



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**REPLANTEO DE POLÍGONOS DE ALTA LEY DE COBRE Y
MOLIBDENO PARA MINIMIZAR LA DILUCIÓN EN EL
PROCESO DE MINADO EN MINA TOQUEPALA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. NELSON CHOQUEHUANCA CHAMBI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo incondicional hacia mi persona para concluir mis estudios universitarios y lograr mi profesión como Ingeniero de Minas.

A mis hermanos y hermanas quienes me alentaron en los momentos más difíciles de mi vida estudiantil y por el apoyo moral para culminar mis estudios superiores.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a Dios, creador del universo, por su amor infinito y por conceder vida y salud para realizar mis estudios superiores.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater y a la Facultad de Ingeniería de Minas, al personal docente y administrativo por sus enseñanzas y experiencias impartidas para mi formación profesional.

Agradecer a mi familia por el apoyo incondicional y por el esfuerzo realizado para culminar mis estudios universitarios y lograr mi profesión como Ingeniero de Minas.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1 Pregunta general	14
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	15
1.3.1 Hipótesis general.....	15
1.3.2 Hipótesis específicas.....	15
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.2 MARCO TEÓRICO	20
2.2.1 Ley de cobre.....	20
2.2.2 Ley de corte	20
2.2.3 Selectividad minera.....	21



2.2.4 Horizontes de planificación	28
2.2.5 Plan de minado a corto plazo	28
2.2.6 Control de leyes	30
2.2.7 Equipo GPS Trimble R8	32
2.2.8 Operaciones mina	33
2.2.9. Reseña histórica	38
2.2.10 Propiedad minera	39
2.2.11 Clima.....	39
2.2.12 Recursos.....	39
2.2.13 Topografía y fisiografía	40
2.2.14 Vegetación	40
2.2.15 Fauna.....	40
2.2.16 Geología general	41
2.2.17 Geología regional.....	42
2.2.18 Geología local	43
2.2.19 Geología estructural	44
2.2.20 Geología económica	47
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.2 DISEÑO METODOLÓGICO.....	52
3.3 POBLACIÓN.....	53
3.4 MUESTRA	53
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	53
3.5.1 Variable independiente	53
3.5.2 Variable dependiente	53
3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	53
3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	55
3.8 PERSONAL, EQUIPOS Y MATERIALES.....	55



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS	59
4.1.1 Creación de polígonos	59
4.1.2 Planificación y replanteo de los polígonos evaluados en campo.....	60
4.2 Resultados obtenidos en la dilución del mineral	64
4.3 DISCUSION DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES.....	67
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. RECOMENDACIONES	71
VII. REFERENCIAS.....	72
ANEXOS.....	74

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Replanteo de polígonos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de marzo 2021



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Equipos de perforación.....	34
Tabla 2: Equipos de carguío	36
Tabla 3: Equipos de acarreo	37
Tabla 4: Plan de minado, periodo 2014-2018.....	38
Tabla 5: Rutas de acceso a la Mina Toquepala.....	51
Tabla 6: Técnicas de recolección de datos.	54
Tabla 7: Técnicas de procesamiento de datos.....	55
Tabla 8: Equipos de protección personal.....	58
Tabla 9: Ley de cobre y molibdeno – anterior.....	65
Tabla 10: Ley de cobre y molibdeno - actual	65
Tabla 11: Resumen comparativo de leyes de cobre y molibdeno.	65
Tabla 12: Tonelaje - ley – anterior.	66
Tabla 13: Tonelaje-ley - actual	66
Tabla 14: Resumen comparativo de tonelaje – ley.....	67



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de bloques	22
Figura 2. Tipos de contacto mineral de alta y baja ley	26
Figura 3. Contacto mineral y desmonte	27
Figura 4. Errores de clasificación de material	32
Figura 5. Creación de polígonos.....	60
Figura 6. Topógrafo colocando estacas	61
Figura 7. Ayudantes de topografía colocando la cinta métrica	62
Figura 8. Delimitación de polígonos de mineral con alta ley de cobre y molibdeno	63
Figura 9. Corte de la pala.....	64



ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Plano de ubicación de la Mina Toquepala
- Anexo 2.** Plano geológico de la Mina Toquepala
- Anexo 3.** Tope de yeso de la Mina Toquepala
- Anexo 4.** Geometría del cuerpo mineralizado de la Mina Toquepala
- Anexo 5.** Equipo GPS Trimble R8
- Anexo 6.** Proceso productivo de operaciones – Mina Toquepala
- Anexo 7.** Representación gráfica de las fases de minado
- Anexo 8.** Equipos GPS Diferencial Trimble R8
- Anexo 9.** GPS Trimble R8 en RTK – Fijo
- Anexo 10.** Diagrama de procedimientos en el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno
- Anexo 11.** Modelo de recursos geológicos base para planes, producción y reservas
- Anexo 12.** Creación de polígonos con el software minesight
- Anexo 13.** Coordinación con geólogo de campo y el equipo completo de trabajo
- Anexo 14.** Material replanteado con polígonos de alta ley de cobre y molibdeno
- Anexo 15.** Stock acumulado con baja, media y alta ley de cobre y molibdeno
- Anexo 16.** Plano topográfico identificado con leyes de Cobre
- Anexo 17.** Plano topográfico identificado con leyes molibdeno



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Tm	:	Tonelada métrica
GNSS	:	Sistema Global de Navegación por Satélite
m	:	metro
km	:	kilómetro
mm	:	milímetro
m.s.n.m.	:	metros sobre el nivel del mar
NW	:	Nor Oeste
SE	:	Sur Este
N	:	Norte
S	:	Sur



RESUMEN

La Unidad Minera Toquepala, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes, en la jurisdicción del distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre y departamento de Tacna, actualmente viene explotando el yacimiento cuprífero de Toquepala y mediante la evaluación realizada en la Fase 4 del Nivel 2 800 m.s.n.m., tiene problemas en la delimitación de las zonas de mineral de alta ley de cobre y molibdeno y el mineral lixiviable como resultado de los disparos realizados, el objetivo del presente estudio de investigación es minimizar la dilución en polígonos de alta ley cobre y molibdeno mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno en la Mina Toquepala. La metodología para desarrollar el trabajo de investigación ha consistido en evaluar el replanteo de polígonos de mineral por proyectos de perforación y luego replantear polígonos que son: mineral de alta ley de cobre y molibdeno y el mineral lixiviable, el trabajo se realizó en coordinación con el área de geología, quienes son los encargados de diseñar los polígonos con las leyes obtenidas del muestreo diario realizado en la Fase 4, posteriormente con el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se informa por radio al operador de pala los límites de los polígonos que presentan alta ley de cobre y molibdeno y el mineral lixiviable, luego al área de operaciones sobre el resultado del disparo especificando el tipo de material y la ubicación exacta de los polígonos para cumplir con el plan de minado programado. Finalmente se ha llegado a los siguientes resultados y conclusiones, se ha minimizado la dilución del mineral de 0,825 % a 0,624 % de cobre y de 0,101 a 0,031 % de molibdeno y se cumplió con el tonelaje-ley programado de 120 654 Tm/día en la Mina Toquepala.

Palabras Clave: Replanteo, polígonos, cobre, molibdeno, dilución.



ABSTRACT

The Toquepala Mining Unit, is located in the Western Cordillera of the Andes, in the jurisdiction of the Ilabaya district, Jorge Basadre province and Tacna department, is currently exploiting the Toquepala copper deposit and through the evaluation carried out in Phase 4 from Level 2 800 masl, has problems in the delimitation of the zones of high-grade copper and molybdenum mineral and the leachable mineral as a result of the perforations made, the objective of this research study is to minimize dilution in high-grade polygons copper and molybdenum through the stakeout of high-grade copper and molybdenum polygons at the Toquepala Mine; The methodology to develop the research work has consisted of evaluating the staking of mineral polygons by drilling projects and then staking polygons that are: high-grade copper and molybdenum mineral and leachable mineral, the work was carried out in coordination with the geology area, who are in charge of designing the polygons with the laws obtained from the daily sampling carried out in Phase 4, later with the stakeout of high-grade copper and molybdenum polygons, the shovel operator is informed by radio of the limits of the polygons that present high grade of copper and molybdenum and leachable mineral, then to the operations area on the result of the shot specifying the type of material and the exact location of the polygons to comply with the planned mining plan; Finally, the following results and conclusions have been reached, the dilution of the mineral has been minimized from 0.825% to 0.624% of copper and from 0.101 to 0.031% of molybdenum and the programmed tonnage-grade of 120 654 Tm / day was met in the Toquepala Mine.

Key words: Stakeout, polygons, copper, molybdenum, dilution.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de realizar este trabajo de investigación es identificar los principales factores que se involucran en la aplicación del replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, que son de suma importancia cuando se enfrenta al proceso de materializar el cumplimiento de metas (toneladas, ley) considerando el proceso operacional. Mediante la evaluación realizada en la Fase 4 del Nivel 2 800 m.s.n.m., se tiene problemas en la delimitación de las zonas de mineral de alta ley de cobre y molibdeno (0,825 % de Cu y 0,101 % de Mo) y el mineral lixiviable en el material resultado de los disparos en las diferentes fases de producción. La dilución de la ley del mineral afecta al programa mensual, ya que el material minado no puede estar siendo enviado al lugar correcto del destino. Así mismo el operador de la pala debe contar con las referencias en campo con las que se pueda guiar para realizar el minado y respetar los límites de cada polígono.

La realización del replanteo de polígonos con leyes distintas en cada polígono, da la certeza a la Minera Toquepala, de que se minimice la dilución en el proceso de minado estando ésta dentro de los límites establecidos.

El replanteo de polígonos consiste en delimitar las zonas de mineral de alta ley, baja ley y lixiviable en el material resultado de los disparos en las diferentes fases de producción, este trabajo se ha realizado después de los disparos programados por parte del área de voladura; una vez terminado se ha procedido a ingresar a cada uno de estos proyectos y delimitar el material disparado con cinta



roja (mineral), cinta amarilla (alta ley de cobre y molibdeno) o cinta verde (lixiviable). Se especifica el material que dio por resultado cada proyecto disparado para posteriormente ser minado.

La dilución de mineral se presenta en el proceso de minado, es por este motivo que se implementó el replanteo de polígonos para que el operador de la pala pueda tener referencias en campo de los límites del tipo de material que está minando y así respetar el destino que tiene el material ya sea a la chancadora (concentradora), chancadora lixiviable (depósitos lixiviables) con esto se estima minimizar la dilución de la ley de cobre-molibdeno y optimizar el proceso de minado.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta general

¿Cómo el replanteo de polígonos minimiza la dilución del mineral y mejora el cumplimiento de tonelaje-ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala?

1.2.2 Preguntas específicas

¿Cómo se minimiza la dilución del mineral en los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala?

¿Cómo se mejora el cumplimiento de tonelaje-ley en la producción diaria y mensual programado en los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala?



1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

Mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se minimiza la dilución del mineral y se mejora el cumplimiento de tonelaje – ley en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

1.3.2 Hipótesis específicas

Al replantear los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se minimiza la dilución de la ley del mineral en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

Replantando los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se mejora el cumplimiento de tonelaje – ley en la producción diaria y mensual programado en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Minimizar la dilución del mineral y mejorar el cumplimiento de tonelaje – ley, en los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

1.4.2 Objetivos específicos

Minimizar la dilución del mineral mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala



Mejorar el cumplimiento de tonelaje-ley en la producción diaria y mensual programado, mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Según el estudio de reservas de mineral, la Mina Toquepala, posee un alto potencial de minerales de cobre y molibdeno y actualmente está en el año 90 de minado, como tal el presente estudio de investigación contribuirá al conocimiento sobre la aplicación del replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, optimizando el proceso de minado y minimizando la dilución de la ley de cobre y molibdeno de esta forma esto no afecte al programa mensual de operaciones de minado.

El replanteo de polígonos consiste en delimitar las zonas de mineral (alto y baja ley), lixiviable en el material resultado de los disparos en las diferentes fases de producción, esta operación se realiza después de los disparos programados por el área de voladura; una vez terminado se procede a ingresar a cada uno de estos proyectos y delimitar el material disparado con cinta roja (mineral), cinta amarilla (alta ley de cobre y molibdeno) y cinta verde (lixiviable). Se especifica el material que dio por resultado cada proyecto disparado para posteriormente ser minado.

La presente investigación es una propuesta para implementar nuevas técnicas metodológicas del replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, así el operador de la pala tiene las referencias en campo y pueda tener como guía para realizar el minado y respetar los límites de cada polígono. La realización del replanteo de polígonos con leyes distintas de cada polígono, reporta la certeza a la



Minera Toquepala por tal razón se minimizará la dilución del mineral en el proceso de minado y estar dentro de los límites establecidos (Cut off).

Metodológicamente, la presente investigación se justifica en el sentido que se emplea el instrumento de análisis estadístico en Excel y de software minero que permitieron comprender cuál es la técnica metodológica del replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno para asegurar al operador de la pala el destino del mineral y pueda tener referencias en el campo de los límites del tipo de material que está minando y así enviar el material, ya sea hacia la chancadora (concentradora), chancadora lixiviable (depósitos lixiviables).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Nicola (2015), en su trabajo, establece que uno de los principales problemas de la minería corresponde a la determinación de la dilución operativa, la cual genera un impacto en el beneficio económico, haciendo que muchas veces se incurra en menores retornos de los esperados. Existe un sinnúmero de causas de dilución, partiendo por las características inherentes de la roca mineral a explotar (como la geología y geomecánica del sector). Los focos de dilución a estudiar son: modelo geológico, definición de polígonos de extracción operativos, tronadura, forma de carguío, selectividad de equipos de carguío, caserones rellenos, error de muestreo geológico, caminos y rampas y prácticas operacionales.

Benjamín (2007), en su conferencia en XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales 2007, especifica que la dilución en la minería metálica se define como dilución a la mezcla de mineral con estéril, mediante la cual se lleva bien a procesar un material que no tiene el valor económico previsto, o bien se arroja a la escombrera mineral, con la consiguiente pérdida de aprovechamiento de las reservas. La escasez de las reservas, los grandes volúmenes arrancados en cada voladura y el actual valor histórico de los metales hacen del control de la dilución un apartado de significado económico de primer orden.

Rivas (2018), en su tesis, concluye que el control geológico generó de manera concreta, reducir la dilución mineral en rangos aceptables dentro del rango + 10%, permitiendo con ello a Geología, participar en forma directa en todo el proceso de



control e influir en la reducción de las pérdidas económicas por este concepto en varios millones de US\$ cada año.

Mendoza (2018), en su proyecto, especifica que en minería, el planeamiento de minado a corto plazo tiene importancia preponderante en la concretización de los planes de minado de mediano y largo plazo los cuales cuantifican las metas esperadas de las compañías mineras. Su finalidad de buscar el mejor *blending* (Optimización de la mezcla de minerales en mineral y desmonte) por lo que es necesario implementar controles en los polígonos de mineral implicando la determinación de las dimensiones mínimas óptimas para mejorar control de dilución que sucede en las minas. La investigación describe la aplicación del procedimiento propuesto para la determinación de las dimensiones mínimas de los polígonos de mineral a extraer que tiene como finalidad optimizar el control de dilución operacional durante el proceso de carguío de mineral en Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha, Cerro de Pasco 2018.

Contreras (2013), en su artículo de investigación, concluye que la planificación a corto plazo radica en que esta debe materializar la secuencia de extracción considerando factores operacionales y de diseño de fases para lograr las metas de producción integradas en la planificación de mediano y largo plazo, que a través de procesos de prueba y error se construyen planes que sean capaces de cumplir con las metas impuestas sin interferir de sobremanera el secuenciamiento previamente establecido.

De esta conclusión se deduce que para el cumplimiento del plan de minado de corto plazo, se debe tener en consideración los temas operacionales para lograr las metas de producción en base al plan de minado de corto y mediano plazo, es así



que en presente investigación también se llega a la misma conclusión, resaltando la importancia del replanteo de polígonos de cobre y molibdeno.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Ley de cobre

Es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley del 1% significa que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro. (Christian, 2017).

