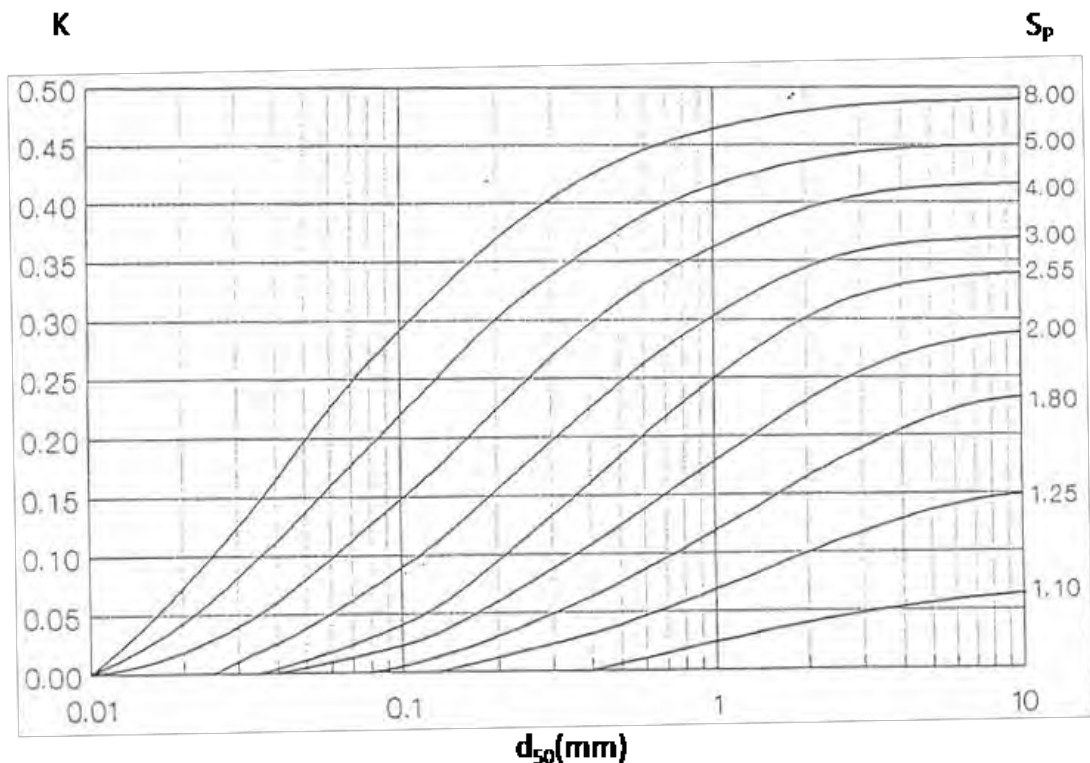


Fig 10 Abaco propuesto por Mc Elvain y Cave (1972) para determinar el valor K .

Para el caso del proyecto se tiene una concentración de sólidos por volumen (C_v) de 29.07%, un d_{50} igual a 0.145 mm (148 μm) y una gravedad

específica del sólido de 2.72; con lo que al ingresar al abaco anterior nos da un valor de K igual a 1.2. Finalmente el valor obtenido de HR es igual a 0.83; por lo que la nueva altura o cabeza equivalente es igual a.

$$ADT_B = 23.76 \text{ m}$$

4.8. PUNTO DE OPERACIÓN Y POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA.

El proyecto de repulpeo de relaves antiguos utilizará una bomba sumergible para lodos y que dada las necesidades de transporte de relave indicadas para este proyecto, esta bomba tendrá el siguiente punto de operación.

Caudal de bombeo:	51.82 m ³ /Hr.
Altura dinámica de bombeo:	23.76 m

El consumo de energía que implicará el funcionamiento de este sistema de repulpeo es determinado por la siguiente fórmula

$$BHP_{bomba} = \frac{Q_B ADT_B \rho_{pulpa}}{76\eta}$$

Donde:

Q_B	: Caudal de bombeo.
ADT_B	: Altura dinámica total del sistema .
ρ_{pulpa}	: Densidad de la pulpa bombeada.
η	: Eficiencia.

Asumiendo que la bomba seleccionada tendrá un rendimiento de 65%, la potencia eléctrica que consumirá será igual a 10.39 HP.

Finalmente le damos un factor de seguridad del 25% por lo que la potencia final requerida por la bomba, será igual a 13 HP.

4.9. SELECCIÓN DE BOMBA.

Con los valores del punto de operación requerido para nuestro sistema de bombeo del proyecto de repulpeo y utilizando la cartilla de gama de bombas de lodo sumergibles de la marca TOYO, seleccionaremos la bomba que se adecue a estos requerimientos.

La bomba a seleccionar es aquella cuya curva de rendimiento interseca o esté próxima al punto de operación (51.82, 23.76).

La bomba seleccionada es la del modelo DPF-20, que tiene las siguientes características.

- Diámetro de descarga: 100 mm.
- Flujo al punto nominal: 90 m³/Hr.
- Presión al punto nominal: 19.8 m.
- Diámetro del impulsor: 353 mm.
- Tamaño máximo del sólido: 35 mm.
- Potencia de motor estándar: 20 HP.

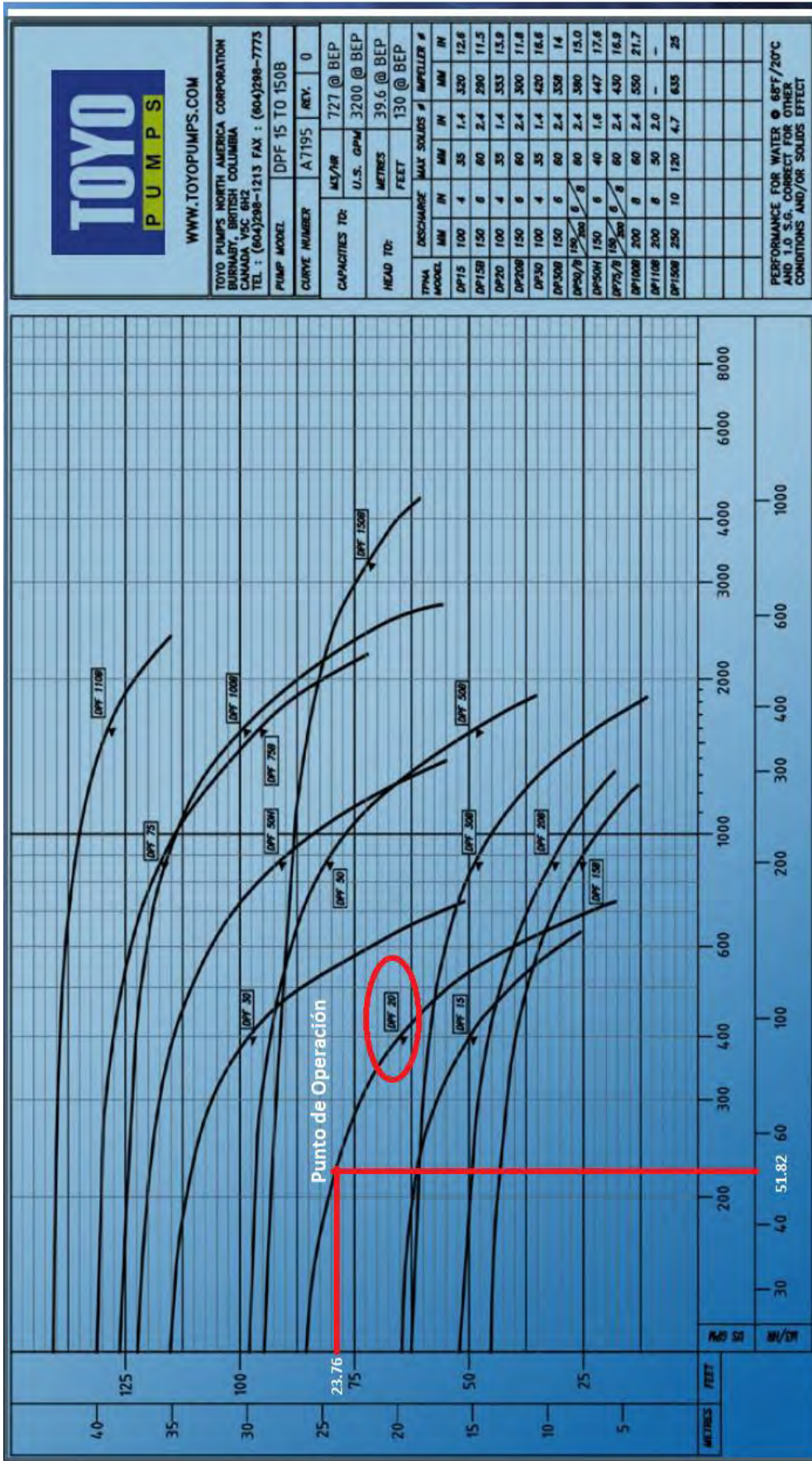


Fig 11 Selección de la bomba en función al punto de Operación del sistema.