2.2.2 Ley de corte

La ley de corte corresponde a la ley de un elemento que hace nulo el beneficio económico de extraer y procesar un bloque del modelo.

Cualquier bloque que se encuentre sobre esta ley de corte genera un beneficio positivo, denominándose mineral, mientras que cualquier bloque con una ley inferior a la ley de corte generará pérdidas, conociéndose como estéril. (Vásquez, 1996)

$$\text{Ley de Corte Crítica} = \frac{(\text{Costos categoría I} + \text{Costos categoría II})}{\text{Recuperación global I} \times (\text{Precio} - \text{Costos categoría III})} \times 100$$

Donde:

Costos de categoría I: Corresponden a los costos de material movido relacionados con la extracción del mineral, es decir los costos Mina, que incluyen los siguientes procesos:

Costos directos: Perforación, tronadura, carguío, transporte, servicios de apoyo mina y administración.

Costos indirectos: Depreciación de equipos.



Costos de categoría II: Corresponden a los relacionados con el proceso de mineral en Planta concentradora (concentración y/o lixiviación etc.), además se incluyen costos administrativos, depreciaciones de equipos, etc.

Costos de categoría III: Corresponden a los costos relacionados con la venta del producto (fundición y refinación), en el cual se incluyen el transporte, seguros, créditos, penalizaciones por impurezas. (Vásquez, 1996)

Recuperación global: Corresponde al porcentaje de cobre fino recuperado de todos los procesos involucrados (Mina, planta y fundición).

De esta forma, es fácil observar que la ley de corte es variable en el tiempo debido a la sensibilidad que presenta frente a cambio en los factores anteriormente señalados. Además, existen otros parámetros que pueden modificarla, entre los que podemos destacar:

2.2.3 Selectividad minera

La selectividad minera corresponde al proceso de separación del mineral con respecto del estéril. Esta se ve afectada por tres variables que se consideran en los siguientes puntos.

- **Efecto soporte**

El diseño y la planificación de una explotación minera están dados por el modelo de bloques, el que es una representación del depósito mineral. De esta forma, el volumen que encierra un bloque corresponde a un material heterogéneo, con diversidad de leyes, donde solo se conoce la ley media. Por ello es muy posible que un bloque considerado como mineral tenga un porcentaje de estéril asociado y viceversa. Además señala que mientras más pequeño sea el bloque

mayor será la selectividad, entendiéndose que finalmente existirán mejores recuperaciones del metal. Sin embargo, el costo de operación se ve incrementado por el uso de equipos de carguío más pequeños, los que poseen menores índices de productividad, y de una malla de perforación más densa que permita generar esta selectividad. (Emery, 2004),

En la Figura 1, ejemplifica el problema que se produce a bloques de mayor tamaño existe aumento de tonelaje lo que implica una reducción de la ley. Ello se explica que al rebloquear a soportes mayores se incluye estéril en bloques de mineral y viceversa.

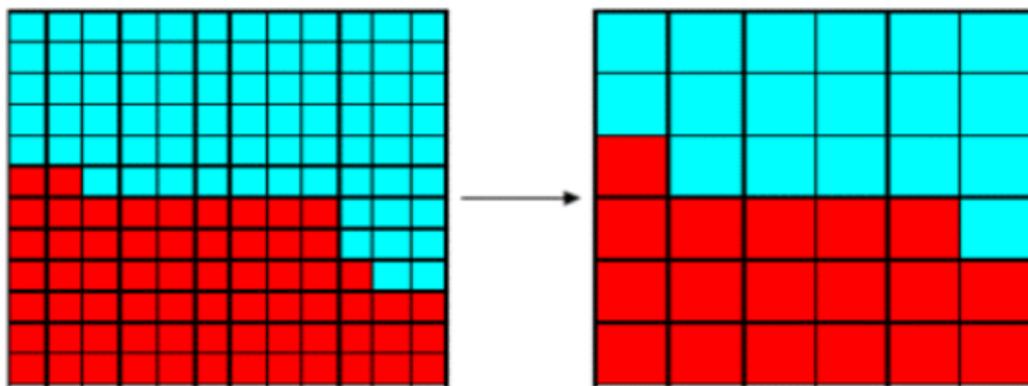


Figura 1. Modelo de bloques

Fuente: Dilución operacional - MI-68^a Geoestadística, Universidad de Chile.

- **Efecto de la información**

El diseño y planificación de la explotación minera se encuentran basados en un modelo de valores estimados y no en de valores reales. Así, es inevitable que ciertos bloques con beneficio económico sean subestimados y enviados a botaderos, como que bloques sin beneficio económico sean enviados a planta. En la planificación de largo plazo se desconoce la distribución de leyes de una grilla de pozos de tronadura, que es con lo que finalmente se tomará la decisión respecto de qué será considerado estéril y/o mineral. En la Mina Toquepala se utiliza la



técnica del muestreo anticipado, el cual de alguna forma permite ajustar qué material debe irse a planta o stock según la ley del material. Esta metodología es sumamente efectiva, pero lamentablemente sólo permite en el muy corto plazo (1 semana), ajustar la definición del material estéril respecto al mineral, de forma que el movimiento de equipos, cables para las palas y otros aspectos de la planificación de corto plazo, se ven muy limitados en tiempo. Todo lo anterior define el concepto de efecto de información, o valor de la información, lo que puede resumirse en que el método utilizado para estimar las leyes del modelo de bloques determinará fuertemente las consecuencias operacionales de la faena minera. (Rivas, 2018)

- **Dilución minera**

La dilución tiene un papel crítico en las grandes minas a cielo abierto porque estas minas son comúnmente impulsadas por economías de escala y operan con márgenes de beneficio estrechos. Si la dilución es mayor que la planeada, los márgenes de beneficio pueden ser consecuencia de pérdidas innecesarios en los procesos mineros.

La estimación de la dilución y de la pérdida de mineral es parte de cualquier operación minera en el caso de minas a cielo abierto, son impulsadas por las economías de escala que se logran a costa de menos selectividad en la discriminación del mineral ante del desmonte que depende del estilo de la interpretación geológica y del método de modelado del recurso mineral. Por ejemplo, si un *stockwork* de vetas mineralizadas es interpretado como una serie de zonas de minerales discretas y muy estrechas, la dilución, para un método de



minería dado, será mucho más alta que si las vetas mineralizadas son modeladas como un yacimiento diseminado y de baja ley. (Morales, 2009).

Las fuentes de dilución son diversas y se pueden dividir en cuatro tipos:

- **Dilución debido a la geometría:** Esta dilución se produce debido a la incompatibilidad entre la geometría y el funcionamiento del equipo de excavación y la geometría de los límites de mineral. Se relaciona con el tamaño de la cuchara de la excavadora, altura del banco, la veta y la profundidad del contacto de mineral.

Incluye material de desmonte tomado en los límites externos del cuerpo de mineralizado y desmonte internos dentro de zonas que son demasiado pequeñas para ser extraídas selectivamente. (Shaw & Khosrowshahi, 2004)

- **Dilución debido a la incertidumbre en el conocimiento del límite del mineral in situ:** Esta dilución se produce debido a la incertidumbre o la falta de precisión en el muestreo y el ensayo, la interpretación geológica o la estimación de la ley.

Es inherente al modelo de recursos minerales. Puede reducirse mediante métodos mejorados o un muestreo más detallado, pero nunca se puede eliminar por completo.

- **Dilución planificada**

Es el material de baja ley que se incorpora a los planes de producción, pues de otra forma sería imposible extraer el mineral alta ley o adyacente. En este punto tenemos:

Modelamiento geológico: El modelamiento geológico es una interpretación de la posición espacial y la forma que poseen los cuerpos minerales en el



yacimiento. Los modelos geológicos contienen información relativa a litología, alteración y mineralización. Con ello, es posible diferenciar los contactos entre unidades geológicas (estéril y mineral), de manera de analizar datos correspondientes a una población y no a una mezcla de ellas. En este sentido Srivastava señala que el no considerar el modelo geológico resulta en la mayoría de los casos una mala decisión, ya que las estimaciones de recursos dependen de decisiones apropiadas sobre las distintas poblaciones relevantes desde el punto de vista geológico y estadístico. En muchos casos la mineralización se encuentra asociada a ciertas unidades geológicas, por lo cual resulta clave para poder entender el proceso de mineralización y cómo definir la evaluación de recursos. Uno de los problemas del modelamiento geológico es la arbitrariedad que posee, debido a que con datos en general de sondajes, deben formarse modelos complejos de las estructuras y mineralizaciones presentes en un depósito. En este mismo sentido, a medida que avanza el desarrollo de un proyecto, también aumenta la información disponible: en el largo plazo la información disponible para el diseño y modelamiento geológico corresponde a sondajes, pero en el corto plazo, junto a los sondajes, están los pozos de tronadura que permiten aumentar el nivel de información y, como consecuencia, generar un mejor modelo geológico. Errores en espesores de mineralización (volumen), continuidad y leyes, comprometen miles de toneladas y por ende enormes pérdidas del punto de vista económico. En este mismo sentido, la caracterización de las diferentes unidades litológicas permite tener una mejor predicción de la dilución, al tener definidas cuáles de estas unidades litológicas están asociadas a mineralización económica, de forma que la planificación tenga en cuenta los contactos de diferentes unidades litológicas al momento de llevar a cabo la explotación. (Srivastava, 2005).

Definición de polígonos de producción: En el proceso minero es necesario identificar qué material será enviado a planta y cuál a stock. Esta información debe ser traspasada a los operadores de palas y camiones para que no existan discrepancias. Para poder realizar lo anterior, es necesaria la definición de polígonos de producción con el objetivo de identificar los sectores donde la pala cargará mineral de alta ley y en los cuales cargara mineral de baja ley.

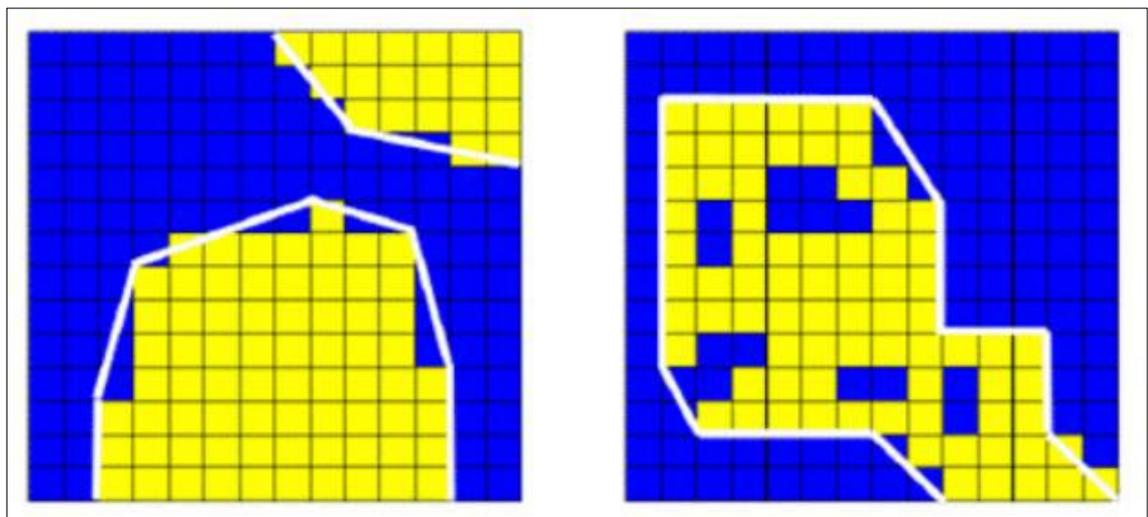


Figura 2. Tipos de contacto mineral de alta y baja ley

Fuente: Empresa NCL (2009), Reporte de simulación de dilución y determinación de la velocidad y desplazamientos del material tronado

- **Dilución operacional**

La dilución operativa en una faena minera a cielo abierto corresponde al material de baja ley que no se logró separar del mineral alta ley durante la extracción. Esta dilución se genera por efectos de la selección no libre de bloques y con la definición de los polígonos de extracción que se definen en la planificación de corto plazo. La dilución operativa produce dos tipos de impactos:

- Un aumento del tonelaje enviado a planta, con una baja en la ley planificada, producto de la incorporación de material con baja ley.
- Disminución del tonelaje enviado a planta con una mayor ley a la planificada (Dilución “Negativa”).

Otro factor que afecta el nivel de dilución operativa son los contactos entre mineral y desmante. Si se tienen contactos suaves o regulares será más fácil seleccionar mineral por sobre estéril.

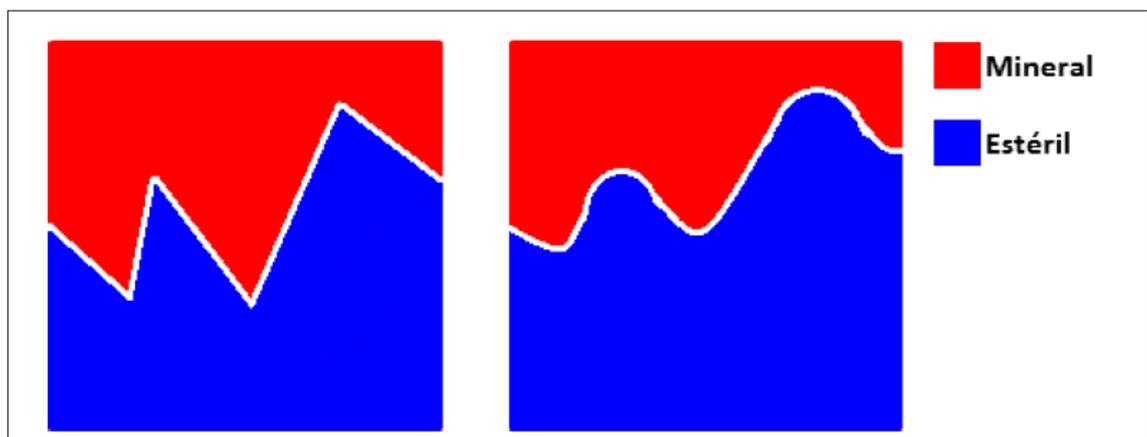


Figura 3. Contacto mineral y desmante

Fuente: Empresa NCL (2009), Reporte de simulación de dilución y determinación de la velocidad y desplazamientos del material tronado

En la Figura 3, se puede apreciar que el contacto de la izquierda es más irregular que el de la derecha, con lo que se tendrá mayor dilución. La voladura produce una mezcla de material en los límites de mineral y estéril no permitiendo definir un contacto claro para efectos del proceso de carguío.

2.2.4 Horizontes de planificación

Los horizontes de planificación se definen como una herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero, para aproximarse a la solución es necesario dividir el problema en los siguientes horizontes:

- **Planificación a corto plazo**

Se definen los equipos y la logística para cumplir con la meta definida en el presupuesto de operaciones de la mina. En esta instancia de planificación es donde se deben analizar los recursos utilizados en la operación de la mina, sin embargo su rol más importante es la recopilación y utilización de la información operacional de modo de retroalimentar a la planificación de mediano plazo.

La planificación corto plazo define indicadores de modo de corregir los modelos que sustentan la planificación del largo plazo, el horizonte de tiempo a planificar comprende el diario, semanal, mensual y trimestral.

2.2.5 Plan de minado a corto plazo

La programación del plan de minado a corto plazo aparece a continuación de los planes de largo plazo y se hace cargo de hacer operativos sus lineamientos. El horizonte de planificación puede ser de hasta dos años con un detalle mensual o incluso semanal. Mientras la planificación de largo plazo trabaja con bancos como unidad mínima, la programación de corto plazo utiliza una subdivisión de éstos como su unidad básica, llamada poligonal. Entonces, la programación del plan de minado a corto plazo, de forma mucho más detallada y desagregada, decide qué tonelaje extraer de cada poligonal, con cuál equipo será extraída cada poligonal y cuál es el destino de cada tonelada extraída (qué proceso, cuál stock, cuál botadero). Adicionalmente la programación del plan de minado a corto plazo



también se hace cargo de las plantas, buscando maximizar su rendimiento mediante consideraciones sobre las distintas leyes de minerales y contaminantes, así como de otras características geológicas. (De Nicola, 2015)

De esta manera, los resultados de los planes de largo plazo, se convierten en restricciones, parámetros y metas por cumplir para los programas del plan de minado a corto plazo como por ejemplo: las capacidades de planta, disponibilidades de equipo, expansiones y bancos a extraer en el horizonte de tiempo, metas de producción y leyes de mineral, entre otras. Se podrían definir las siguientes etapas del proceso de programación del plan de minado a corto plazo, de la siguiente forma:

Diseño: Se diseñan las poligonales de cada uno de los bancos. Se determina también la ubicación las rampas, los puntos de explotación, caminos y accesos.

Secuenciamiento: Se determina qué poligonales extraer, en qué orden, en qué periodo y con qué equipos. Se establece también la asignación de equipos por fase y sus mantenciones según los requerimientos ya establecidos. Así, se establecen los ritmos de extracción por fase y banco y los movimientos de mineral que se realizarán periodo a periodo. (Hernández, 2011).

Programación en Planta: Se determina qué procesar y cuándo hacerlo, es decir, qué material extraído de cada poligonal se enviará a planta, a stock o a botadero. Así se define la mezcla o *blending* de mineral que será procesado. Esto depende de las características geológicas propias de cada poligonal y debe responder a los requerimientos definidos en el largo plazo como las leyes, cantidad de contaminantes, capacidad y llenado de planta.



Valorización: Toda la operación de extracción y procesamiento en planta tiene asociados costos de insumos, recursos y manos de obra. Estos costos directos e indirectos deben ser cuantificados para determinar el beneficio final de la operación minera, con un detalle y precisión mucho mayor que la evaluación realizada en el largo plazo.

2.2.6 Control de leyes

El control leyes es la herramienta que nos apoya en la operación minera con la decisión de destino del material a minar; en otras palabras: ¿Dónde vamos a enviar la roca a minar? (Sotomayor, 2013).

A menudo este trabajo es el final de una enorme cantidad de trabajo realizado por los operadores de ore control, geólogos, ingenieros de planeamiento, perforistas y superintendentes. Es la decisión más importante en el proceso de minado. Una vez que el material ha sido asignado a un destino, es muy difícil revertir la decisión y si los cálculos no son precisos, lo más probable es que va a haber pérdida de mineral y la dilución se incrementará.

Para ser eficiente, el responsable del control de leyes bajo el proceso de ore control, debe tener en cuenta los muchos proveedores de datos así como los consumidores de datos, debido a que es un proceso cíclico que tiene el fin de planificar y ejecutar su parte de la operación, con las siguientes tareas:

El proceso de selección mineral/estéril (o control de leyes) en una operación a cielo abierto es el punto de decisión más crítico en la mina. Esta decisión, que es típicamente irreversible e irrevocable, es la que define la viabilidad final de la operación. Hacer un buen trabajo en el control de leyes ha salvado el cierre a muchas operaciones y ha llevado al éxito a muchas otras, los errores cometidos



en este proceso no pueden ser compensados, además, por otro tipo de errores, como puede ser el caso de la estimación de recursos.

En el caso de operaciones de cielo abierto, ésta es generalmente una decisión diaria, y comúnmente basada en los análisis de las muestras de pozos de voladura (Blastholes), o de sondajes de aire reverso. (Rossi, 2009).

Para el modelo de bloques de corto plazo, el control de leyes se puede obtener con distintas metodologías de estimación. No todos los métodos son adecuados para minimizar los errores de clasificación, que son una de las fuentes de pérdidas económicas más grandes en una mina en operación.

Los métodos de estimación se clasifican aquí en convencionales, basados en alguna forma de krigeage, y basados en simulaciones condicionales geoestadísticas. Métodos basados en simulaciones condicionales resultan generalmente en una mejor clasificación de los bloques, con una correspondiente mejora económica que puede ser significativa. Esto es porque los métodos convencionales y el kriging sufren por su característica de suavizar los valores estimados, sin poder reproducir la variabilidad geológica evidenciada por los datos utilizados. (Baudino, 2006)

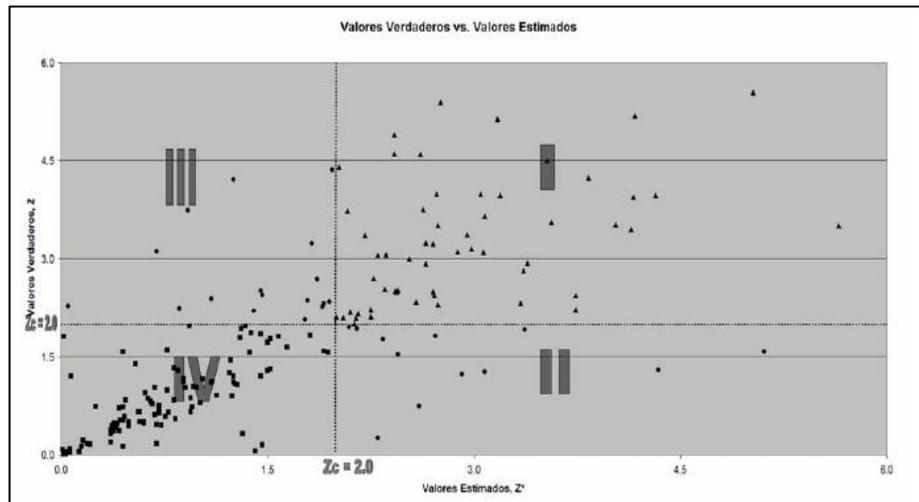


Figura 4. Errores de clasificación de material

Fuente: Rossi, M & Baudino, M. Modelos de corto y mediano plazo.

2.2.7 Equipo GPS Trimble R8

El sistema Trimble® R8 GNSS siempre ha puesto el listón muy alto en el campo de sistemas de topografía GNSS avanzados. A través de la tecnología de rastreo Trimble 360 y un conjunto completo de opciones de comunicación integradas en un diseño flexible, este sistema GNSS ofrece un rendimiento líder en la industria en una unidad robusta y compacta. Para los topógrafos que se enfrentan a exigentes aplicaciones RTK, el Trimble R8 GNSS es un socio invaluable. (Ver Anexo 5).



2.2.8 Operaciones mina

a) Descripción

La mina viene operando desde 1957, produciendo concentrado de cobre desde 1960. Está en su segundo medio siglo de operaciones, con nuevas reservas y un proyecto de ampliación minero-metalúrgico que llegara a procesar 120 mil toneladas de mineral por día.

Actualmente la Mina Toquepala produce 65 000 toneladas métricas de mineral por día, con ley aproximada de 0,66% de Cu, lo que hace aproximadamente 25 millones de toneladas métricas al año. La mina está dividida en 6 fases de minado hasta alcanzar el límite final del pit. Actualmente se encuentra en explotación las fases 3, 4, 5 y 6.(Ver Anexo 7)

Para un adecuado cumplimiento de los programas de producción en la mina Toquepala, el conjunto de operaciones unitarias, deben de desarrollarse bajo los esquemas de seguridad y productividad, todas ellos deben interrelacionarse unas a otras, de modo tal, el proceso productivo no se vea alterado por la falla de alguna de ellas.

- Producción por día : 120 000 Tm
- Horas trabajadas por día: 22 hr.
- Días trabajados por mes : 30 días

Perforación

Es la primera operación unitaria en el ciclo de minado, consiste en taladrar huecos de forma rotativa con triconos para ejecutar los pozos de voladuras, los patrones de perforación están definidos por sectores estructurales, los cuales determinan las mallas de diseño. La operación de perforación está íntimamente ligada con la voladura, por lo cual, debe reflejarse en la exactitud de la operación en términos de burden, espaciamiento, y profundidad de taladro, estos parámetros de diseño de banco reflejarán los resultados de la voladura. Los parámetros de perforación en la mina Toquepala, son los siguientes:

- Diámetro de perforación: 11,0 Pulgadas.
- Malla de perforación: Patrón triangular equilátero de 6,5 m a 12,0 m.
- Longitud de perforación: 15 m.
- Sobre perforación: de 1,5 a 2,0 m.

Tabla 1: *Equipos de perforación*

Equipos de producción	Marca / modelo
02 perforadoras	P&H - 100XP
01 perforadoras	P&H - 120 ^a
02 perforadoras	Bucyrus - 49RIII
04 perforadoras	Bucyrus - 49HR
01 perforadora	Bucyrus - 39HR
01 perforadoras	P&H - 320XPC
01 perforadoras	CAT- MD6640
04 perforadoras	Sandvik Cubex - 560 DR

Fuente: Departamento P&V- Mina Toquepala.



Voladura

La voladura, representa una de las operaciones más relevantes dentro del proceso extractivo de mineral, su objetivo principal es la fragmentación de la roca con un adecuado tamaño de roca, y apilamiento del material fragmentado, con un mínimo daño en su entorno, actividad que se ejecuta con explosivo y teniendo presente las características del macizo rocoso.

Los principales factores que influyen en la voladura son:

- Las propiedades de los explosivos a usarse (densidad, velocidad de detonación, etc.).
- Distribución y secuencia de iniciación.
- La geometría de disparo (burden, espaciamiento, taco, longitud de carga, longitud de taladro, ángulo de salida, tiempo de retardo).
- Las propiedades del macizo rocoso (resistencia a tracción, resistencia a la compresión, ángulo de fricción interna).

Cuando los resultados son adversos, obligan a la operación minera a efectuar minados selectivos, como también la necesidad de efectuar voladuras secundarias, los cuales incrementan los costos de minado, razón por la cual, esta operación tiene que tener los resultados idóneos para contrarrestar la problemática que se menciona. Todas las voladuras se realizan con un diseño previo, el cual difiere una de cada una, debido a que no podemos imprimir un mismo diseño para toda la mina.

Carguío

En la Mina Toquepala, el carguío de mineral, lixiviable y desmonte, se ejecutan con palas eléctricas y cargadores frontales de diferentes dimensiones y capacidades, para una adecuada productividad de ésta operación, es muy importante que los resultados de la voladura sean los adecuados, tanto en el aspecto de la granulometría, como en la geometría del apilamiento y esponjamiento del material disparado, estas condiciones reflejaron la seguridad y productividad que la operación amerita.

Tabla 2: *Equipos de carguío*

Cantidad	Equipo	Marca	Modelo
02	Palas, 56 yd ³	P&H	4100A
01	Pala, 44 yd ³	P&H	2800XP
01	Palas, 56 yd ³	Bucyrus	495BI
04	Palas, 73 yd ³	Bucyrus	495HR
01	Cargador Frontal, 23 yd ³	Caterpillar	994F
01	Cargador Frontal, 33 yd ³	Le-Tourneau	LT-1850
01	Cargador Frontal, 43 yd ³	Le-Tourneau	LT-2350

Fuente: Departamento Dispatch. – Mina Toquepala.

Acarreo

La operación de acarreo está conformada por la flota de volquetes, que son los encargados de trasladar el material disparado a los diferentes destinos como chancadora primaria de mineral y lixiviable, botaderos de desmonte o lixiviable, la carga transportada de ubicarse con una geometría adecuada que releje la cantidad y peso de la carga. (Ver Anexo 6).



Referente a las rampas de tránsito de los camiones estas no exceden al 8% dentro de la mina, y aun menor las rampas de acceso a las carreteras que constituyen el recorrido regular de los camiones cuando se encuentran acarreado.

Tabla 3: *Equipos de acarreo*

Cantidad	Equipo	Marca	Modelo
04	Volquetes, 320 TC	Komatsu	930-E1
09	Volquetes, 320 TC	Komatsu	930-E3
15	Volquetes, 320 TC	Komatsu	931-E4
18	Volquetes, 244 TC	Komatsu	830E
05	Volquetes, 240 TC	Caterpillar	793C
13	Volquetes, 240 TC	Caterpillar	793D
12	Volquetes, 400 TC	Caterpillar	797F
12	Volquetes, 400 TC	Komatsu	980-E1

Fuente: Departamento Dispatch. – Mina Toquepala.

Planeamiento mina

La Mina Toquepala, tanto para su planeamiento a corto, mediano y larga plazo, hace el uso del *software MineSight* (Sistema de diseño y evaluación de minerales). Los datos y las operaciones sobre los mismos son: Operaciones con datos de sondaje, operaciones con datos digitalizados, operaciones con compuestos, operaciones de modelamiento, diseño económico de pit, evaluación de pit y programa de producción.

A continuación, se expone el plan de minado para los 5 próximos años de la mina. Para alcanzar este plan se debe mover aproximadamente 590 mil toneladas por día. La mina tiene una vida útil de 54 años con las reservas actuales, asimismo y a nivel de minado tiene proyectado una producción de 590 mil toneladas por día con leyes que

fluctúan alrededor de 0,6% de Cu de mineral para planta y ley de 0,129% de Cu para la planta lixiviable.

Tabla 4: Plan de minado, periodo 2014-2018

Ítem	Unid	2014	2015	2016	2017	2018
Mineral	Tm	20 055,00	19 681,00	41 274,00	41 312,00	41 416,00
Ley CuT	%	0,601	0,604	0,608	0,659	0,617
Lixiviable	Tm	42 617,38	70 604,14	72 347,86	61 756,84	64 661,89
Ley CuS	%	0,129	0,176	0,189	0,166	0,133
Desmonte	Tm	152 043,83	154 714,76	131 378,09	141 931,11	138 922,05
Total	Tm	214 716,21	244 999,90	244 999,94	244 999,94	244 999,94

Fuente: Departamento de Ingeniería – Mina Toquepala.

2.2.9. Reseña histórica

La mina Toquepala fue reconocida como depósito de cobre por los españoles, pero debido a su baja ley sólo llegaron a hacer solamente pequeñas excavaciones. Antonio Raymondi reconoció, la zona como cuprífera, alrededor del año 1870. Velarde en la publicación “La minería en el Perú” (1908), y Basadre en su “Estado de actual, y porvenir de la industria minera en los departamentos del Sur” (1918), mencionan la baja ley de los depósitos de Toquepala. Posteriormente Steiman en su “Geología del Perú”, señala que en el distrito de Ilabaya se halla el yacimiento de Toquepala. En 1937, el señor Juan Oviedo Villegas, de Moquegua denunció los depósitos de Toquepala; en noviembre del mismo año un geólogo de Cerro de Pasco Corporation, visitó la Región y fue el primero en reconocer la mina como un depósito de cobre. Los primeros trabajos consistieron en una serie de cateos y túneles, los que se continuaron hasta el año de 1940, en este periodo se utilizó perforación rotativa del tipo “Short Drill” y



sondajes diamantinos. Este tipo de exploraciones se continuó hasta fines de 1942.

2.2.10 Propiedad minera

En la actualidad, la Unidad minera de Toquepala, junto con la mina Cuajone, la Fundición y Refinería de Ilo, y el Proyecto Tía María; pertenecen a *Southern Perú Copper Corporation*, empresa dedicada al rubro de explotación de concentrados de cobre, y molibdeno *Southern Perú Copper Corporation*, pertenece al Grupo México.

2.2.11 Clima

En la mina Toquepala, se puede apreciar un clima característico de las zonas altas, seco en la mayor parte del año, y con moderadas lluvias entre los meses de Enero a Marzo, pero con abundante presencia de neblinas. El efecto de insolación, es bastante notorio en las últimas horas de la mañana hasta la mitad de la tarde. El promedio de precipitación registrado durante los últimos años es de 8 mm, con una temperatura máxima de 17°C, y una mínima de 3°C.

2.2.12 Recursos

En la mina Toquepala, se encuentran cantidad de recursos minerales con contenido de cobre, otros yacimientos cercanos son Quellaveco y Cuajone En cuanto a los recursos hídrico, y energético e inclusive humano, por la aridez de la zona, es muy escaso. El recurso humano calificado, procede tanto de la capital y ciudades vecinas, como Puno, Moquegua, Arequipa, y del mismo Tacna.



2.2.13 Topografía y fisiografía

El área se emplaza en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, en su sector meridional, el relieve del área se presenta de forma bastante irregular con una topografía muy accidentada.