4.10. SUMINISTRO DE AGUA PARA EL BOMBEO

Se determina de los cálculos anteriores que para el funcionamiento del sistema de bombeo se requiere $36.76 \text{ m}^3/\text{hr}$ de suministro de agua.

Para tal motivo se planea la construcción de un reservorio de agua de 100 m^3 , la cual estará ubicada junto a los reservorios actuales que alimentan de agua a la mina. El agua que se acumulará en el reservorio proviene del bombeo de interior mina y esta es realizada por una bomba reciprocante y/o una bomba centrífuga 8x6.

Para tal propósito, la bomba centrífuga alimentará de agua a este nuevo reservorio con un caudal de ingreso de $73 \text{ m}^3/\text{h}$. El desnivel existente entre la ubicación de este reservorio y la poza de repulpeo es de 150 metros, hace que el caudal por descarga por gravedad llegue como máximo a $74.13 \text{ m}^3/\text{hr}$, la que es controlado con válvula hasta obtener la velocidad de diseño.

El reservorio servirá como almacenaje de agua antes de que se inicie la operación de repulpeado.

CAPITULO V

CONSIDERACIONES ECONOMICAS DEL PROYECTO DE REPULPEO DE RELAVES ANTIGUOS

5.1 GENERALIDADES.

El proyecto de repulpeo de relaves antiguos tiene como objetivo cubrir el déficit de relleno en la U.O. Arcata que pone en riesgo el cumplimiento de las metas trazadas con lo que se refiere a la producción.

Básicamente el proyecto consiste en la reutilización de relaves depositados en la antigua Cancha de relave N°4, las que en una etapa inicial serán removidos y transportados mediante el uso de maquinaria pesada desde la cancha mencionada hasta un punto de acopio, desde donde luego será enviado en forma de pulpa a la Planta de clasificación de relave mediante el uso de un sistema de bombeo.

En tal sentido, el principal costo que se dará durante la operación de repulpeo será el atribuido al uso de maquinaria pesada.

Para dar inicio a este proyecto se contempla la realización de trabajos previos de obras civiles así como la adquisición del equipo de bombeo.

5.2 INVERSION.

5.2.1 Obras de infraestructura

Como se ha indicado en la descripción del proyecto, para el acopio del relave transportado desde la Cancha N°4 se usará la poza de contingencia ante posible derrame de relaves N°2. En la infraestructura existente se harán las siguientes modificaciones:

- Dado a que dicha poza se encuentra frente al cauce de un río, como medida preventiva para evitar el ingreso de relave a la cuenca de dicho río se ha planificado la construcción de un muro perimétrico de 50 m por 1 m de altura y 0.20 m de espesor y 0.5 m de zapata.

Tabla 14 Construcción de muro de contención

1. - CONTRUCCION DE MURO DE CONTENCION					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL (US\$)
1.1	Excavación de terreno compacto	m3	45.9	10	459.00
1.2	Encofrado - desencofrado	m2	21.16	100	2,116.00
1.3	Habilitado y colocado de acero	kg	2.20	1743	3,834.60
1.4	Concreto F'C= 210 kg/cm2	m3	121.43	20	2,428.60
TOTAL				US\$	8,838.20

- Construcción de losa de concreto al ingreso de la poza.

Con la finalidad de evitar contaminación del suelo durante la descarga; tendrá una dimensión de 6.5 m por 4.0 m con un espesor de 0.10 m.

Tabla 15

2.- CONSTRUCCION DE LOSA DE CONCRETO					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL (US\$)
2.1	Excavación de terreno compacto	m3	45.9	1.35	61.97
2.2	Encofrado - desencofrado	m2	21.16	4.2	88.87
2.3	Habilitado y colocado de acero	kg	2.20	150	330.00
2.4	Solados concreto F'C= 100 kg/cm2	m2	17.50	27	472.50
2.5	Concreto F'C= 210 kg/cm2	m3	121.43	4.05	491.79
TOTAL					1,445.13

- Ampliación de la altura del muro perimétrico de la poza en un metro:

La poza que será usada para el acopio de relave, actualmente tiene un perímetro de 34 m, con una altura de 1 m y un espesor de 0.20 m, teniendo una capacidad de almacenaje de 80 m³ de relave seco. Se pretende ampliar para poder almacenar hasta 130 m³.

Tabla 16

3.- INCREMENTO DE ALTURA DE MURO PERIMITRAL DE LA POZA					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL (US\$)
3.1	Habilitado y colocado de acero	kg	2.20	385	847.00
3.2	Encofrado - desencofrado	m2	21.16	68	1,438.88
3.3	Concreto F'C= 210 kg/cm2	m3	121.43	6.8	825.72
TOTAL					3,111.60

La inversión que se realizará para estas obras de infraestructura se indica en el siguiente cuadro resumen.

Tabla 17

RESUMEN DE INVERSION EN INFRAESTRUCTURA					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL
1	Construcción de muro de contencior Medidas: 50 m x 1.2 m x 0.2 m	global	8,838.20	1	8,838.20
2	Construcción de losa de concreto. Medidas: 4.5 m x 6 m x 0.1 m	global	1,445.13	1	1,445.13
3	Incremento de muro perimetral Medidas: 34 m x 1 m x 0.2 m	global	3,111.60	1	3,111.60
TOTAL INFRAESTRUCTURA					13,394.93

5.2.2 Implementación de sistema de bombeo

El sistema de bombeo del proyecto estará compuesto por los siguientes ítems.

- Bomba sumergible de lodos.
- Tubería de HDPE de 4" de diámetro nominal.
- Accesorios: válvulas, acoples, bridas, etc.

Tabla 18

1.- BOMBA DE LODOS					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	CANTIDAD	SUBTOTAL (US\$)
1.1	Bomba de lodos: marca TOYO modelo DPF- 20	Und	26,780.00	1	26,780.00
1.2	Tablero de arranque	Und	2,828.00	1	2,828.00
1.3	Instalación eléctrica	Glb	500.00	1	500.00
TOTAL				US\$	30,108.00

Tabla 19

2.- LINEA DE BOMBEO					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	CANTIDAD	SUBTOTAL (US\$)
2.1	Tubería de HDPE de 4"	m	4.60	60	276
2.2	Bridas Vitaulic de 4"	Pza	18.50	2	37
2.3	Cabezal vitaulico de 4"	Pza	15.80	1	15.8
2.4	Niples roscado - vitaulico de 4"	Pza	10.45	1	10.45
2.5	Manguera flexible de 4"	m	81.90	6	491.4
2.6	Válvula Check de 4"	Pza	55.00	1	55
2.7	Alcayata de fierro de 1"	Pza	5.00	20	100
TOTAL				US\$	985.65

Tabla 20

RESUMEN DE INVERSION EN IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE BOMBEO					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	CANTIDAD	SUBTOTAL (US\$)
1	Bomba de lodos.	Glb	30,108.00	1	30,108.00
2	Línea de bombeo	Glb	985.65	1	985.65
TOTAL				US\$	31,093.65

- Reservoirio de agua de 100 m³.
Requerida para mantener el suministro de agua al sistema de bombeo del pepulpeo, de forma cilíndrica y hecho en metal.

Tabla 21

CONSTRUCCION DE RESERVIORIO DE 100 M3					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL (US\$)
1	TRABAJOS PRELIMINARES.				1,914.89
	Transporte de materiales de Arequipa a U.O. Arcta.	Glb	1,000.00	1	1,000.00
	Transporte de materiales, equipos y personal en el Proyecto.	Glb	600.80	1	600.80
	Limpieza del terreno en forma manual.	m2	4.71	49	230.79
	Trazo y replanteo en obra.	m2	1.70	49	83.30
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS.				596.57
	Excavación en terreno compacto.	m3	45.90	2.52	115.67
	Eliminación de material excedente.	m2	21.00	3.02	63.42
	Nivelación interior y apisonado c/compactadora.	m2	8.52	49	417.48
3	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE.		875.50		857.50
	Solados concreto F'C=100 Kg/cm2,H=2".	m2	17.50	49	857.50
4	OBRAS DE CONCRETO ARMADO.		3,939.66		4,018.87
	Concreto F'C=210 Kg/cm2 - losa.	m3	121.43	17.22	2,091.02
	Encofrado y desencofrado - normal.	m2	21.16	8.4	177.74
	Habilitado y colocado de acero.	Kg	2.20	795.5	1,750.10
5	REVOQUES, ENLUCIDOS Y ACABADOS.		1,036.00		1,036.00
	Enlucido de losa.	m2	12.00	49	588.00
	Junta de dilatación con material flexible.	m	16.00	28	448.00
6	CARPINTERIA METALICA.		25,840.00		25,840.00
	Fabricación e instalacion de reservorio de agua	Und	25,840.00	1	25,840.00
7	COSTO DIRECTO		34,184.62		34,263.83
	Gastos Generales				3,426.38
	GG %		10.00%		
	Utilidad				3,426.38
	UU %		10.00%		
TOTAL RESERVIORIO 100 M3				US\$	41,116.59

5.3 COSTO DE OPERACIÓN DEL PROYECTO DE REPULPEO DE RELAVES

Puesta en operación el Proyecto de repulpeo de relave, se tienen los siguientes costos en función al tonelaje anual extraído.

5.3.1 Costo de depreciación del proyecto

Tabla 22

DEPRECIACION DEL PROYECTO		
DESCRIPCION	UNID	SUBTOTAL (US\$)
Inversión inicial del Proyecto.	US\$	85,605.17
Tasa de depresición anual.		20.00%
Depresición anual.	US\$	17,121.03
Produccion annual.	Ton	688,399
COSTO DE DEPRECIACION	US\$ / Ton	0.025

5.3.2 Costo de energía

La operación del sistema de repulpeo es básicamente la operación de la bomba de lodo la cual generará un consumo de energía; se considera 360 días de operación al año.

Tabla 23

ENERGIA						
DESCRIPCION	HORAS / DIA	HORAS / AÑO	POTENCIA HP	POTENCIA KW	KW - HORA / AÑO	SUBTOTAL (US\$/AÑO)
Bomba de lodo	10	3,600	20	14.92	53,712	4,511.81
Costo unitario:						
0.084 US\$/ Kw - hr						
Producción						
154.4 m3 relleno / día						
55,584 m3 relleno / año						
146,741.76 Ton mineral / año						
Dias trabajados:	360					
COSTO DE ENERGIA					US\$/Ton	0.031

5.3.3 Costo por mano de obra

El sistema de repulpeo será operado a tiempo completo durante las horas de operación por un operador de la bomba, el mismo que se encargará de pitonear el relave depositado. Así mismo el operador de la Planta de Clasificación participará a medio tiempo de la operación de repulpeo.

Tabla 24

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	P.U. (S/.) DIA	P.U. (US\$) DIA	DISPONIBILIDAD	CANTIDAD	SUBTOTAL (US\$ / DIA)
Operador de bomba - pitoneador	75.20	26.86	1	1	44.314
Operador de Planta de Clasificación	80.70	28.82	0.5	1	23.778
Beneficios sociales:	65%				
Tipo de cambio (US\$ - S/.)	2.8				
Producción					
154.4 m3 relleno / día					
55,584 m3 relleno / año					
146,741.76 Ton mineral / año					
Dias trabajados:	360				
COSTO DE MANO DE OBRA				US\$ / Ton	0.167

5.3.4 Costo por mantenimiento

El mantenimiento del sistema de repulpeo, básicamente consistirá en el mantenimiento de la bomba de lodos.

Tabla 25

MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE BOMBEO				
DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL (US\$ / MES)
Mantenimiento de bomba Toyo 20 HP (Información histórica de bombas similares)	Glb	700.00	1	700
Producción				
154.4 m3 relleno / día				
4,632 m3 relleno / mes				
12,228.48 Ton mineral / mes				
COSTO DE MANTENIMIENTO			US\$ / Ton	0.057

5.3.5 Costo por movimiento de relave

Este costo es el generado por la utilización de una Retroexcavadora y de volquetes para el movimiento de relave, tanto en la preparación, acopio y transporte del relave de la Cancha N°4 a la poza de repulpeo.

Tabla 26

MOVIMIENTO DE RELAVE				
DESCRIPCION	UNID	P.U. (US\$)	METRADO	SUBTOTAL (US\$ / DIA)
Excavadora	\$/ hr	60.00	3.2	192.0
Volquetes	\$/ hr	51.00	5.4	275.4
Producción				
154.4 m3 relleno / día				
55,584 m3 relleno / año				
146,741.76 Ton mineral / año				
Días trabajados:	360			
COSTO DE MOVIMIENTO DE RELAVE			US\$ / Ton	1.147

Finalmente el costo consolidado de la operación del Proyecto de repulpeo de relaves antiguos es 1.427 US\$ / ton y se detalla en siguiente cuadro final.

Tabla 27

RESUMEN DE COSTOS DE OPERACIÓN	US\$ / Ton mineral
Costo de depreciación del Proyecto.	0.025
Costo de energía.	0.031
Costo de mano de obra.	0.167
Costo por mantenimiento.	0.057
Costo por movimiento de relave.	1.147
TOTAL DE COSTOS DE OPERACIÓN	1.427

5.4 INFORMACION ECONOMICA DEL MINERAL EXTRAIDO

Para realizar cualquier proyecto es necesario contar con la información financiera del ente que solventara la ejecución del mismo.

Información como la evolución del costo total de la unidad, así como la tendencia de los precios de los metales, nos permitirán a priori justificar la necesidad de cualquier inversión que busca mantener la continuidad de los niveles de producción.

En nuestro caso el Costo de oportunidad del proyecto fácilmente sin contar aun con un análisis detallado, demuestra que invertir en una Planta de Repulpeo casi artesanal que no implica mayor inversión, mantendrá los niveles de producción tenidos en el año 2013 y con ellos cumplir con los objetivos de producción de la unidad y más aun con los de la corporación en materia financiera trazados para el 2014.

Actualmente la tendencia del precio de los metales es incierta y con tendencia al descenso, lo cual hace que todas las actividades unitarias de la unidad se desarrollen de la manera más óptima; por lo que tener un retraso en la entrega de relleno conllevaría a pérdidas económicas.

El costo de la mina contempla la suma de dos costos, la primera es el costo de la operación que son los incurridos por la operación de la Mina, la gestión geológica y los desarrollos, la operación de la Planta Concentradora y los servicios generales y el segundo costo es el costo administrativo.

El siguiente cuadro detalla el comportamiento del costo de la unidad en los primeros 9 meses del año.

COSTO TOTAL 2014

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
COSTO TOTAL DE UNIDAD (US\$)	4,638,309	4,839,042	5,152,993	4,948,558	5,562,588	5,314,280	5,584,475	3,076,961	4,699,701
MINERAL TRATADO (Ton)	56,818	69,414	68,007	60,062	55,524	55,748	59,635	32,492	57,761
MINERAL EXTRAIDO (Ton)	57,939	67,694	68,037	60,042	57,132	55,833	58,074	32,862	65,577
FINOS PRODUCIDOS (Onz Ag Equiv.)	486,891	522,663	561,887	461,305	557,363	539,851	599,767	351,781	626,041
COSTO TOTAL (US\$/ Onz Ag Equiv.)	9.53	9.26	9.17	10.73	9.98	9.84	9.31	8.75	7.51
COSTO TOTAL DE UNIDAD (US\$ /Ton)	81.63	69.71	75.77	82.39	100.18	95.33	93.64	94.70	81.36

La ganancia o margen se determina restando el valor obtenido por la venta del mineral extraído con el costo final que es la suma de todos los costos incurridos para la obtención del beneficio final.

El costo final del mineral extraído es la suma del costo total de la unidad más los gastos por la comercialización de la misma.

Trabajando con el promedio de los costos en lo que va en el año, se tiene la siguiente información financiera, con el cual se determina que el margen final o ganancia neta del mineral es de U.S.\$ 32.77 por tonelada.

PROMEDIO	
COSTO TOTAL DE UNIDAD (US\$)	5,148,606
MINERAL TRATADO (Ton)	60,744
MINERAL EXTRAIDO (Ton)	60,679
FINOS PRODUCIDOS (Onz Ag Equiv.)	532,818
COSTO TOTAL (US\$ / Onz Ag Equiv.)	9.66
COSTO TOTAL DE UNIDAD (US\$ / Ton)	84.76
PRECIO DEL MINERAL (US\$/Onz)	17.00
VENTAS (US\$)	9,057,908.43
VENTAS (US\$ / Ton)	149.12
COSTO FIJO + COSTOS VARIABLES + CAPEX (US\$)	5,148,606
COSTO FIJO + COSTOS VARIABLES + CAPEX (US\$ / Ton)	84.76
DESCUENTO POR COMERCIALIZACION (US\$ / Onz)	3.08
DESCUENTO POR COMERCIALIZACION (US\$)	1,641,646.95
DESCUENTO POR COMERCIALIZACION (US\$ / Ton)	27.03
GASTOS POR COMERCIALIZACION (US\$)	276,834.96
GASTOS POR COMERCIALIZACION (US\$ / Ton)	4.56
COSTO FINAL (US\$)	7,067,088.34
COSTO FINAL (US\$ / Ton)	116.34
GANANCIA (US\$)	1,990,820.09
GANANCIA (US\$ / Ton)	32.77

CAPITULO VI

ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO DEL PROYECTO

El análisis económico tiene por finalidad demostrar la viabilidad y sostenibilidad de un proyecto a través del cual se da a conocer los beneficios que se obtendrán.

Es sabido que en una explotación realizada por el método de corte y relleno ascendente, el relave disponible para la operación generado en la Planta Concentradora no logra cubrir la totalidad de espacios vacíos dejados en la extracción del mineral.