La altitud máxima de la zona es de 3 675 m.s.n.m. y la mínima es de 3 125 m.s.n.m., de acuerdo con la división que hizo el Dr. Pulgar Vidal (1948), esta zona se ubicaría dentro de la región Quechua. Se distingue un drenaje dendrítico o arborescente, el cual está controlado por la naturaleza de las rocas subyacentes, dando como un resultado un relieve topográfico variado.

El drenaje de la zona se encuentra presentado por los cursos de las quebradas principales y secundarias que las atraviesan; que temporalmente, constituyen cursos de agua.

2.2.14 Vegetación

En cuanto a vegetación, se observa que es escasa, alrededor del tajo, se pueden encontrar plantas silvestres como cactus y otras de su especie, en épocas de lluvias, se desarrollan pequeños arbustos, por lo general en los lugares más abrigados. En época de invierno, existe una total ausencia de vegetación, ello, debido a la aridez y rocosidad del terreno.

2.2.15 Fauna

Por la aridez y sequedad del terreno, en cuanto a fauna, en la zona, se tiene presencia de animales silvestres como Vizcachas, Conejos silvestres, Burros salvajes, Zorros, Ratones, Lagartijas y otros, todos estos, en poblaciones muy limitadas.



2.2.16 Geología general

El depósito está situado en un terreno que fue sometido a intensa actividad ígnea, incluyendo una gran variedad de fenómenos eruptivos, los que se registraron hace 70 millones de años (Cretáceo-Terciario); esta actividad produjo enormes cantidades de material volcánico, el cual se acumuló en una serie de mantos de lava volcánica, hasta completar un espesor de 1500 m constituyendo el basamento regional, el mismo que está compuesto por derrames alternados de riolitas, andesitas y aglomerados, inclinados ligeramente hacia el Oeste y que constituyen el llamado “Grupo Toquepala”.

Posteriormente, la actividad ígnea fue principalmente intrusiva y produjo grandes masas de roca en fusión que instruyeron, rompiendo y fundiendo las lavas enfriadas del “Grupo Toquepala”. Estas rocas intrusivas constituyen apófisis del batolito andino que fueron emplazadas en diferentes etapas. Debido a que provinieron de un magma de composición química variable, resultaron diferentes tipos de rocas por diferenciación (dioritas, dacita porfirítica, etc.).

La actividad tectónica regional, está relacionada a la formación de la Cordillera de los Andes, estructuralmente representada en el área de Toquepala por la Falla Micalaco y por el Alineamiento Toquepala. La intersección de estas dos fallas está ubicada en el área de la mina.

Posteriormente, soluciones hidrotermales de alta temperatura, resultado de un estado de diferenciación magmática, fluyeron a través de las rocas existentes, destruyendo y alterando su composición química, haciéndolas más permeables.

Estas soluciones favorecidas por un intemperismo preexistente produjeron la alteración y mineralización primaria.



Los diferentes eventos intrusivos de Dacita Porfírica dieron origen a un sistema de estructura de Brechas (Brecha Pipe mineralizada), y Brechas de colapso, parcialmente mineralizada.

Un evento ígneo tardío tuvo lugar inmediatamente al norte del yacimiento, caracterizado por actividad eruptiva explosiva e hidrotermal, constituida por una diatrema que fue rellenada por los fragmentos de rocas preexistentes y un magma de composición dacítica, por lo que se le denomina Pórfido de Dacita aglomerado. Cerrando el ciclo de actividad intrusiva ocurrieron Diques de Latita porfírica y de Dacita que se emplazaron a lo largo del alineamiento Toquepala, y atravesaron todas las rocas existentes.(Christian, 2017).

Esta actividad intrusiva - volcánica fue seguida por sucesivos estados de intensa erosión, asociados a variaciones del nivel de agua que contribuyeron en la lixiviación de la parte superior de la zona mineralizada (*Leach Capping*), dando como resultado una concentración de Cobre en profundidad (Zona de Enriquecimiento Secundario). Todos estos eventos son responsables de la superficie expuesta actual. La edad medida para el Depósito de Toquepala está alrededor de los 58 a 52 millones de años. (Ver Anexo 2).

2.2.17 Geología regional

La mina Toquepala, está situada en la región que pertenece a la faja sísmica de los Andes Sur Occidentales del Perú; que se caracteriza por haber soportado una intensa actividad eruptiva, cuyos remanentes son una serie de conos volcánicos, luego intrusivos posteriores del batolito andino, de composición ácida a intermedia que han afectado a las rocas encajonantes. Posteriormente una erosión, provocó la formación de una superficie irregular la que fue rellenada por



flujos volcánicos recientes. Las edades varían desde el cretáceo superior al reciente.

Resumiendo, se puede indicar que las unidades litológicas presentes, incluyen rocas de orígenes volcánicos e intrusivos.

2.2.18 Geología local

Toquepala constituye un yacimiento porfirítico de cobre-molibdeno diseminado donde la mineralización está subordinada a una chimenea de brecha y a un intrusivo de dacita ambos genéticamente relacionados a la actividad intrusiva hidrotermal calco-alcalina datado de fines del Cretáceo superior-Terciario inferior.

La historia del reconocimiento de Toquepala está vinculada al desarrollo minero metalúrgico del Sur del Perú desde el tiempo de los incas. Registros más recientes indican que en 1937 fue evaluado por el geólogo de exploraciones de la Cerro de Pasco *Copper Corporation A. C. Schmedeman*, como un yacimiento de cobre porfirítico de baja ley pero de importancia económica; este reconocimiento fue tardío con referencia a los yacimientos de Chuquicamata en Chile y Cerro Verde en el Perú.

Los trabajos de prospección y exploración desarrollados en Toquepala, se inician sistemáticamente en 1937, cuando la Compañía Cerro de Pasco ordenó una evaluación geológica, con cartografía regional, perforación diamantina y muestreo.



La geología del yacimiento, está relacionada con una intensa actividad magmática ígnea-eruptiva de naturaleza volcánica (riolíticos y andesíticos) del Grupo Toquepala de edad terciaria inferior e intrusivos del batolito andino, datada de fines del Cretáceo superior - Terciario inferior del metalotecto "Sub provincia cuprífera del Pacífico" que tiene dirección NW-SE en Perú y N-S en Chile.

Durante la campaña de perforación diamantina, se ha reconocido rocas volcánicas como: Cuarzo porfídico Quellaveco (Qq), Dolerita Toquepala (Td) y Toquepala Cuarzo porfirítico (Tq) correspondientes al Grupo Toquepala; dentro de la rocas intrusivas se tiene a la Diorita (Di), Dacita porfirítica (Dp), Dacita aglomerádica (Da) y la brecha de colapso denominada Brecha angular (Bx) intersectadas por diques de Latita porfirítica (Lp), diques de Pebble Brecha (Px) y Diques de Brecha de Turmalina (BxT); Con mineralización primaria de calcopirita y molibdenita (Cpy_Mb) en diferentes concentración por litología y posición espacial de los sondajes. (Christian, 2017).

2.2.19 Geología estructural

Falla Micalaco

Se extiende al Nor-Oeste del tajo cruzando la quebrada Toquepala y continúa atravesando las quebradas Cimarrona. La falla se presenta como una estructura vertical y de alineamiento rectilíneo, luego se abre convirtiéndose en una faja de cizallamiento con 200 a 500 km de ancho (Frank Stevenson, 1968) que tiene el mismo rumbo de la falla y un buzamiento que varía entre la vertical hasta 70° hacia el Norte. La falla Micalaco constituye el límite Sur de la mineralización en Toquepala.



Alineamiento Toquepala

Definido por los cuerpos intrusivos de pórfido dacítico, brechas y aglomerados con rumbo N15-20°E (Frank Stevenson, 1968). Este alineamiento atraviesa la zona mineralizada por la parte central y Este, siendo su mayor desarrollo al Norte de la falla Micalaco. Esta estructura consiste en una faja de cizallamiento de buzamiento sub-vertical con más de 500 m de ancho, afectado al Este al pórfido cuarcífero Quellaveco y al intrusivo diorítico. Hacia el Oeste de este alineamiento se encuentran los cuerpos intrusivos de pórfido dacítico, cuerpos de brecha y diques.

La formación de la falla Micalaco ha sido favorecida por el contacto volcánico intrusivo, mientras que el alineamiento Toquepala N-S se habría desarrollado como subsidiaria del fallamiento principal NW-SE y por el levantamiento del bloque situado al norte de la falla Micalaco; ambas fallas se interceptan en el área de la mina y determinaron una zona extensa de debilitamiento. (Christian, 2017).

Estructuras Subsidiarias

Hacia el borde Nor-Este se presenta alineamientos locales del tipo brecha-falla que pone en contacto la Serie Alta consistente en aglomerados volcánicos, secuencias de andesitas y riolitas con las secuencias de la serie Toquepala consistentes en riolitas en matriz con silicificación y bandeadas del tipo “piel de tigre”.



Sistema de fallas Sargento y Sarito

Se trata de dos sistemas bien diferenciados, se han reconocido hasta tres sistemas de fallas Sargento, con rumbo Nor Este - Sur Oeste con 70 a 84° y el Sistema Yarito con rumbo Este-Oeste y de buzamiento $60-85^\circ$, ambos sistemas se emplazan en rocas del tipo diorita con alteración cuarzo-sericita, sus afloramientos se manifiestan como cárcavas que cortan el flanco Oeste del tajo por donde se encuentra la vía principal de acarreo.

Evento hidrotermal Tardío: yeso/anhidrita

La presencia de este mineral (sulfato de calcio) debido a un evento hidrotermal tardío que se ha emplazado en el pit principalmente en los niveles más profundos de este, la primera evidencia o el tope de yeso se tiene en el nivel $3\ 100$ zona Oeste del tajo y posee un buzamiento hacia el Este donde se evidencia en el nivel $2\ 990$ controlado por las estructuras locales más importantes como la falla Micalaco en el sector Sur donde se pierde al intersectar la falla así como otras estructuras importantes.

Existen 2 tipos de yeso característico en el yacimiento, el alabastro que se puede encontrar en las partes más superficiales de la ocurrencia del sulfato y por otra parte el yeso anhídrita que se puede observar principalmente en los niveles más profundos del Pit donde se presenta rellenando cavidades en las brechas y diseminado en la matriz de las rocas intrusivas, muy puntualmente se encuentra el yeso selenita o cristalizado en la zona Norte del Pit asociado a la presencia de brechas hidrotermales.(Ver Anexo 3).



2.2.20 Geología económica

Génesis del yacimiento

La teoría de deposición del mineral de origen hidrotermal, las específicamente mesotermal, se funde en tres factores principales:

- Una fuente de soluciones minerales.
- La existencia de canales por los cuales fluyen estas soluciones.
- La existencia de espacios para la deposición del mineral y ganga.

En el primer factor se estudia la geoquímica de la diferenciación magmática a la que se supone asociadas las soluciones minerales y los efectos que ésta produce en las rocas que atraviesa. Estos aspectos se tratan en la mineralización.

Los factores 2 y 3 se refieren a la estructura en sí y su probable origen, aspectos a los que se dio referencia anteriormente.

En este tipo de depósitos la brechación ocurre principalmente por la caída de fragmentos del techo de la cámara magmática, ocasionado por la reducción de volumen debido a la corrosión ocasionada por los líquidos hidrotermales. En estos tipos la acción volcánica, generalmente está ausente, y si ella hubiere estado presente, no muestra una mayor relación con las chimeneas de brecha.

Los yacimientos mesotermales se forman a temperaturas y presiones moderadas. Según la clasificación de Lindgren, las menas se depositan alrededor de 200° a 300° C a partir de soluciones que probablemente tienen al menos una ligera conexión con la superficie. Los yacimientos diseminados de cobre “porfiríticos”, se consideran mesotermales.



Mineralogía

Los procesos de alteración, el emplazamiento intrusivo de las rocas y mineralización en los depósitos porfiríticos de cobre pueden ser generalizados como un desarrollo de origen magmático sub-volcánico de un magma rico en metales, donde los fluidos residuales se mezclan con aguas meteóricas durante las últimas etapas de enfriamiento en la formación de un yacimiento.

Los sulfuros se encuentran diseminados en delgadas venillas y como relleno de vesículas o espacios vacíos en las brechas. La abundancia de los sulfuros es en general de: Pirita, calcopirita, calcosina, molibdenita (Py, Cpy, Cc y Moly)

La mineralización supérgena o secundaria está dado por metales transportados por aguas meteóricas oxidadas que se mueven hacia abajo y también lateralmente, en contraste con la mineralización hipógena o primaria donde los sulfuros son formados por soluciones hidrotermales ascendentes.

El enriquecimiento supergénico por lo tanto consiste de un relativo reemplazamiento de sulfuros primarios por sulfuros secundarios y en una menor extensión por el relleno de los intersticios de óxidos minerales en zonas debajo del nivel freático donde soluciones lixiviadas ácidas y oxigenadas son reducidas y neutralizadas. El enriquecimiento secundario depende de la cantidad de pirita disponible para producir un ambiente de bajo PH, reemplazando calcosina en zonas extensas de pirita-calcopirita.

En la Mina Toquepala se desarrolló mejor el enriquecimiento secundario, presentando las siguientes características mineralógicas:



- Mineralogía Simple, con distribución de leyes de cobre uniforme.
- Espesor de mineral, mayores de 300 m.
- La pirita es el sulfuro más abundante, la calcopirita el sulfuro de cobre más abundante y la calcosina es el mineral supérgeno más importante.
- La molibdenita se presenta como subproducto. (Ver Anexo 4).

Zona primaria: El mineral hipógeno está conformado por calcopirita, pirita, molibdenita y trazas de bornita, escalerita y galena.

En Toquepala, una mineralización temprana ocurrió con cuarzo turmalina con menos sulfuros y menos cuarzo turmalina. La deposición de anhidrita ocurrió con la mineralización primaria y probablemente fue fijado más azufre como sulfato en la anhidrita que en los sulfuros.

Zona enriquecida: El límite superior fue una superficie ondulada casi horizontal y directamente en contacto con material lixiviado. La superficie superior es irregular, en la parte central el máximo espesor fue de 150 m y de unos pocos metros en los márgenes.

El mineral predominante es la calcosita densa, existiendo también la variedad pulverulenta denominada “Sootty calcosita”. Trazas de covelina y digenita, mayormente distribuidas en la brecha angular donde hubo zonas de mayor espesor de mineral primario, los minerales están asociados como calcositacalcopirita - pirita y calcosita - pirita.



Zonas de óxidos: Pequeñas cantidades de silicatos de cobre existieron en los afloramientos iniciales, pero no constituyeron mena. Los principales minerales fueron la malaquita, crisocola, cuprita y otros de menos importancia.

Escape lixiviable: La cubierta original fue compuesta de material de lixiviación con espesores que varían desde unos metros hasta 300 m. Los minerales son limoníticos principalmente hematina, goletita y jarosita.

Reservas de mineral

La Compañía cuenta con reservas probadas de cobre que alcanzan la cifra de 2 354 millones de toneladas de mineral, con una ley promedio de 0,541% de Cu y 0,031 % de Mo y unos 9 446 millones de material de desmonte que otorgan una vida útil de 54 años correspondiendo el 80% a sulfuros primarios y el 20% a secundarios. (Ver Anexo 11).

La Mina fue diseñada y planeada para trabajar con un Cut Off de 0,233% de ley de Cobre y 0,031% Mo durante el tiempo de vida de la misma.

Las reservas de mineral son muy sensibles a la variación del precio del cobre en el mercado internacional, ya que la ley de cobre está calculada en función al precio coyuntural de los mercados de metales.

El estudio de reservas minerales, se basa en los siguientes aspectos:

- Geometría del cuerpo mineral $\geq 0.4\%$ Cu.
- Comportamiento vertical de la Ley de Cu.
- Espaciamiento de taladros diamantinos
- Variables geológicas (Ver Anexo 4)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La Mina Toquepala, se encuentra ubicado en el distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre y departamento de Tacna. Tiene las siguientes coordenadas geográficas: 17°13' Latitud Sur y 70°36' Longitud Oeste. Es accesible por las vías: Lima: 1 035 km., Arequipa: 435 km. y Tacna: 168 km. (Ver Anexo 1).