Por estas razones es que muchas operaciones se utilizan el material estéril o desmonte como relleno. En el caso de la U.O. Arcata, la constitución de la infraestructura de sus labores que en su mayoría son convencionales no permite el uso del desmonte como relleno.

El tratamiento del mineral depositado en la antigua cancha de Macarena, permitió cubrir el déficit de relave que requería la mina.

En el 2014, se busca mantener los niveles de producción obtenidos en el 2013 por lo que encontrar la alternativa que permita cubrir el déficit de relleno se convierte en un

La hipótesis de este proyecto sustenta que el cumplimiento de la metas respecto a la producción está ligada a lograr cubrir la necesidad de relleno en su totalidad.

La metodología del análisis de este proyecto se basa en evaluar el beneficio logrado al lograr extraer el mineral que se dejaría por la falta de relleno.

6.1 CONSIDERACIONES TOMADAS

Para el presente análisis se han tomado en cuenta lo siguiente:

- El déficit de relleno traería como consecuencia retrasos en la producción diaria y con ello habría mineral que se deja de explotar. Por los 154.4 m³ que se deja de rellenar habrán 407.62 toneladas de mineral que no se extraerán.
- El valor por tonelada final del mineral de la U.O, Arcata, asciende a U.S.\$ 32.77.
- La inversión del proyecto de repulpeo de relaves antiguos asciende a U.S.\$ 85,605; con un costo de operación del sistema de U.S.\$ 209,339 por año.
- El horizonte del proyecto será de cinco años.
- Se asume una tasa de descuento del 12%.

6.2 RESULTADOS DEL ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

En la evaluación financiera de un proyecto, se estudia el comportamiento anual de los beneficios que se generan al ponerlo en marcha por lo que existen diversos factores financieros que nos permiten vislumbrar la viabilidad del proyecto.

Para el presente análisis se consideran los siguientes factores:

- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Relación Beneficio / Costo (B/C)

El siguiente cuadro visualiza el comportamiento anual de los beneficios obtenidos y los costos generados al poner en funcionamiento el Proyecto de repulpeo de relaves antiguos.

Tabla 29

ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO: REPULPEO DE RELAVES ANTIGUOS							
FLUJO DE CAJA	AÑO					TOTAL	
	0	1	2	3	4		5
Beneficio: Oportunidad de ganancia por venta de mineral		4,809,305	4,809,305	4,809,305	4,809,305	4,809,305	24,046,527
Inversión: Proyecto de repulpeo de relaves antiguos	-85,605						-85,605
Costo de Operación		-209,339	-209,339	-209,339	-209,339	-209,339	-1,046,693
Diferencial	-85,605	4,599,967	4,599,967	4,599,967	4,599,967	4,599,967	22,999,834
Tasa de descuento	12%	1.12	1.25	1.40	1.57	1.76	
Flujo Descontado		4,107,113	3,667,065	3,274,166	2,923,362	2,610,145	16,581,851
Flujo acumulado	-85,605	4,021,508	7,688,573	10,962,739	13,886,101	16,496,246	
Valor Actual Neto		\$16,496,246					
Tasa Interna de Retorno		5,373 %					
Relación Beneficio / Costo		20.63					

Luego de realizado la evaluación financiera del proyecto, se presenta los siguientes factores financieros.

Tabla 30

RESUMEN DE FACTORES FINANCIEROS DEL PROYECTO	
TIR	5,373 %
VAN	\$16,496,246
BENEFICIO ACTUALIZADO	\$17,336,469
COSTO ACTUALIZADO	\$840,224
RELACION: BENEFICIO / COSTO	20.63

De los valores obtenidos se realiza el siguiente análisis final.

- $TIR_{\text{PROYECTO}} : 5,373\% > \text{Tasa descuento} = 12\%$
- $VAN_{\text{PROYECTO}} : \text{U.S.}\$ 16\,496,246 > 0$
- $B/C_{\text{PROYECTO}} : 20.63 > 1$

El análisis final nos indica claramente que el Proyecto es VIABLE.

CONCLUSIONES

1. El Relleno Hidráulico es el método más eficiente, rápido y de menor costo para cubrir los espacios vacíos generados durante la explotación de las vetas mineralizadas, siendo la principal materia prima de este método el relave generado del tratamiento del mineral extraído de mina
2. Solo la fracción gruesa del relave es utilizada para el relleno hidráulico, la cual es obtenida luego de un proceso de clasificación hecha por medio de ciclones; siendo esta el 51.24% del total de relaves.
3. La calidad de la clasificación del relave es considerada buena dado que solo 21.74% es de granulometría menor a la malla -200.
4. La producción de relave en el 2014 no cubrirá la totalidad del requerimiento de relleno de la misma, dado que solo la fracción gruesa del relave es derivada al proceso de relleno hidráulico. La demanda anual de relleno es de 245,112 m³ mientras que la oferta es de 190,026 m³, teniendo un déficit de 55,086 m³.
5. El déficit de relleno por día es de 154.4 m³, la cual debe ser cubierta por el uso de relaves antiguos.
6. Se utiliza relave depositados en la antigua Cancha N°4 ubicado a 500 metros de las instalaciones de la Planta de Clasificación de relaves.

7. La calidad de la granulometría del relave de la Cancha N°4 es semejante al relave generado en la Planta Concentradora, teniendo el 32.17% del total de las partículas de tamaños menores a la malla -200.
8. Para mover el relave de la Cancha N°4 hacia la Planta de Clasificación se utiliza equipos pesado para su remoción, acopio y transporte y en una segunda etapa se usa un sistema de repulpeo para transportar el relave en forma de pulpa.
9. La cantidad de relave a mover hacia la zona de repulpeo es de 227.6 m³, esto porque el 32.17% del total de relave tienen partículas con tamaño menores a la malla -200 y estas son expulsados por el OVER durante la clasificación. En otras palabras, antes de la clasificación ingresan 227.6 m³ de relaves antiguos y luego de la clasificación por el UNDER salen 154.4 m³.
10. El d(50) de relave de la Cancha N°4 es igual a 148 micras.
Para el movimiento de relave se usaran 3.2 horas de excavadora y 5.4 horas de volquete de 12 m³.
11. El diseño del sistema de repulpeo contempla un caudal de bombeo de 51.82 m³/hr, con una densidad de trabajo de 1,500 gr/Lt (1.5 ton/m³) y una necesidad de agua de 36.76 m³/hr.
12. El porcentaje de sólido de la pulpa enviada es del 29.07% en volumen y del 52.71% en peso.
13. La densidad aparente del relleno es igual a 1.8 ton/m³, la cual fue medida experimentalmente con muestras sacadas de interior mina.
14. El flujo volumétrico de solido esponjado o solido in situ, entregado por el sistema de repulpeo es de 27.76 m³/hr.

15. Para el bombeo del relave repulpeado se usa una bomba de lodos sumergible de 20 HP marca TOYO modelo 20 DPF.
16. El Proyecto de repulpeo de relaves antiguos tendrá una inversión inicial de US\$ 85,605.17, que contempla la construcción de un reservorio de agua de 100 m³ para almacenar agua, la compra de una bomba de lodos sumergible y el acondicionamiento de la infraestructura de la zona de repulpeo.
17. El Proyecto de repulpeo de relaves antiguos tendrá un costo operativo de 1.427 U.S.\$/ton, el cual contempla la depreciación del proyecto, costo de energía, costo de mano de obra, costo de mantenimiento y el costo de movimiento de relave; siendo esta último el de mayor impacto (1.147 U.S.\$/ton).
18. El valor mineral con los precios actuales asciende a 149.12 U.S.\$/ton y el costo final por su extracción es 116.34 U.S.\$/ton; teniendo una ganancia neta de 32.77 U.S.\$/ton.
19. Se deduce que por los retrasos que se tendrán por el déficit de relleno en la mina se dejara de percibir una fuerte cantidad de ingresos económicos. Se ha calculado que el déficit diario de relleno asciende a 154.4 m³ y por lo cual se dejará de extraer 407.62 toneladas, lo que significa perder 400,727 U.S.\$/mes.
20. Los factores financieros resultantes del análisis financiero a un periodo de 5 años y con una tasa de descuento del 12%. Son:
 - VAN: U.S.\$ 16'496,246.
 - TIR: 5,373%.
 - B/C: 20.63.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el relave depositado en la Cancha N°4, debido a que las características granulométricas son similares al relave producido en la Planta Concentradora que tiene bajo contenido de finos (granulometría menor a la malla -200) .
2. Se recomienda implementar los medios de control para mitigar el riesgo de contaminación de suelo y de aguas por derrame de relave, en la actividad de movimiento de relaves.
3. Se recomienda tener a disposición los equipos que realizaran el movimiento de relave, para evitar retrasos y solo efectuar este movimiento durante la guardia de día.
4. Se recomienda la realización mensual del análisis granulométrico del relave extraído de la Cancha N°4 para determinar la cantidad de viajes a mover, dado que si esta presentase un porcentaje mayor al 35% por debajo de la malla -200 se requerirá mover mas relave para obtener los 154.4 m³ deseados por día.
5. Dado los resultados de los indicadores financieros obtenidos se recomienda la ejecución del Proyecto de Repulpeo de relaves antiguos.

BIBLIOGRAFIA

1. **Enrique Toledo G. (2,007)** – Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. – Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas; “Calculo y diseño de instalaciones para Relleno Hidráulico de Mina.”
2. **Guillermo Huancaya D. (1,998)** – Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica – Escuela Profesional de Ingeniería de Minas; “Informe de Ingeniería: Análisis de los sistemas de Relleno Hidráulico en la Mina Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A.”
3. **Lazaro W. Huaman M. (2,007)** - Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. – Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas; “Aplicación de Relleno Hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A.”
4. **Y.Potvin, E.G. Thomas and A.B. Fourie** – Australian Centre for Geomechanics (ACG); “Handbook Mine Fill”.
5. **Victor L. Streeter / E. Benjamin Wylie (1,987)** – “Mecánica de los fluidos (8^{va} edición)”.
6. **Wendor Chereque Moran (1,987)** – “Mecánica de los fluidos 1”.
7. **WARMAN Centrifugal Slurry Pump (2,009)** – “Slurry Pump Handbook”.

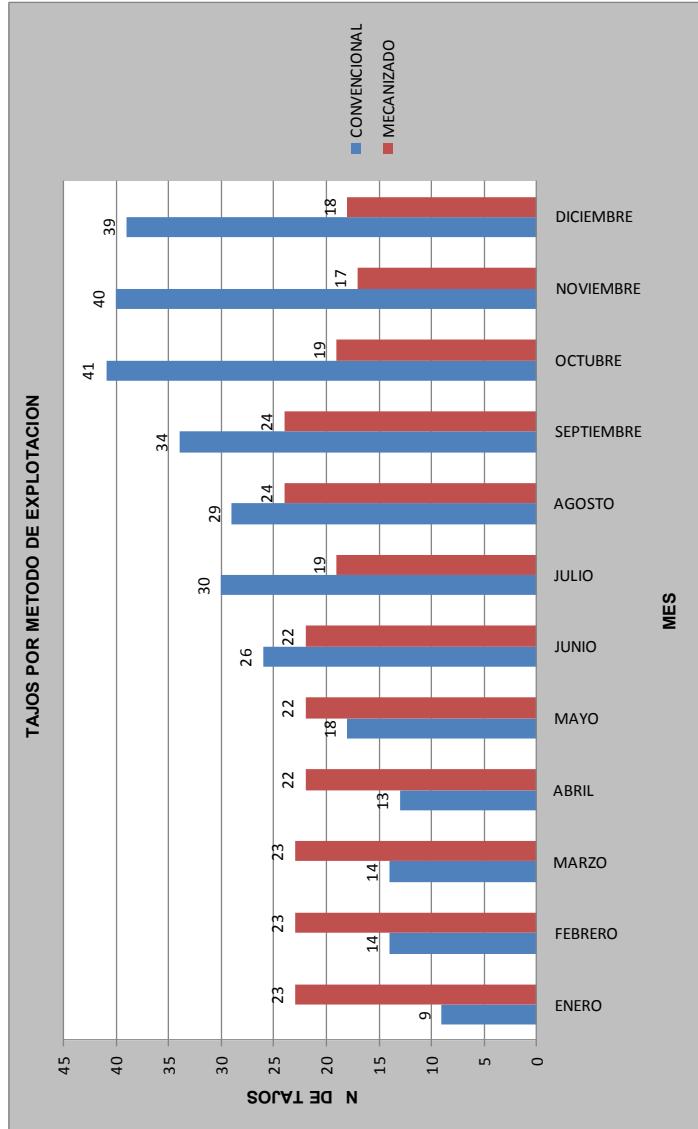
ANEXOS

HISTORICO DE EXTRACCION DE LA UNIDAD MINERA ARCATÁ

	2011	2012	2013	2014	2015 (Ppto)
Mineral Tajos	564,720	557,376	541,686	590,952	589,058
TPD	1,600	1,579	1,535	1,674	1,609
Mineral Avances	60,033	56,725	65,637	70,966	11,043
TPD	170	161	186	201	31
Mineral Cancha Macarena	86,859	133,825	290,226	38,366	0
TPD	246	379	822	109	0
Mineral Total	711,612	747,926	897,549	700,284	600,101
TPD	2,016	2,119	2,543	1,984	1,700

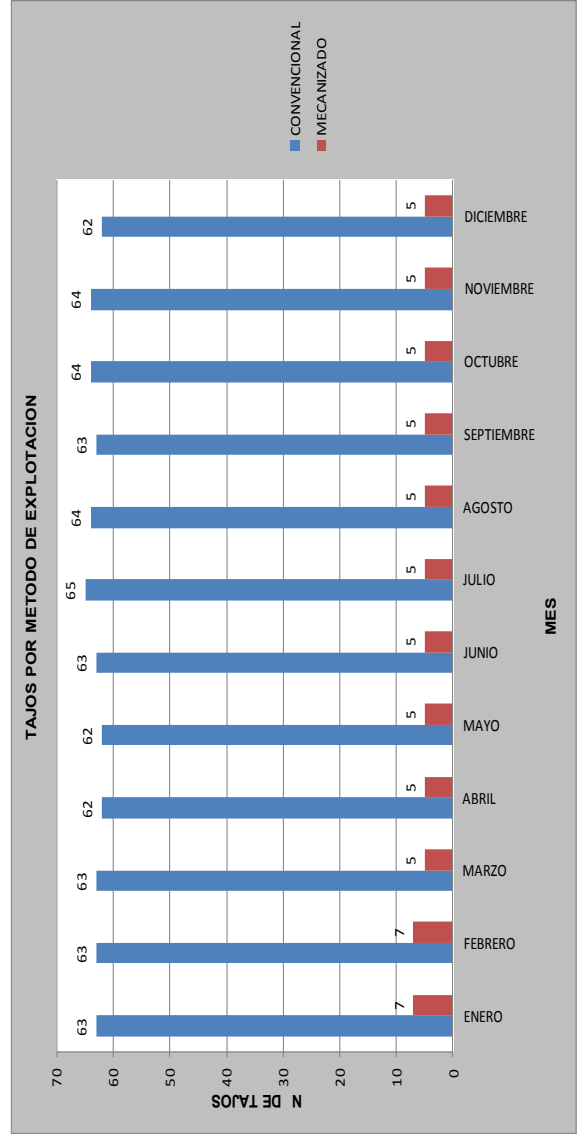
METODO DE EXPLOTACION 2013

METODO DE LIMPIEZA	N° DE TAJOS											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
PRODUCCION MINA (TON)	39,142	42,312	53,212	48,681	52,481	45,880	52,794	56,014	52,161	52,824	47,630	62,714
CONVENCIONAL (RASTRILLO)	9	14	14	13	18	26	30	29	34	41	40	39
MECANIZADO (SCOOPTRAM 1.5 YD3)	23	23	23	22	22	22	19	24	24	19	17	18
TOTAL TAJOS	32	37	37	35	40	48	49	53	58	60	57	57