Para llegar a la mina Toquepala se emplea distintos tramos de la carretera panamericana sur, mencionamos las siguientes rutas de acceso que se reflejan en la Tabla 5.

La mina es accesible también por vía aérea, puesto que cuentan con un pequeño aeropuerto en la zona de Staff pero solamente para avionetas de uso de la compañía. Las vías de acceso secundarias están representadas por un ferrocarril industrial de 167 km. Que une la mina con el puerto de Ilo, y otro que une las minas de Cuajone y Toquepala.

Tabla 5: *Rutas de acceso a la Mina Toquepala*

Carretera (Tramo)	Tipo de vía	Distancia (Km)
Lima - Camiara	Asfaltada	1035
Moquegua - Camiara	Asfaltada	45
Camiara -Mina Toquepala	Asfaltada	76
Tacna - Camiara	Asfaltada	92
Camiara - Mina Toquepala	Asfaltada	76
Ilo - Camiara	Asfaltada	85
Camiara - Mina Toquepala	Asfaltada	76
Ilo – Mina Toquepala	Línea férrea	167

Fuente: Departamento de Ingeniería – Mina Toquepala.



3.2 DISEÑO METODOLÓGICO

Según las características del trabajo de investigación el estudio es de tipo descriptivo, para lo cual se ha evaluado el replanteo de polígonos de mineral por proyectos de perforación; donde los polígonos de mineral diseñados por planeamiento, se ha replanteado el límite de proyectos de perforación con una sola cinta roja; ahora con el nuevo sistema de replanteo los polígonos son diseñados considerando la ley de cobre y molibdeno, de lo cual se replantea separando los polígonos con alta ley de cobre y molibdeno con cinta amarilla, el mineral con cinta roja y el mineral lixiviable con cinta verde. Donde se espera cumplir con la programación diaria y estas son validadas por reportes de cumplimiento diario de geología y planta.

La metodología para desarrollar el trabajo de investigación ha consistido en evaluar el replanteo de polígonos por proyectos de perforación anterior, en donde se ha analizado la dilución del mineral y el cumplimiento de tonelaje – ley de cobre y molibdeno. Posteriormente en el estudio de investigación se ha realizado el nuevo sistema de replanteo de polígonos con alta ley de cobre y molibdeno, según las leyes de cobre y molibdeno para delimitar los límites de los polígonos que presentan alta ley de cobre y molibdeno y el mineral lixiviable y luego se reporta por radio al área de operaciones sobre el resultado del disparo especificando el tipo de material y la ubicación exacta de los polígonos para cumplir con el plan de minado programado, obteniendo los resultados para la minimización de la dilución del mineral y el cumplimiento del tonelaje – ley en el proceso de minado.



3.3 POBLACIÓN

La población para el presente estudio de investigación está constituido por las fases de producción, 3, 4, 5, y 6, que abarca un total de 1 850 925 Tm de mineral en la Mina Toquepala.

3.4 MUESTRA

Para el presente trabajo de investigación se ha considerado como muestra los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno de la Fase 4 del Nivel 2 800, que abarca un total de 445, 356 Tm de mineral en la Mina Toquepala.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 Variable independiente

Las técnicas del replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, en la Mina Toquepala.

3.5.2 Variable dependiente

Minimización de la dilución de alta ley de cobre y molibdeno en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos fue accesible al área de geología (control de mineral) en la Mina Toquepala, los datos considerados en el estudio son: los procedimientos escritos de trabajo y actividades que ha permitido la obtención de la información necesaria para realizar el estudio de investigación



La recolección de datos para el presente estudio, consistió en la evaluación de los reportes diarios de geología y polígonos diseñados por planeamiento según los proyectos de perforación, que se ha replanteado con una sola cinta roja; posteriormente se hizo la evaluación del nuevo sistema de replanteo de polígonos con alta ley de cobre y molibdeno, diseñada por planeamiento según las leyes de cobre y molibdeno. Obteniendo finalmente los resultados para la minimización de la dilución del mineral y el cumplimiento del tonelaje – ley en el proceso de minado (Ver Tabla 6).

Tabla 6: *Técnicas de recolección de datos.*

Técnicas	Instrumentación	Instrumento de Registro
Levantamiento topográfico	GPS diferencial Trimble R8.	Memoria interna del GPS, plano de polígonos.
Inspección y observación	Guía de observación, supervisión, seguimiento diario.	Cámara fotográfica, plano de polígonos.
Revisión documental del área de geología	Reportes diarios y control de producción: cumplimiento diario de tonelaje – ley, leyes de cobre y molibdeno.	Computadora, memoria USB, registro de muestreo de blastholes y plano de polígonos.

3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

El *Software MineSight* proporciona toda las herramientas interactivas que se necesita para crear y administrar su funcionamiento. Estas herramientas le permiten determinar con confianza el diseño de polígonos según los proyectos de perforación y/o según las leyes de cobre y molibdeno. (Ver Tabla 7).

Tabla 7: *Técnicas de procesamiento de datos.*

Fuente de datos	Técnicas de procesamiento de datos
Datos de levantamiento topográfico	Los datos obtenidos se importan al <i>Software MineSight</i> , lo que permite la ubicación exacta de los polígonos y diseñados por planeamiento los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno.
Inspección y observación	Con esta técnica, se observa la efectividad del sistema con que se viene trabajando actualmente, el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno.
Revisión documental del área de geología	Los datos obtenidos mediante esta técnica apoyan prácticamente toda la estructura del presente estudio, ya que se tiene registros diarios a lo que se refiere a la producción y cumplimiento de tonelaje-ley del mineral.

3.8 PERSONAL, EQUIPOS Y MATERIALES

Para la ejecución del estudio de investigación, se ha realizado con el personal entrenado y capacitado; también se ha requerido de equipos y materiales.



PERSONAL

01 Ingeniero de seguridad: Encargado del cumplimiento con la política de seguridad de la empresa, difundir y cumplimiento de normas, estándares y procedimientos de trabajo.

Inspeccionar y dar la conformidad de las herramientas de gestión, equipos, herramientas, vehículos y los equipos de protección personal antes del inicio del trabajo.

01 Supervisor de área: Verifica el cumplimiento de los procedimientos de operación de replanteo de polígonos en mineral.

Asegura la correcta distribución de estacas y colocación de cintas delimitando las zonas si es mineral con alta ley de cobre, mineral con alta ley de molibdeno, mineral lixiviable.

Supervisar y hacer seguimiento a las desviaciones que se presenten para el cumplimiento del presente procedimiento.

01 Topógrafo: Personal que lidera el marcado o replanteo, remarcado de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno; capacitado en manejo del equipo GPS Trimble.

Cumplir con el presente procedimiento de replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno.

02 Ayudantes: Personal encargada de asegurar las estacas, colocación de la cinta y crucetas según corresponda a cada polígono.



Cumplir con el presente procedimiento de replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno.

EQUIPO, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- 01 camioneta 4x4.
- 01 radio de comunicación por persona.
- Planos y ventanas de polígonos con leyes.
- 01 GPS Diferencial – R8 Trimble: El sistema GNSS Trimble R8 (Ver Anexo 8).
- Comba de 02 lbs.
- Estacas de madera.
- Cinta topográficas *Flagging Tape* (PVC) de color rojo (cobre), Amarillo (Molibdeno), para replanteo de polígonos.
- Plumones gruesos.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Para la realización del trabajo, los trabajadores estarán provistos de los equipos de protección personal adecuados y necesarios para la protección de diferentes partes de la anatomía humana y cumpliendo con los estándares y normas de seguridad. Los equipos de protección personal son: (Ver Tabla 8)



Tabla 8: *Equipos de protección personal*

N° Orden	Tipo de equipo
1	Respirador media cara silicona
2	Casco de seguridad
3	Cartucho contra polvo P100
4	Lentes de seguridad, luna oscura
5	Zapatos de seguridad
6	Botas de seguridad de jebe
7	Ropa impermeable (lluvia)
8	Orejeras, tapones
9	Chaleco de seguridad
10	Uniforme dril dos piezas
11	Guantes de operador de cuero
12	Corta viento
13	Bloqueador solar

Fuente: Departamento de seguridad – Mina Toquepala.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

El replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno para minimizar la dilución del mineral en el proceso de minado en la Mina Toquepala, se ha realizado en la fase de producción 4 del nivel 2 800 m.s.n.m. que abarca un total de 445, 356 Tm de mineral.

HIPÓTESIS I

Al replantear los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se minimiza la dilución de la ley del mineral en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

4.1.1 Creación de polígonos

El área de geología en el planeamiento de corto plazo, con la información de las leyes obtenida del muestreo de *blastholes* procede a crear polígonos según sean: mineral con alta ley de cobre, mineral con alta ley de molibdeno, mineral lixiviable con el *software minesight*, cada polígono creado es denominado con un código (*ID*) con las características que representa el polígono según corresponda para realizar el trabajo en campo, de esta manera obtenemos los polígonos para poder realizar el replanteo. (Ver Anexo 12).

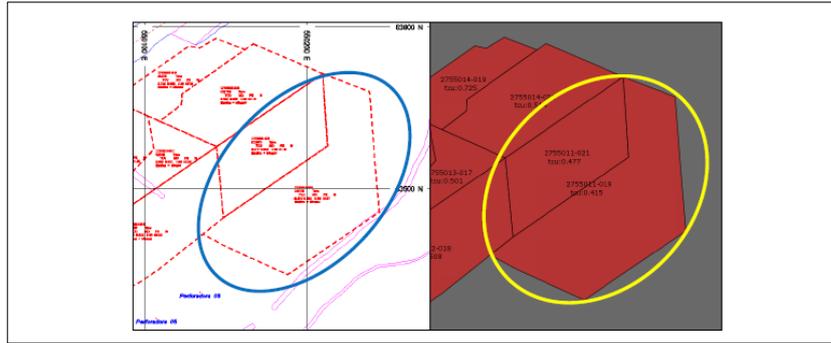


Figura 5. Creación de polígonos.

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala

4.1.2 Planificación y replanteo de los polígonos evaluados en campo

Se coordinó con el área de geología, para realizar los trabajos en campo y la exportación de polígonos obtenidos del diseño con el *Software MineSight*. Posteriormente se espera la liberación del disparo a las 13:30 horas para luego se ingresa a operaciones mina de la fase de producción 4, para lo cual se cuenta con todos los materiales y equipos necesarios para realizar los siguientes trabajos de campo (Ver Anexo 13).

- **Exportación de puntos**

La exportación de los puntos de los polígonos diseñados en la computadora al GPS Trimble, se realiza mediante una memoria USB en archivo Excel, especificando las coordenadas U.T.M.

- **Creación de líneas**

Se crean líneas uniendo los puntos exportados para definir el polígono replanteado, lo cual se realiza con mucho cuidado al unir los puntos, y que el polígono queda idéntico al diseñado en el *Software MineSight*.

- **Replanteo de polígonos**

Para realizar el replanteo de polígonos se requiere estar muy concentrado en el trabajo desarrollado y ubicarse en el campo con referencia al lado Sur con un margen de error de 0,50 m y con un RTK fijo del equipo GPS, dicho trabajo se realiza con mucho cuidado al replantear los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno. (Ver Anexo 5).

Al ubicar el perímetro del polígono se colocan estacas en sus contornos, introduciéndose en el terreno con la ayuda de una comba de 2 lb y para demarcar los polígonos se utilizan una cinta topográfica de color, dependiendo del tipo de polígono: mineral alta ley cobre (rojo), mineral alta ley de molibdeno (amarillo), lixiviable (verde), como se aprecia en las Figuras 6 y 7.



Figura 6. Topógrafo colocando estacas

Fuente: Departamento de topografía – Mina Toquepala.



Figura 7. Ayudantes de topografía colocando la cinta métrica

Fuente: Departamento de topografía – Mina Toquepala.

El replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se realiza lo más visible posible dejando notar la cinta de color rojo del polígono de alta ley de cobre y la cinta color amarilla del polígono de alta ley de molibdeno, como se muestra en la Figura 8.

En el corte de la pala se lanza la cinta (rojo y amarillo) prolongando el respectivo polígono que está al corte de la pala, quedando muy claro la separación del mineral de alta ley de cobre y mineral de alta ley de molibdeno.

En cada polígono se coloca crucetas en puntos visibles para su identificación de cada polígono generados por el área de geología, especificando el número del proyecto de perforación disparado, número de bloque y su ley de cobre o molibdeno según corresponda.



Figura 8. Delimitación de polígonos de mineral con alta ley de cobre y molibdeno

Fuente: Departamento de geología – Mina Toquepala.

- **Coordinación con el área de operaciones**

Una vez realizado el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, se comunica por radio al supervisor de zona (O2=Fase4) el trabajo realizado indicando el tipo de material replanteado que dio por resultado, ya sea mineral con alta ley de cobre y/o con alta ley de molibdeno, además se especifica la ubicación exacta de los polígonos para que tengan especial cuidado al minar dicha zona. (Ver Anexo 14).

- **Remarcado de polígonos**

El remarcado de polígonos se realiza de manera diaria asegurando que los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno estén en buen estado. Los polígonos pueden deteriorarse por factores climáticos o por equipos que realizan trabajos sobre el material disparado. Si la cinta pierde su color se debe cambiar y ser lanzado hacia el corte de la pala, como se muestra en la Figura 9, para que sea visible al operador y no tenga dificultades para diferenciar el tipo de mineral.

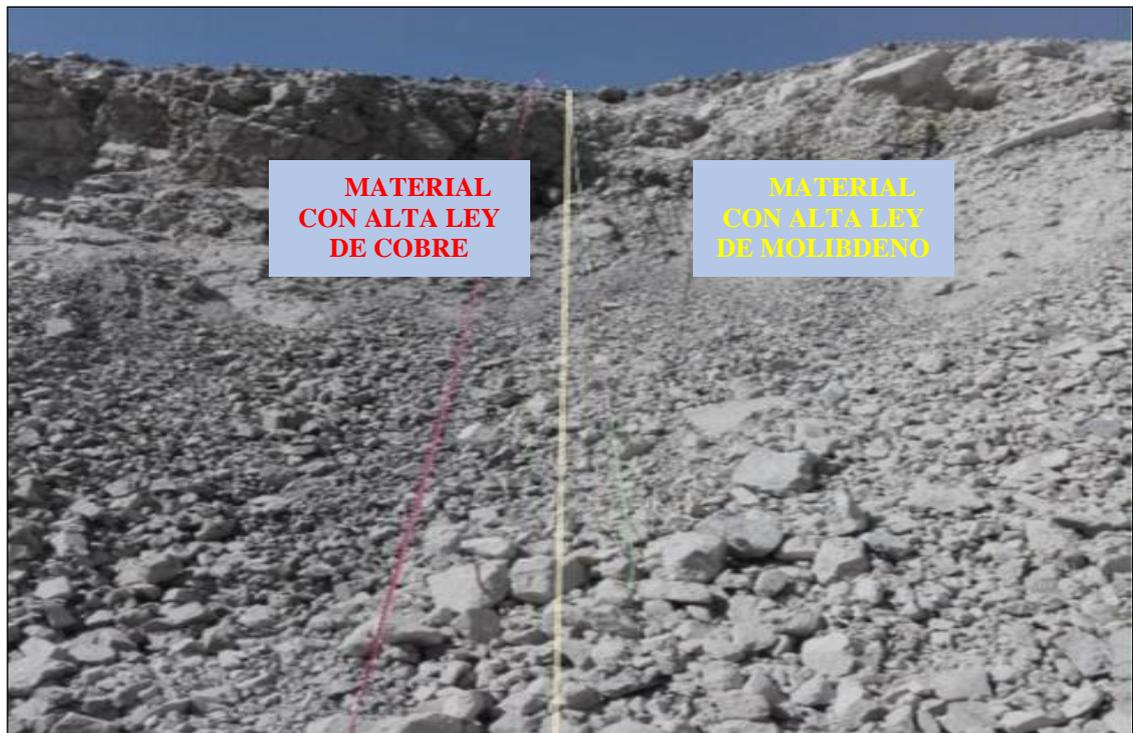


Figura 9. Corte de la pala

Fuente: Departamento de geología – Mina Toquepala.

HIPÓTESIS II

Replanteando los polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se mejora el cumplimiento de tonelaje – ley en la producción diaria y mensual programado en el proceso de minado en la Mina Toquepala

4.2 Resultados obtenidos en la dilución del mineral

Según el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se ha minimizado la dilución con los siguientes resultados. (Ver Tabla 9, 10 y 11).

Tabla 9: Ley de cobre y molibdeno – anterior.

DIA	Cu %	Mo %
1	0,924	0,099
2	0,836	0,088
3	0,714	0,112
4	0,872	0,108
5	0,621	0,089
6	0,756	0,096
7	1,054	0,115
Promedio	0,825	0,101

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala.

Tabla 10: Ley de cobre y molibdeno - actual

DIA	Cu %	Mo %
1	0,628	0,029
2	0,599	0,037
3	0,632	0,026
4	0,624	0,031
5	0,619	0,035
6	0,634	0,028
7	0,629	0,032
Promedio	0,624	0,031

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala.

4.2.1 Resumen de leyes de cobre y molibdeno

Tabla 11: Resumen comparativo de leyes de cobre y molibdeno.

DIA	Cu% Anterior	Cu% Actual	Diferencia	Mo% Anterior	Mo% Actual	Diferencia
1	0,924	0,628	0,296	0,099	0,029	0,070
2	0,836	0,599	0,237	0,088	0,037	0,051
3	0,714	0,632	0,082	0,112	0,026	0,086
4	0,872	0,624	0,248	0,108	0,031	0,077
5	0,621	0,619	0,002	0,089	0,035	0,054
6	0,756	0,634	0,122	0,096	0,028	0,068
7	1,054	0,629	0,425	0,115	0,032	0,083
Promedio	0,825	0,624	0,201	0,101	0,031	0,070

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala.

En la Tabla 11, se especifica los resultados de las leyes cobre y molibdeno anterior y actual obtenido de los reportes diarios realizados en la mina Toquepala, en donde se especifica la minimización de la dilución de la ley de cobre y molibdeno.

4.2.2 Resultados de Tonelaje – Ley

Según el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno se cumple con el tonelaje – ley programada de mineral, detallando los siguientes resultados.

(Ver Tabla 12, 13 y 14).

Tabla 12: *Tonelaje - ley – anterior.*

DIA	Tm	Cu %	Mo %
1	120 132	0,924	0,099
2	119 685	0,836	0,088
3	120 253	0,714	0,112
4	121 230	0,872	0,108
5	123 264	0,621	0,089
6	124 252	0,756	0,096
7	120 023	1,054	0,115

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala.

Tabla 13: *Tonelaje-ley - actual*

DIA	Tm	Cu %	Mo %
1	120 555	0,628	0,029
2	119 878	0,599	0,037
3	119 989	0,632	0,026
4	121 251	0,624	0,031
5	120 964	0,619	0,035
6	120 252	0,634	0,028
7	121 023	0,629	0,032

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala.

4.2.3 Resumen de tonelaje – ley

Tabla 14: *Resumen comparativo de tonelaje – ley.*

DIA	Tm Anterior	Tm Actual	Diferencia Tm	Cu% Anterior	Cu% Actual	Mo% Anterior	Mo% Actual
1	120 132	120 555	-423	0,924	0,628	0,099	0,029
2	119 685	119 878	-193	0,836	0,599	0,088	0,037
3	120 253	119 989	264	0,714	0,632	0,112	0,026
4	121 230	121 251	-21	0,872	0,624	0,108	0,031
5	123 264	120 964	2300	0,621	0,619	0,089	0,035
6	124 252	120 252	4000	0,756	0,634	0,096	0,028
7	120 023	121 023	-1000	1,054	0,629	0,115	0,032
Promedio	121 262	120 654	704	0,825	0,624	0,101	0,031

Fuente: Departamento de Geología – Mina Toquepala.

En la Tabla 14, se especifica los resultados del tonelaje – ley, anterior y actual obtenido de los reportes diarios realizados en operaciones minea, en donde se indica el cumplimiento de tonelaje – ley del mineral de cobre y molibdeno en la Mina Toquepala.

4.3 DISCUSION DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

Benjamín, C. R. (2007). Técnicas de voladuras para control de dilución en minería metálica, especifica que la dilución en la minería metálica se define como dilución a la mezcla de mineral con estéril, mediante la cual se lleva bien a procesar un material que no tiene el valor económico previsto, o bien se arroja a la escombrera mineral, con la consiguiente pérdida de aprovechamiento de las reservas. La escasez de las reservas, los grandes volúmenes arrancados en cada voladura y el actual valor histórico de los metales hacen del control de la dilución un apartado de significado económico de primer orden. En el presente estudio de investigación, mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno



la dilución del mineral se ha minimizado de 0,825 % a 0,624 % de cobre y de 0,106 a 0,031 % de molibdeno en el proceso de minado y también se cumplió con el tonelaje-ley programado de 120 000 Tm/día de mineral y se ha asegurado el destino del material minado (mineral) para la planta concentradora o en stock según sea el destino de descarga realizado en la Mina Toquepala.

Rivas, J. (2018), en su tesis “Control geológico en la dilución mineral”. Chile, concluye que el control geológico generó de manera concreta, reducir la dilución mineral en rangos aceptables dentro del rango + 10%, permitiendo con ello a geología, participar en forma directa en todo el proceso de control e influir en la reducción de las pérdidas económicas por este concepto en varios millones de US\$ cada año. En el presente estudio de investigación, mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno la dilución del mineral se ha minimizado de 0,825 % a 0,624 % de cobre y de 0,106 a 0,031 % de molibdeno en el proceso de minado y también se cumplió con el tonelaje-ley programado de 120 000 Tm/día de mineral y se ha asegurado el destino del material minado (mineral) para la planta concentradora o en stock según sea el destino de descarga realizado en la Mina Toquepala.

Mendoza, Q. (2018), en su proyecto de Determinación de las dimensiones mínimas de los polígonos de mineral para optimizar el control de dilución operacional durante el proceso de carguío de mineral en tajo San Gerardo, Unidad Minera Atacocha, Cerro de Pasco 2018, especifica que en minería, el planeamiento de minado a corto plazo tiene importancia preponderante en la concretización de los planes de minado de mediano y largo plazo los cuales cuantifican las metas esperadas de las compañías mineras. Su finalidad de buscar el mejor *blending* (Optimización de la mezcla de minerales en mineral y desmonte) por lo que es



necesario implementar controles en los polígonos de mineral implicando la determinación de las dimensiones mínimas óptimas para mejorar control de dilución que sucede en las minas. En el presente estudio de investigación, mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno la dilución del mineral se ha minimizado de 0,825 % a 0,624 % de cobre y de 0,106 a 0,031 % de molibdeno en el proceso de minado y también se cumplió con el tonelaje-ley programado de 120 000 Tm/día de mineral y se ha asegurado el destino del material minado (mineral) para la planta concentradora o en stock según sea el destino de descarga realizado en la Mina Toquepala.



V. CONCLUSIONES

Mediante el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, la dilución del mineral se ha minimizado de 0,825 % a 0,624 % de cobre, con una diferencia de 0,201 % y de 0,101 a 0,031 % de molibdeno, con una diferencia de 0,070 %, en el proceso de minado en la Mina Toquepala.

Con el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, se ha cumplido con el tonelaje-ley, programado de 120 654 Tm/día de mineral y se ha asegurado el destino del mineral para la planta concentradora o en stock según sea el destino de descarga.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el replanteo de polígonos de alta ley de cobre y molibdeno, en minas de características similares; para poder minimizar la dilución de la ley de cobre y molibdeno, optimizando el proceso de minado y cumplir con tonelajes programados.

Se recomienda realizar seguimiento continuo a los polígonos replanteados de alta ley de cobre y molibdeno, comunicando por radio al supervisor de operaciones de las leyes de los polígonos ya sea de cobre y molibdeno respectivamente. Para de esa manera cumplir con el tonelaje y ley estimado según el plan diario.



VII. REFERENCIAS

- Benjamín, C. R. (2007). *Técnicas de voladuras para control de dilución en minería metálica, XII Congreso internacional de energía y recursos minerales*
- Carrasco, S. (2007). *Metodología de investigación científica*. Lima, Perú.
- Christian, F. M. (2017). *Comportamiento litológico respecto a la alteración Yeso-Anhidrita en mina Toquepala*. Tesis para optar título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín.
- De Nicola, C. (2015) *Dilución operacional en Mina El Soldado*. Santiago de Chile
- D.S. N° 023 – 2016 EM. *Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería*.
- Emery, J. (2004). *Apuntes del curso MI-54A Evaluación de yacimientos y MI-68A Geoestadística*. Universidad de Chile.
- Empresa Geosim. *Informes mensuales 2018*, Mina Toquepala
- Gutiérrez, P. (2016). *Metodología de control de calidad de mineral en la producción de oro, aplicado en minería a tajo abierto - “Yacimiento Jessica” compañía minera Aruntani - Puno – Perú*, Universidad de Ingeniería.
- Hernández, M. (2011). *Manual de operación de la estación total*
- Huarocc, Cc. (2014). *Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M. Chuco II de la E.M. Upkar Mining S.A.C.*, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Hugo, T. P. (2015). *Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional en las operaciones de perforación y voladura de mina Toquepala*. Universidad Nacional de Piura.

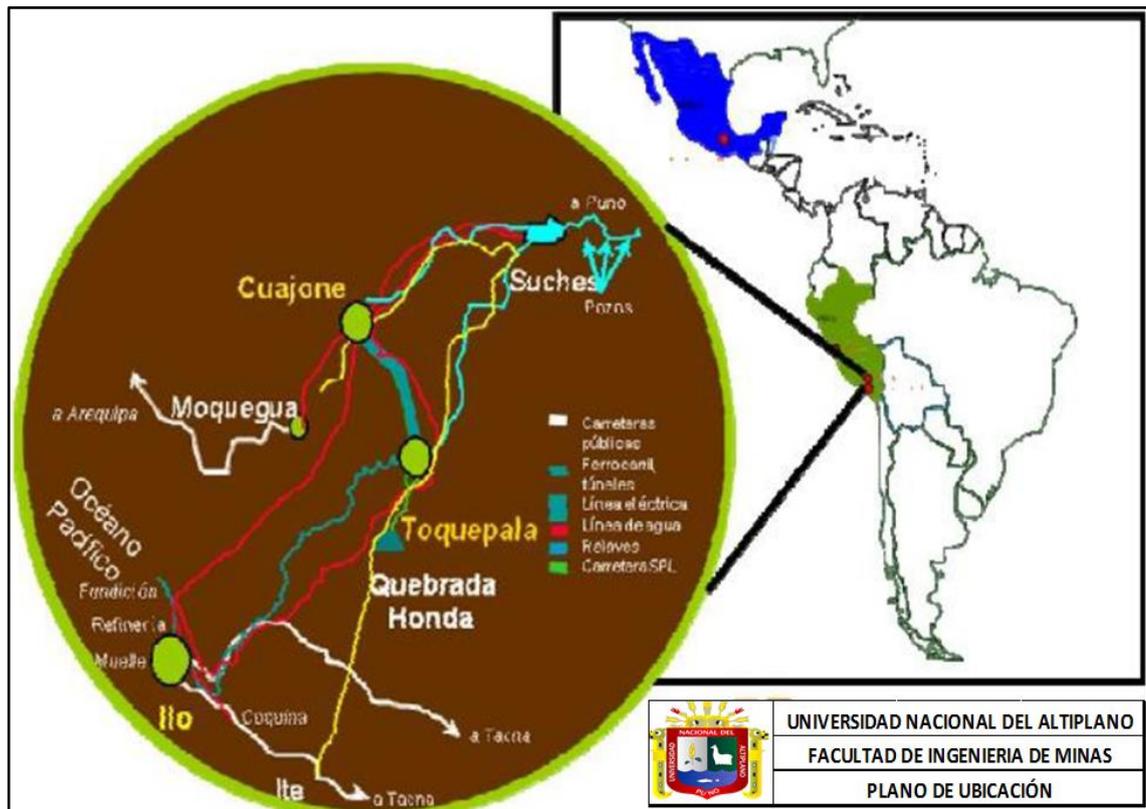


- Jucheng, W. (2015). *Influencia del estrés, la socavación, la voladura y el tiempo en la estabilidad y dilución del tajo abierto. Geomecánica y dilución.*
- Mendoza, Q. (2018), *Determinación de las dimensiones mínimas de los polígonos de mineral para optimizar el control de dilución operacional durante el proceso de carguío de mineral en tajo San Gerardo*, Universidad Nacional de Moquegua.
- Morales, C. (2009). *Metodología de planificación de corto plazo integrando restricciones geometalúrgicas.* Universidad de Chile.
- Nizama, J. et al, (2000). *Control de mineral en Antamina.* Ancash, Perú.
- Rossi, M. y Baudino M. (2009). *Modelos de corto y mediano plazo.* Antofagasta Chile.
- Rivas, J. (2018). *Control geológico en la dilución minera.* Universidad de Concepción.
- Sotomayor, N. (2013). *Herramientas para un efectivo control operacional*
:<http://www.congresminas.co.pe/WEB/ti/2/30/30b.pdf>
- Srivastava, R. (2005). *Probabilistic modeling of ore lens geometry: An alternative to deterministic wireframes.* Mathematical geology Vo. 37.
- Vásquez, A. (1996). *Apunte del curso diseño de minas a cielo abierto.* Universidad de Chile.
https://www.maxam.net/media/Default%20Files/CatedraMAXAM/Diptico_control_dilucion-FMXWeb.pdf
- <https://www.fueyoeditores.com/rocas-y-minerales/articulos-tecnicos-rocas-y-minerales/2035-dilucion-disenar-controlar-y-medir>