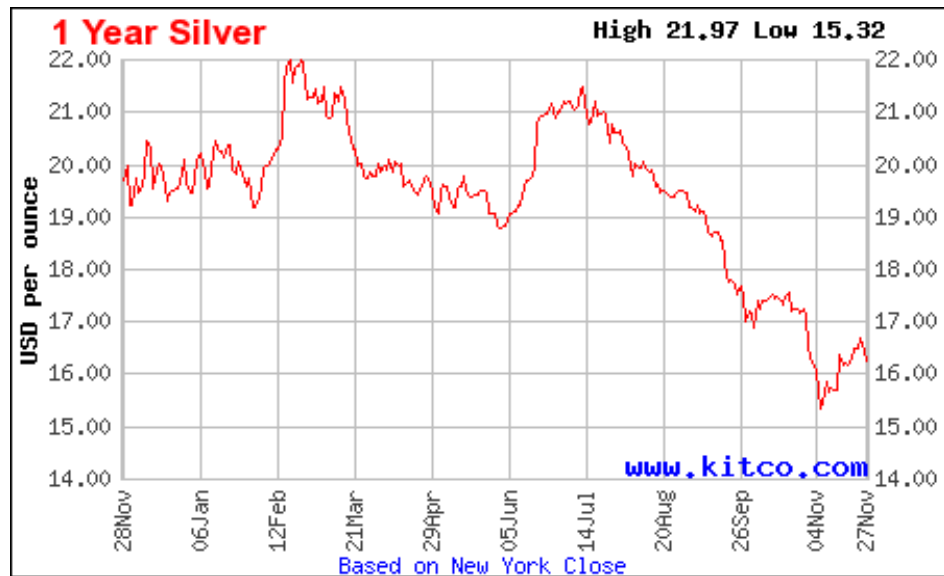


METODO DE EXPLOTACION 2014

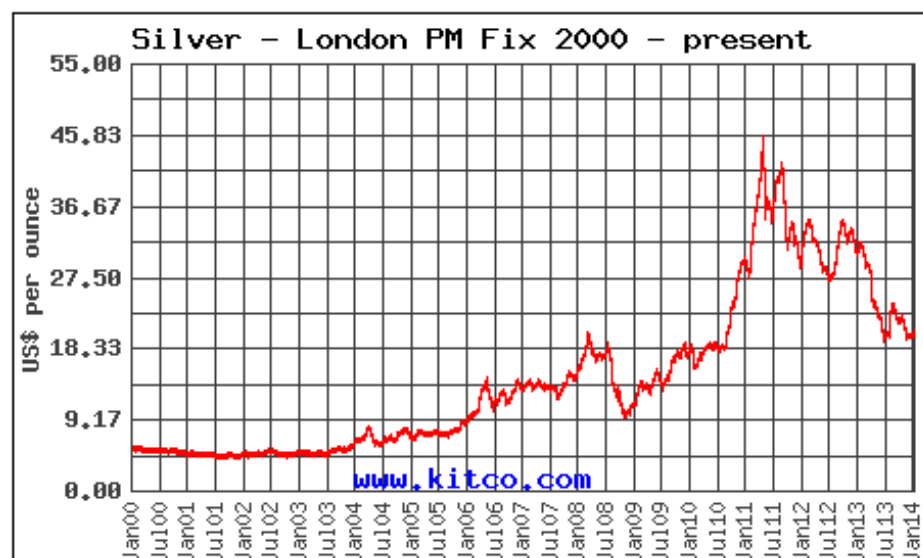
METODO DE LIMPIEZA	N° DE TAJOS											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
PRODUCCION MINA (TON)	46,700	51,871	57,059	54,624	56,445	54,319	60,118	59,147	57,702	60,262	58,314	71,838
CONVENCIONAL (RASTRILLO)	63	63	63	62	62	63	65	64	63	64	64	62
MECANIZADO (SCOOP TRAM 1.5 YD3)	7	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
TOTAL TAJOS	70	70	68	67	67	68	70	69	68	69	69	67



VARIACION DEL PRECIO DE LA PLATA

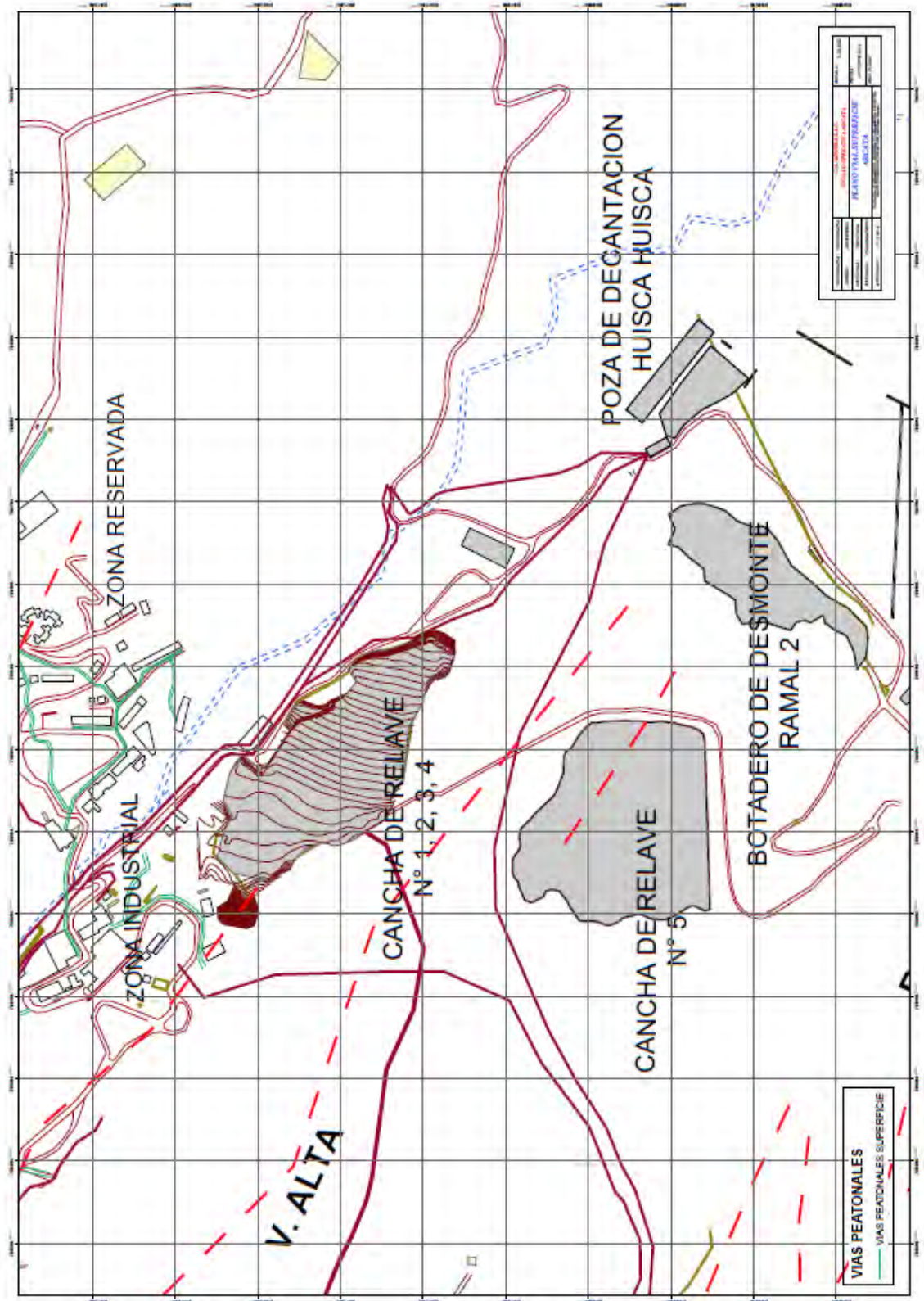


HISTORICO DEL PRECIO DE LA PLATA 2014 (Fuente: www.kitco.com)



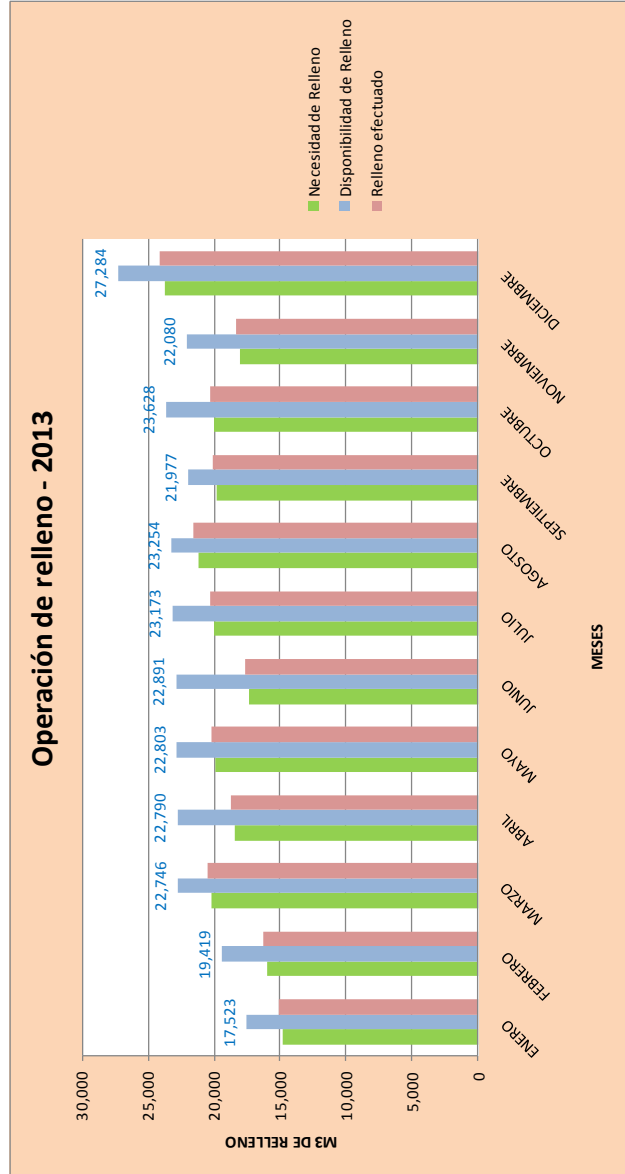
HISTORICO DEL PRECIO DE LA PLATA 2010 - 2014 (Fuente: www.kitco.com)

UBICACIÓN DE LA CANCHA DE RELAVES N°4 Y POZA DE REPULPEO



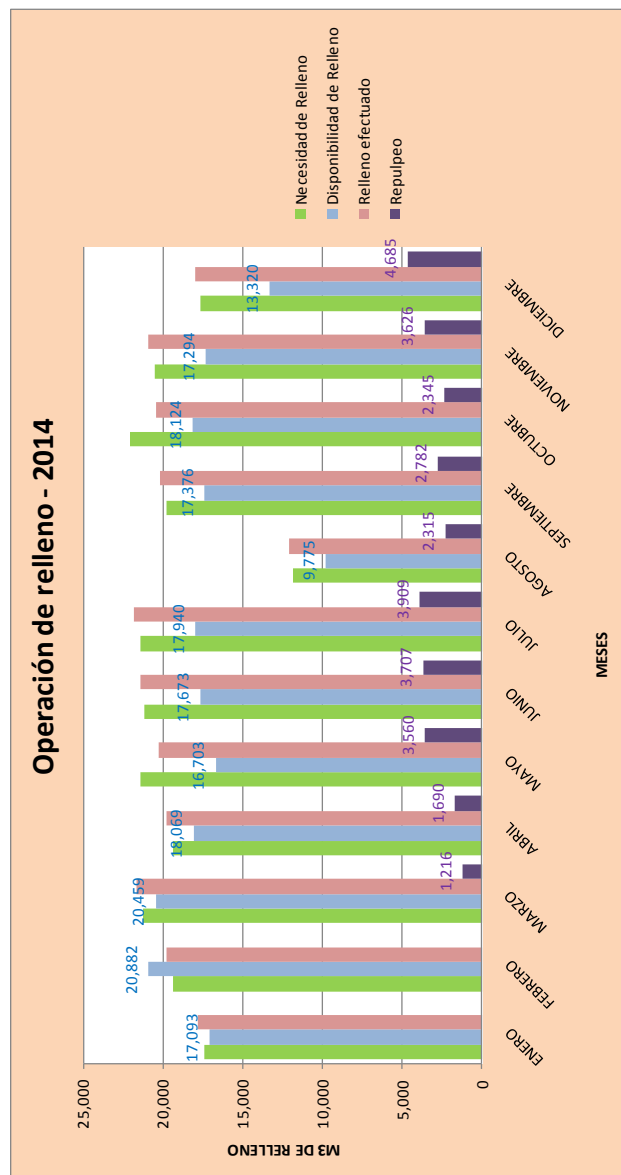
OPERACIÓN DE RELLENO HIDRAULICO 2013

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
EXTRACCION MINA (Ton)	39,142	42,312	53,212	48,681	52,481	45,880	52,794	56,014	52,161	52,824	47,630	62,714
NECESIDAD DE RELLENO (m3)	14,826	16,027	20,156	18,440	19,879	17,379	19,998	21,217	19,758	20,009	18,042	23,755
RELLENO EFECTUADO (m3)	15,049	16,268	20,458	18,716	20,177	17,640	20,298	21,536	20,054	20,309	18,312	24,111
DISPONIBLE POR MINERAL MINA (m3)	11,775	12,729	16,008	14,645	15,788	13,802	15,882	16,851	15,692	15,891	14,329	18,866
TRATAMIENTO TOTAL (Ton)	58,248	64,550	75,610	75,758	75,799	76,092	77,031	77,298	73,054	78,540	73,395	90,694
DISPONIBLE POR TRATAMIENTO TOTAL (m3)	17,523	19,419	22,746	22,790	22,803	22,891	23,173	23,254	21,977	23,628	22,080	27,284



OPERACIÓN DE RELLENO HIDRAULICO 2014

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
EXTRACCION MINA (Ton)	46,013	51,118	56,100	51,140	56,620	55,883	56,552	31,291	52,174	58,155	54,144	46,602
NECESIDAD DE RELLENO (m3)	17,429	19,363	21,250	19,371	21,447	21,168	21,421	11,853	19,763	22,028	20,509	17,652
RELLENO EFECTUADO (m3)	17,778	19,750	21,675	19,759	20,263	21,380	21,850	12,090	20,158	20,469	20,919	18,005
DISPONIBLE POR MINERAL MINA (m3)	13,842	15,378	16,877	15,385	17,033	16,811	17,013	9,413	15,696	17,495	16,288	14,019
TRATAMIENTO TOTAL (Ton)	56,818	69,414	68,007	60,062	55,524	58,748	59,635	32,492	57,761	60,246	57,486	44,278
DISPONIBLE POR TRATAMIENTO TOTAL (m3)	17,093	20,882	20,459	18,069	16,703	17,673	17,940	9,775	17,376	18,124	17,294	13,320
REPULPEO (m3)			1,216	1,690	3,560	3,707	3,909	2,315	2,782	2,345	3,626	4,685

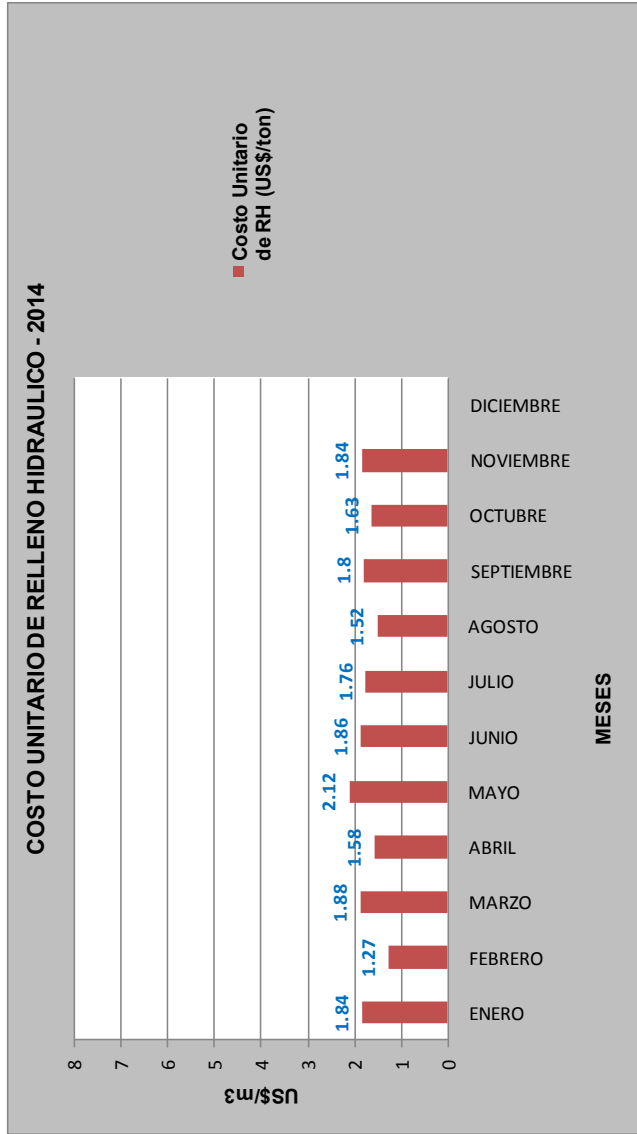


HORAS DE OPERACIÓN DE BOMBAS - SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO 2014