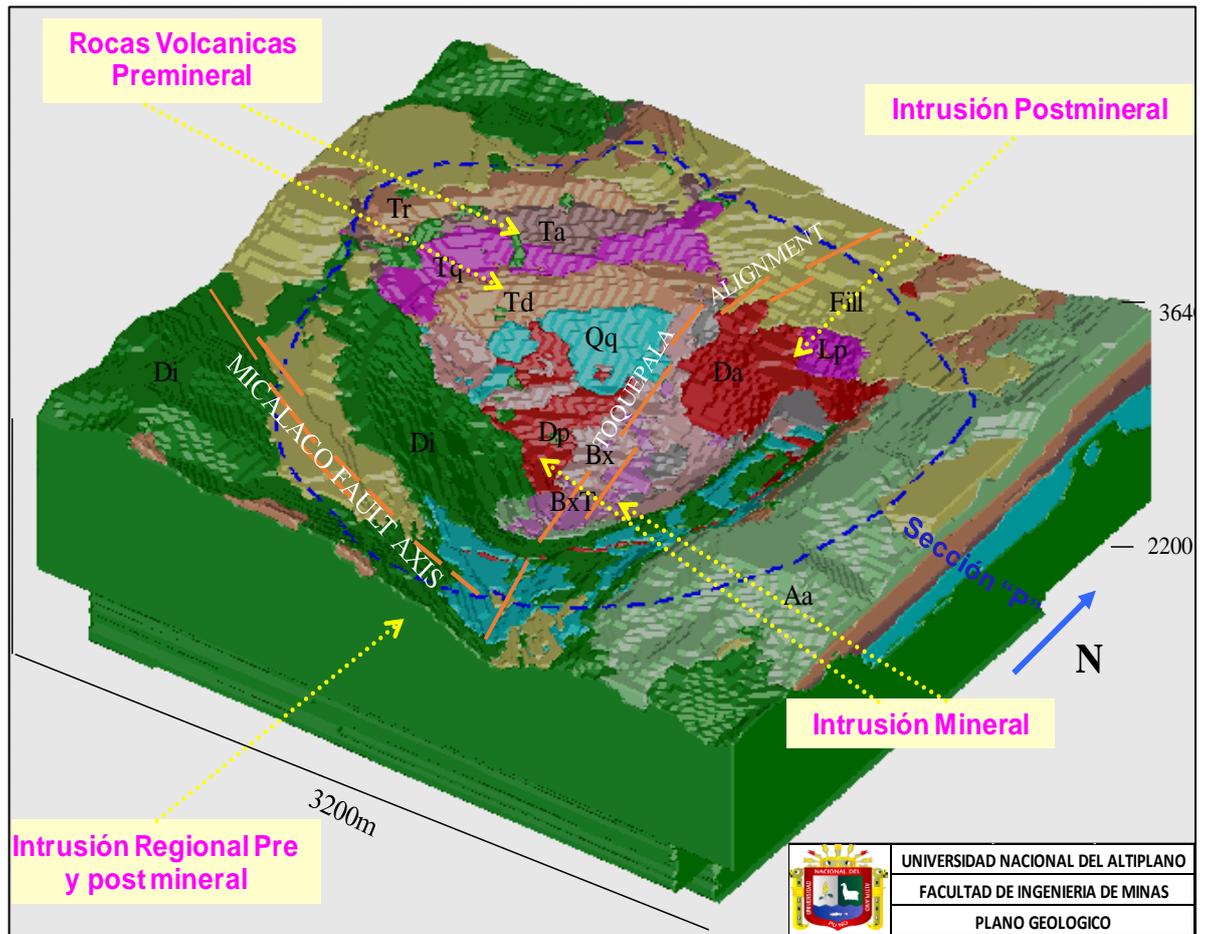


ANEXOS

ANEXO 1: Plano de ubicación de la Mina Toquepala

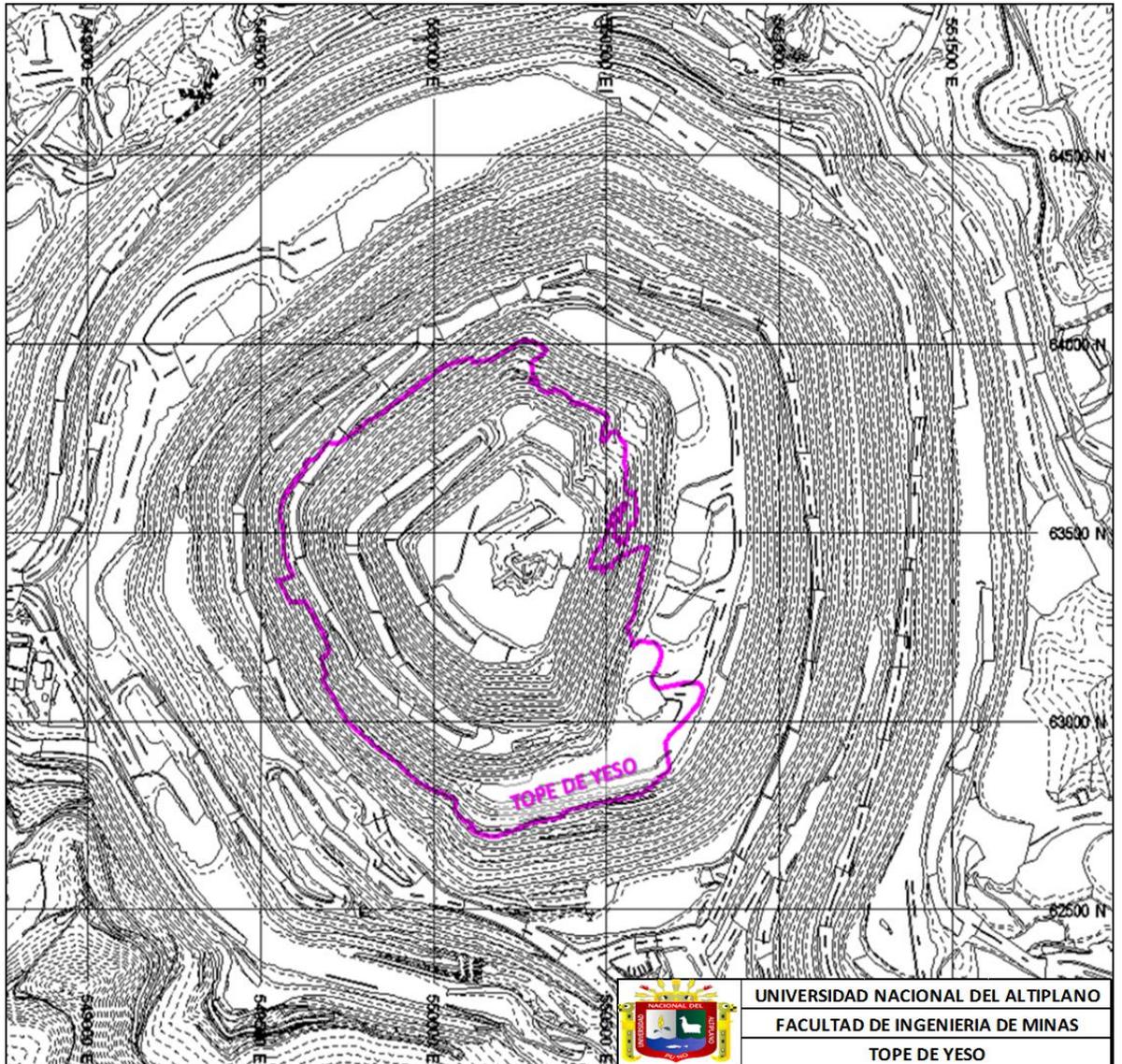


ANEXO 2: Plano geológico de la Mina Toquepala

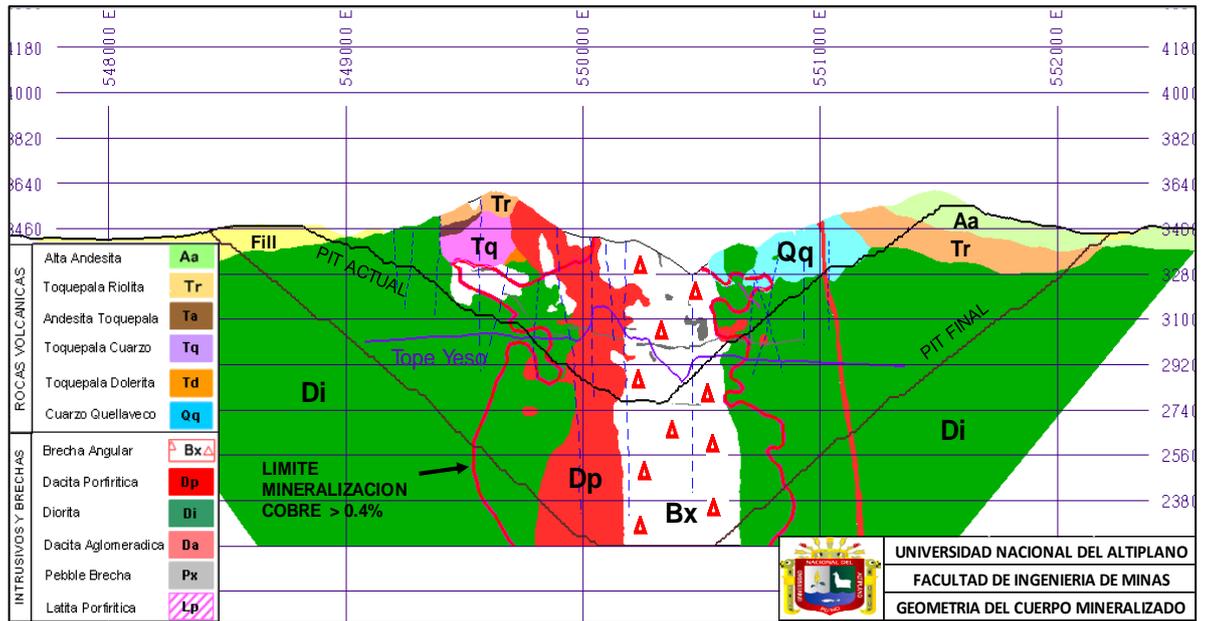




ANEXO 3: Tope de yeso de la Mina Toquepala



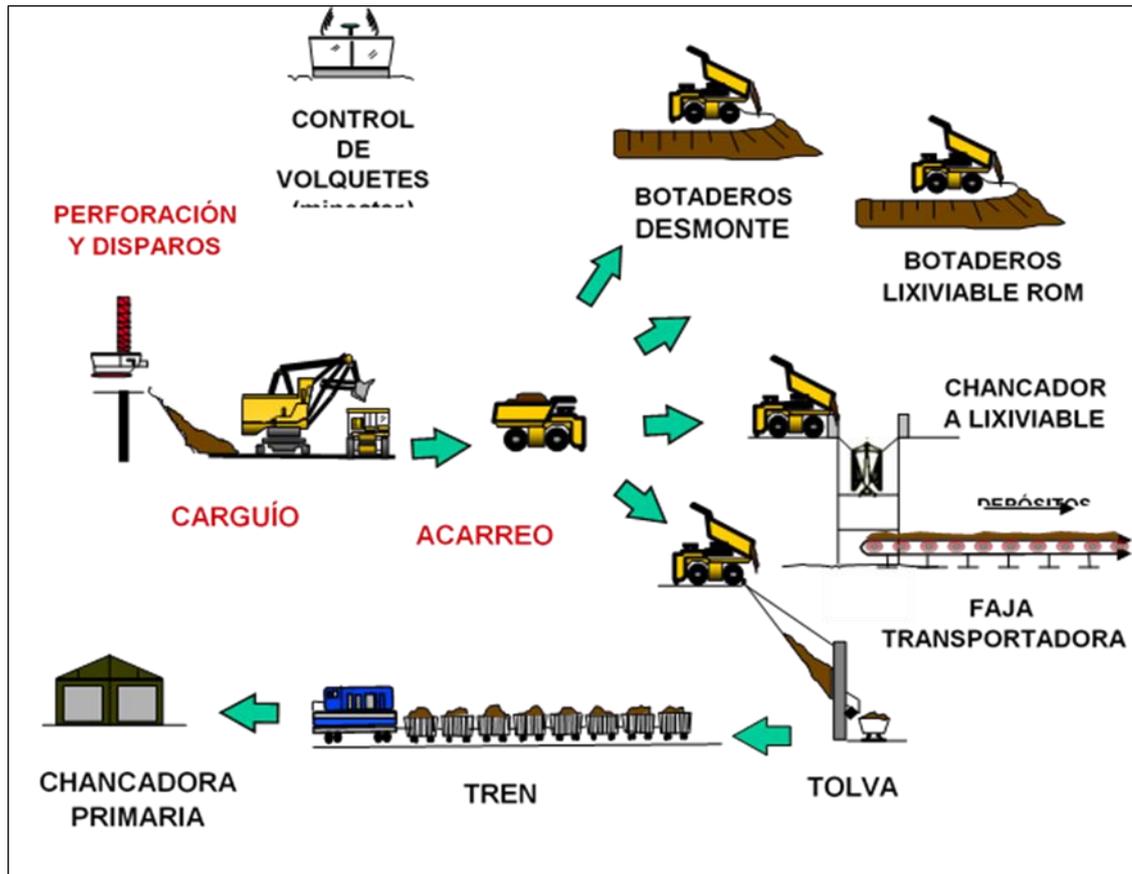
ANEXO N° 4: Geometría del cuerpo mineralizado de la Mina Toquepala



ANEXO 5: GPS Trimble R8

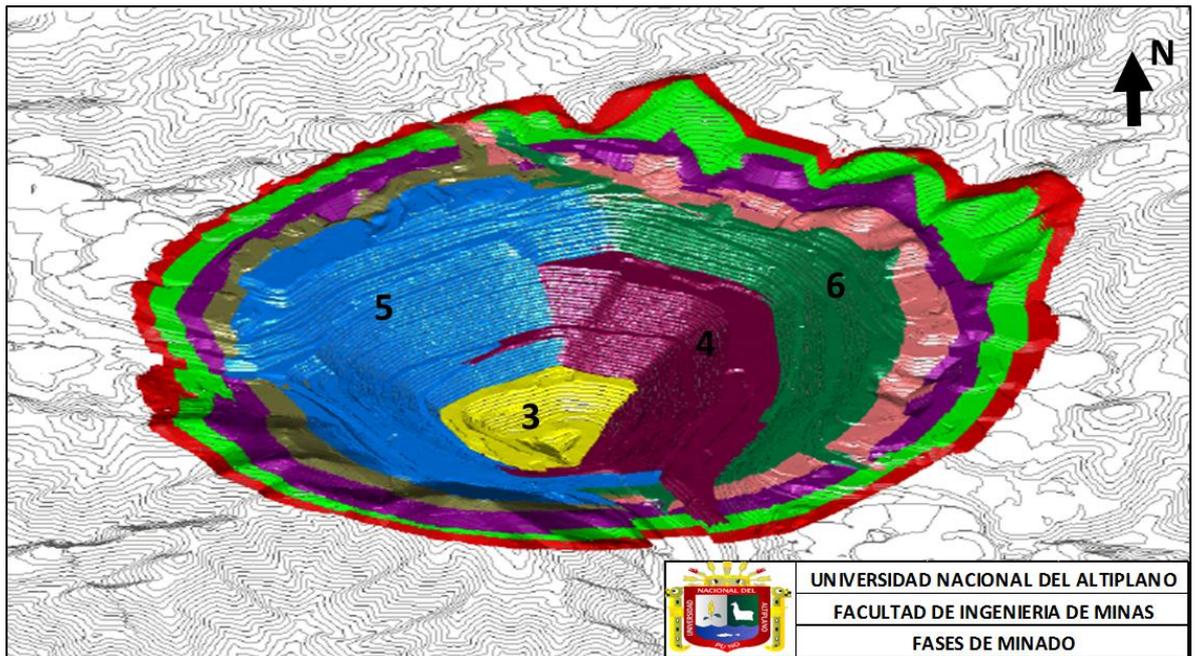


ANEXO 6: Proceso productivo de operaciones Mina Toquepala





ANEXO 7: Representación gráfica de las fases de minado



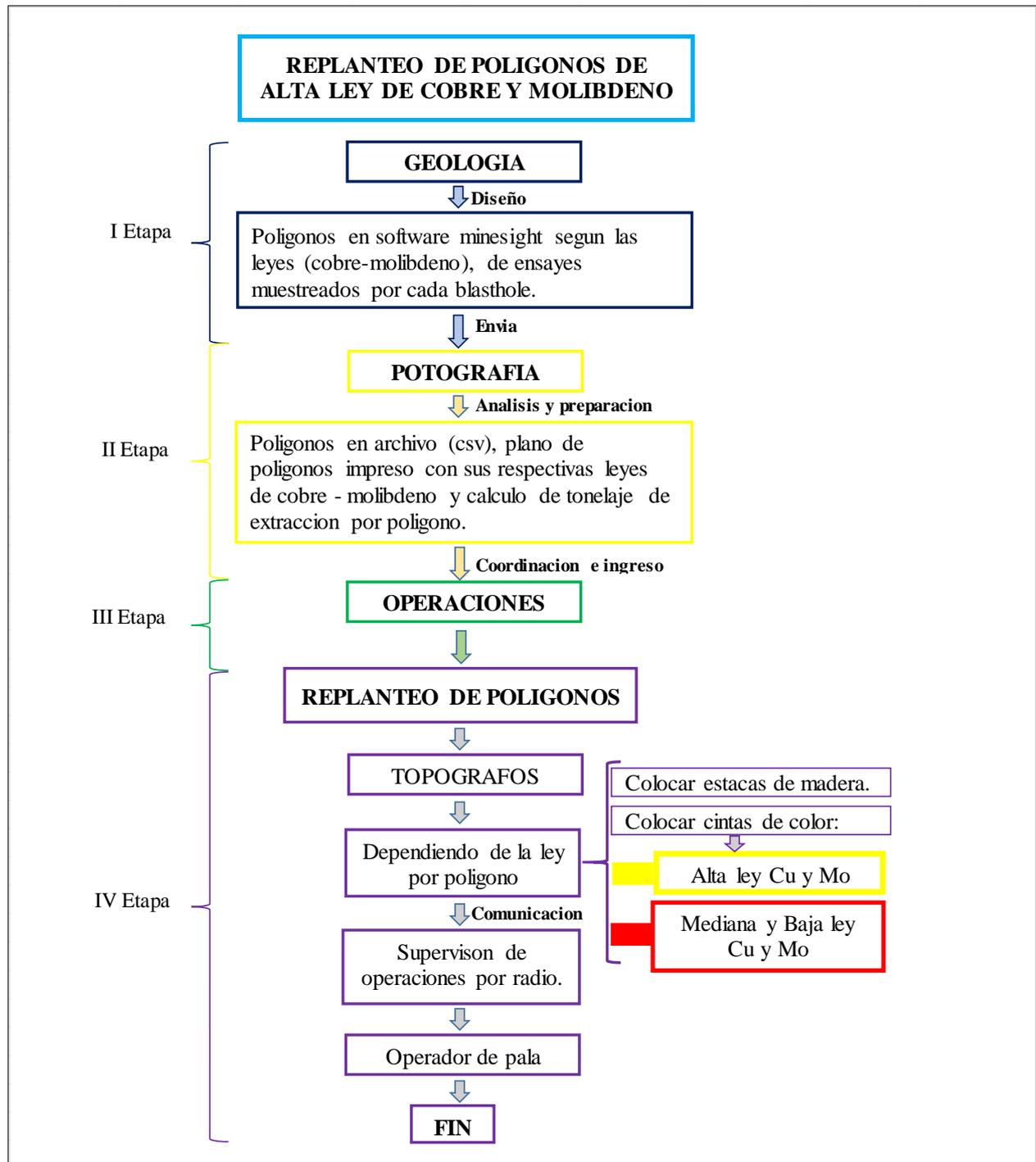
ANEXO 8: Equipo GPS Diferencial (Trimble R8)