SISTEMA	MARCAS	N°	UBICACIÓN	POTENCIA (HP)	POTENCIA (KW)	HORAS DE OPERACIÓN (H)												TOTAL ENERGIA (Kw-H)	COSTO DE ENERGIA (US\$)					
						ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE							
PLANTA DE RH MARION	Warman	1	Veta Baja	50	37	0	17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Warman	11	Superficie	50	37	0	17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Warman	12	Superficie	50	37	0	17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Warman	9	4800 V-7	50	37	285	238	398	281	285	237	207	111	0	229	160	184	164	206	164	164	194	206	
	Warman	6	4800 V-14	50	37	239	168	421	234	237	221	161	110	0	208	155	168	155	168	194	164	164	194	
	Warman	6	4830 V-16	50	37	90	64	135	85	40	106	20	23	0	36	22	50	20	36	50	20	36	50	
	Warman	7	4830 V-27	50	37	52	28	153	28	128	278	190	125	0	199	167	135	167	135	289	167	135	289	
	Warman	13	4830 E V-30	50	37	21	28	142	142	72	159	53	57	0	61	61	48	61	48	62	48	62	48	
	Warman	15	Planta Marion	50	37	199	194	174	193	257	384	288	172	0	289	277	287	287	277	287	277	287	277	
	Warman	16	Planta Marion	50	37	221	259	407	344	196	271	195	111	0	226	175	241	111	226	175	241	111	226	
	Warman	17	Planta Marion	50	37	151	119	168	163	119	164	160	111	0	140	134	134	140	134	162	134	162	134	
	Warman	10	BYPS-4835 Marion	50	37	0	0	0	0	0	116	178	115	0	186	168	214	115	186	168	214	115	186	
	Warman	4	NV 4465 Nicol 11/1405	50	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Warman	14	Rampa Mariana	50	37	204	185	283	179	157	231	119	89	0	144	108	101	89	144	108	101	89	144	
	Warman	18	Planta Marion	50	37	82	63	79	109	109	126	140	87	0	108	205	172	87	108	205	172	87	108	
	Agitador	1	Planta Marion T1 Y T2	9	7	452	355	482	348	443	596	465	301	0	429	470	429	470	429	470	429	470	429	470
	Agitador	2	Planta Marion T3	10	7	251	282	238	248	347	362	405	250	0	365	423	387	423	365	423	387	423	387	423
	Hidroscist	1	Planta Marion	10	7	467	366	520	366	514	680	522	307	0	597	504	540	597	504	540	597	504	540	597
	Hidroscist	2	Planta Marion	10	7	0	0	80	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
	PLANTA RH VETA BAJA	Geko 800	1	Planta RH	400	298	521	414	602	554	539	707	413	0	590	471	516	287	590	471	516	287	590	471
		Denver 5x4	2	Planta RH	60	45	3	128	186	199	0	284	289	0	215	215	28	252	215	215	28	252	215	215
		Denver 5x4	2	Planta RH	60	45	510	275	374	350	531	410	111	0	358	358	453	10	358	358	453	10	358	358
Denver 8x6		1	Planta (sumidero)	75	56	411	487	622	630	647	658	496	0	0	0	0	332	0	0	0	0	332	0	
Denver 8x6		2	Planta (sumidero)	75	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gallingher 2.5		1	Cochas de relave 1	20	15	58	14	26	25	15	15	23	0	0	16	15	21	4	16	15	21	4	16	15
Gallingher 2.5		2	Cochas de relave 2	20	15	34	4	2	2	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hazleton		1	Cochas de relave 3	20	15	340	240	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toyo		1	Cochas de relave 3	20	15	285	285	385	385	282	344	215	194	0	374	276	400	194	374	276	400	194	374	276
Toyo		2	Cochas de relave 2	20	15	49	487	20	49	22	35	29	20	0	37	47	37	20	37	47	37	20	37	47
Sterling		1	Planta RH	30	22	421	636	633	633	633	497	497	276	0	609	30	57	276	609	30	57	276	609	30
Sterling		2	Planta RH	25	19	25	20	43	97	22	39	50	47	0	55	0	0	55	0	0	0	55	0	0
Sterling		3	Planta RH	25	19	232	6	8	30	0	10	220	7	0	356	653	589	100	356	653	589	100	356	653
Sterling		4	Planta RH	30	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Denver 4X3		1	Planta RH	30	22	8	12	0	5	9	9	17	8	0	16	25	34	8	16	25	34	8	16	25
Denver 4X3		2	Planta RH	30	22	8	12	0	5	9	9	17	8	0	16	25	34	8	16	25	34	8	16	25
Reductor de Agitador		1	Planta RH	10	7	507	444	674	544	528	444	408	394	0	591	513	502	526	591	513	502	526	591	513
Reductor de Agitador		2	Planta RH	10	7	12	12	12	5	9	9	16	17	0	18	25	38	8	18	25	38	8	18	25
Compresora Alias		2	Planta RH	10	7	72	42	79	57	52	52	70	63	0	93	86	41	111	93	86	41	111	93	86
TOTAL ENERGIA (Kw-H)							308,281	251,496	362,638	326,485	516,789	406,490	265,032	162,661	347,129	308,975	511,557	162,661	347,129	308,975	511,557	162,661	347,129	308,975
COSTO DE ENERGIA (US\$)							27,745	22,635	32,037	29,384	28,511	36,384	23,853	16,439	31,442	27,808	28,043	16,439	31,442	27,808	28,043	16,439	31,442	27,808

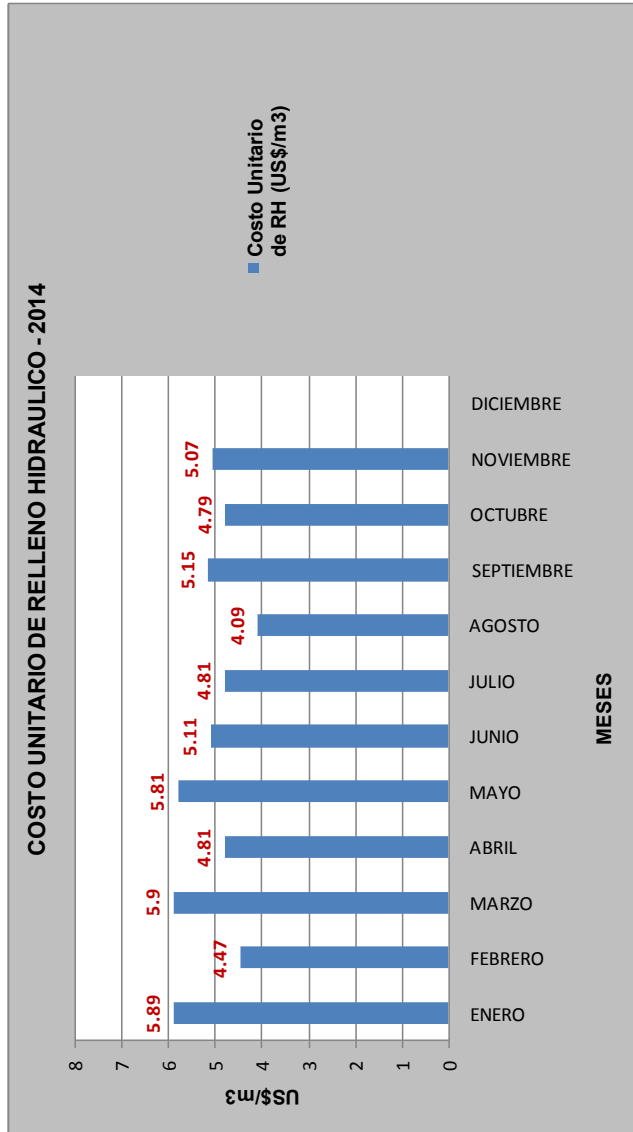
COSTO UNITARIO DEL RELLENO HIDRAULICO 2014

RUBRO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Mano de Obra (US\$)	45,776	35,051	39,278	38,800	49,523	38,033	41,825	19,368	32,538	39,686	40,291	
Materiales (US\$)	31,243	30,677	56,404	27,211	40,014	35,018	39,615	13,798	40,495	30,846	38,048	
Energía (US\$)	27,745	22,635	32,300	28,948	28,291	36,301	23,753	16,291	30,874	27,550	27,681	
COSTO TOTAL (US\$)	104,764	88,363	127,982	94,959	117,828	109,352	105,193	49,456	103,906	98,083	106,019	
Tonelaje tratado (Ton)	56,818	69,414	68,007	60,062	55,524	58,748	59,635	32,492	57,761	60,246	57,486	
COSTO UNITARIO DE RELLENO (US\$/Ton)	1.84	1.27	1.88	1.58	2.12	1.86	1.76	1.52	1.8	1.63	1.84	



COSTO UNITARIO DEL RELLENO HIDRAULICO 2014

RUBRO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Mano de Obra (US\$)	45,776	35,051	39,278	38,800	49,523	38,033	41,825	19,368	32,538	39,686	40,291	
Materiales (US\$)	31,243	30,677	56,404	27,211	40,014	35,018	39,615	13,798	40,495	30,846	38,048	
Energía (US\$)	27,745	22,635	32,300	28,948	28,291	36,301	23,753	16,291	30,874	27,550	27,681	
COSTO TOTAL (US\$)	104,764	88,363	127,982	94,959	117,828	109,352	105,193	49,456	103,906	98,083	106,019	
Volumen relleno (m ³)	17,778	19,750	21,675	19,759	20,263	21,380	21,850	12,090	20,158	20,469	20,919	
COSTO UNITARIO DE RELLENO (US\$/m³)	5.89	4.47	5.9	4.81	5.81	5.11	4.81	4.09	5.15	4.79	5.07	



RELACION DE COSTOS: REPULPEO - TOTAL

RUBRO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Mano de Obra (US\$)	45,776	35,051	39,278	38,800	49,523	38,033	41,825	19,388	32,538	39,686	40,291	
Materiales (US\$)	31,243	30,677	56,404	27,211	40,014	35,018	39,615	13,798	40,495	30,846	38,048	
Energía (US\$)	27,745	22,635	32,300	28,948	28,291	36,301	23,763	16,291	30,874	27,550	27,681	
COSTO TOTAL DE RELLENO (US\$)	104,764	88,363	127,982	94,959	117,828	109,352	105,193	49,456	103,906	98,083	106,019	
Volumen rellenado Repulpeo (m3)			1,216	1,690	3,560	3,707	3,909	2,315	2,782	2,345	3,626	
Costo unitario de Repulpeo (US\$/m3)	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	
COSTO TOTAL DE REPULPEO (US\$)	0	0	3,685	5,121	10,787	11,231	11,846	7,014	8,429	7,105	10,985	
RELACION DE COSTOS	0.00%	0.00%	2.88%	5.39%	9.15%	10.27%	11.26%	14.18%	8.11%	7.24%	10.36%	