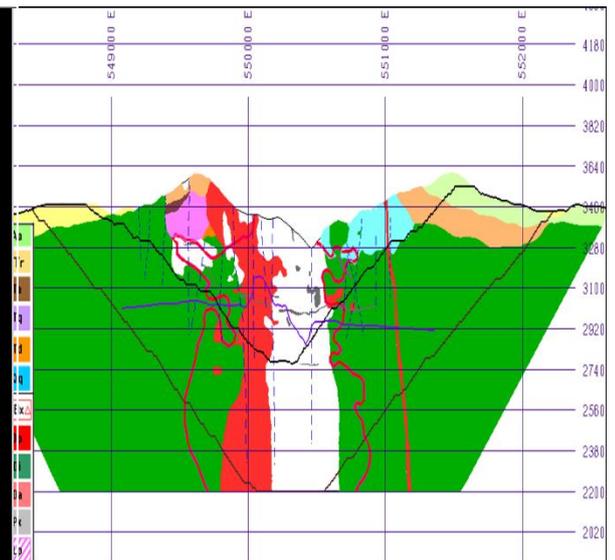
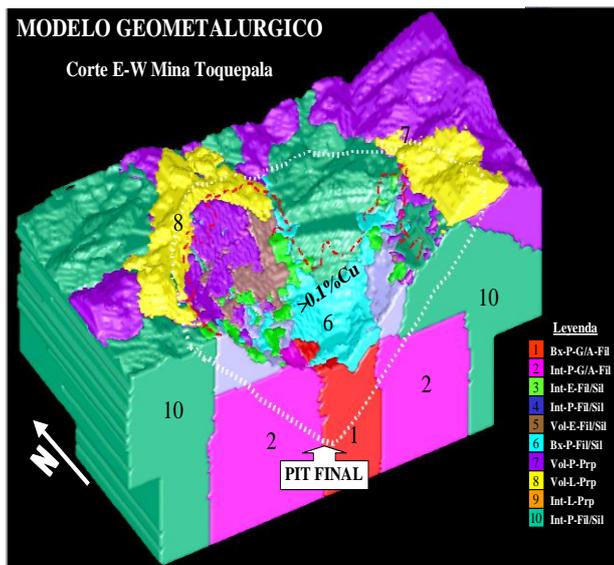
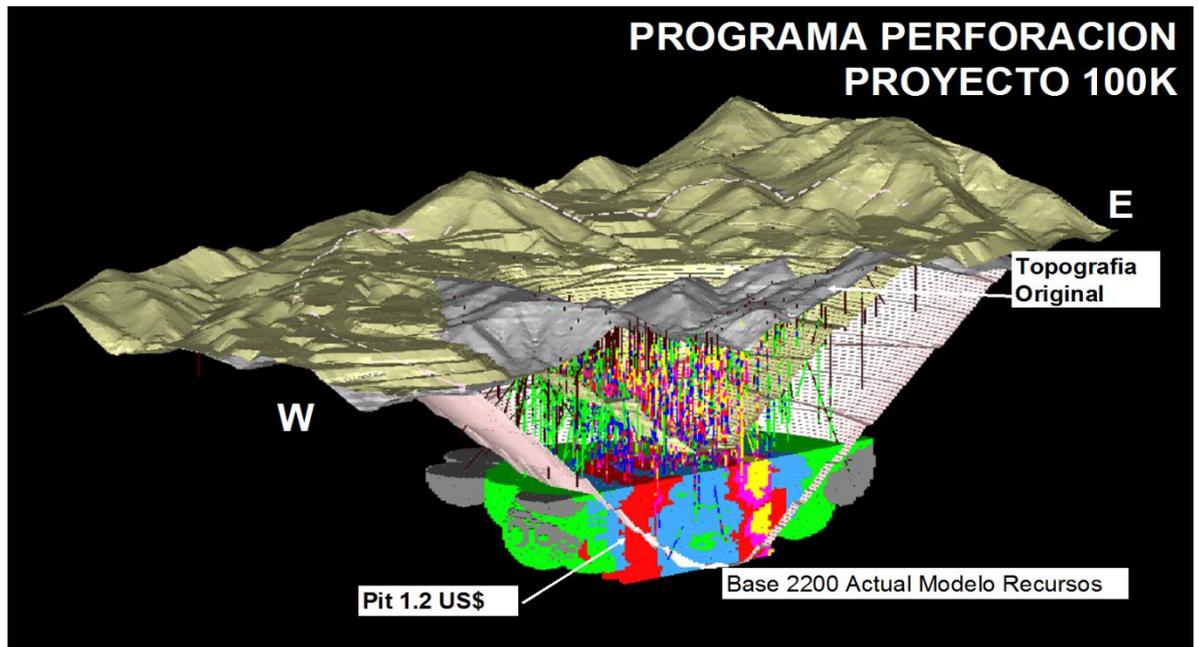
ANEXO N° 9: GPS Trimble R8 en RTK - Fijo



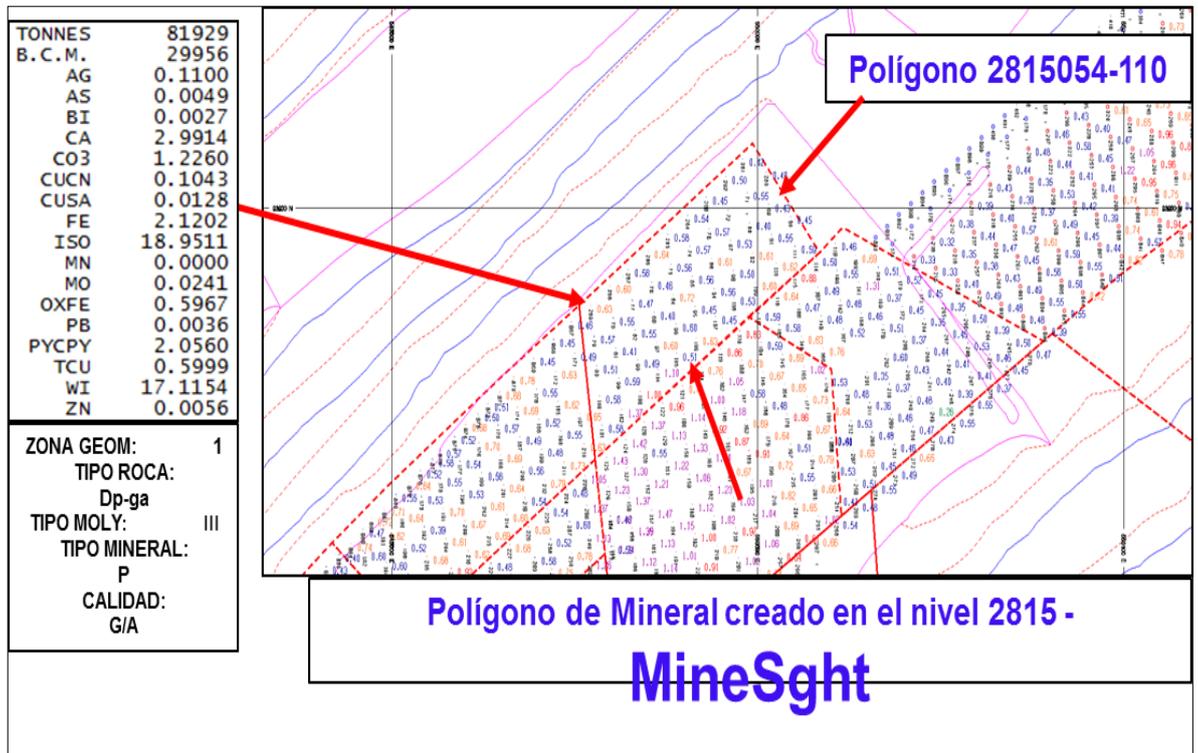
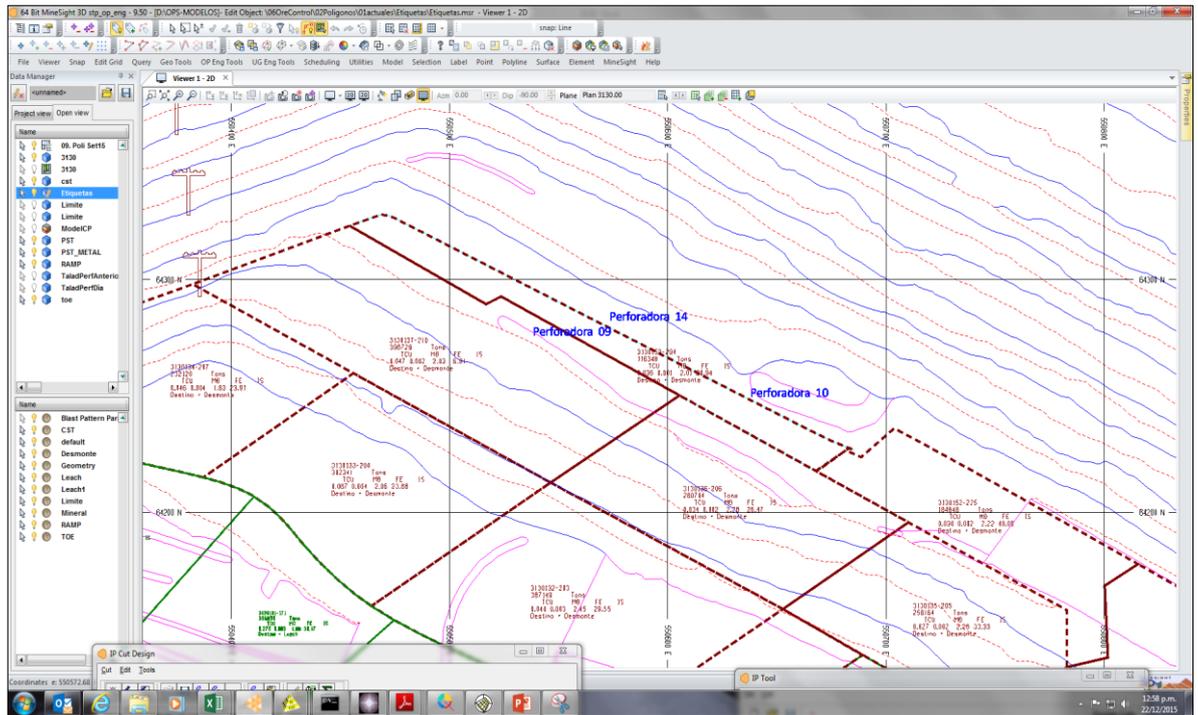
ANEXO 10: Diagrama de procedimientos en el replanteo de polígonos de alta ley cobre y molibdeno.



ANEXO 11: Modelo de recursos geológicos base para planes, producción y reservas.



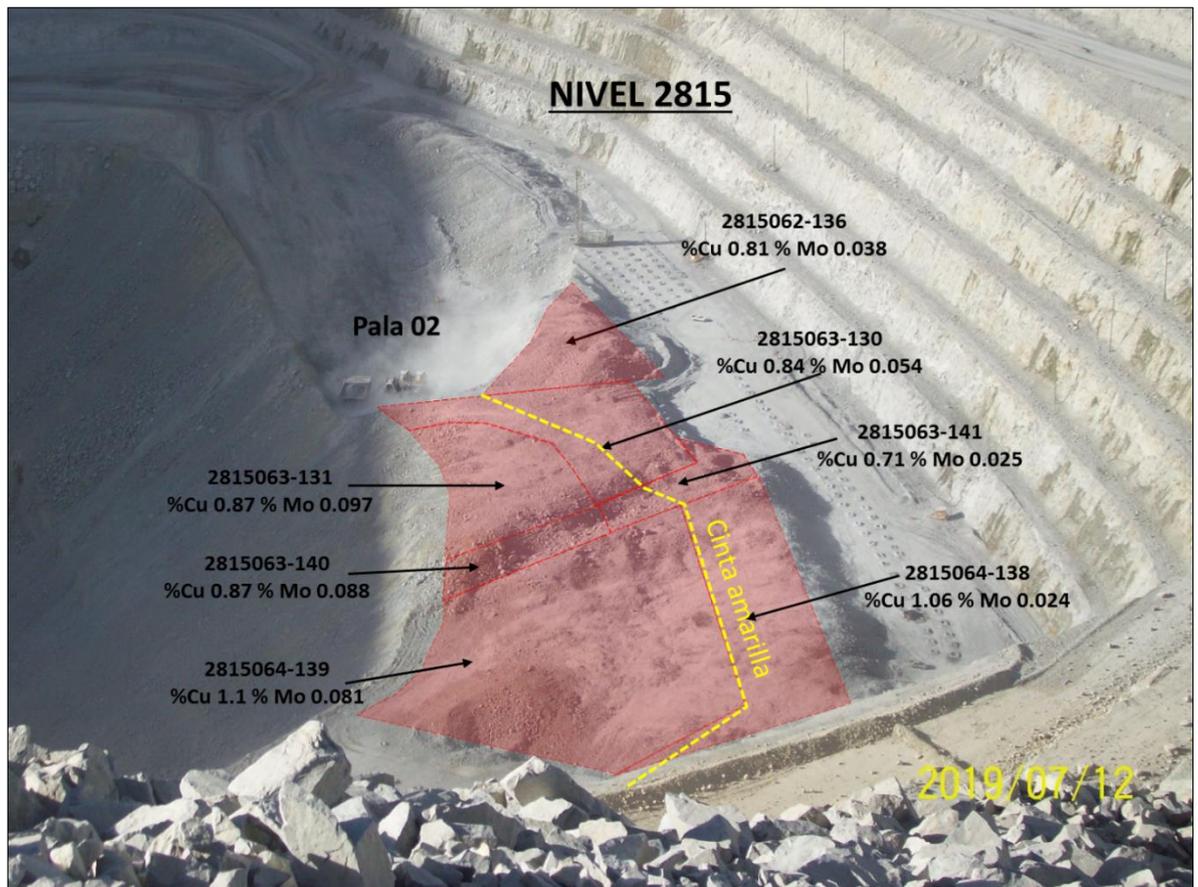
ANEXO 10: Creación de polígonos en software minesight



ANEXO 13: Coordinación con geólogo de campo y el equipo completo de trabajo.



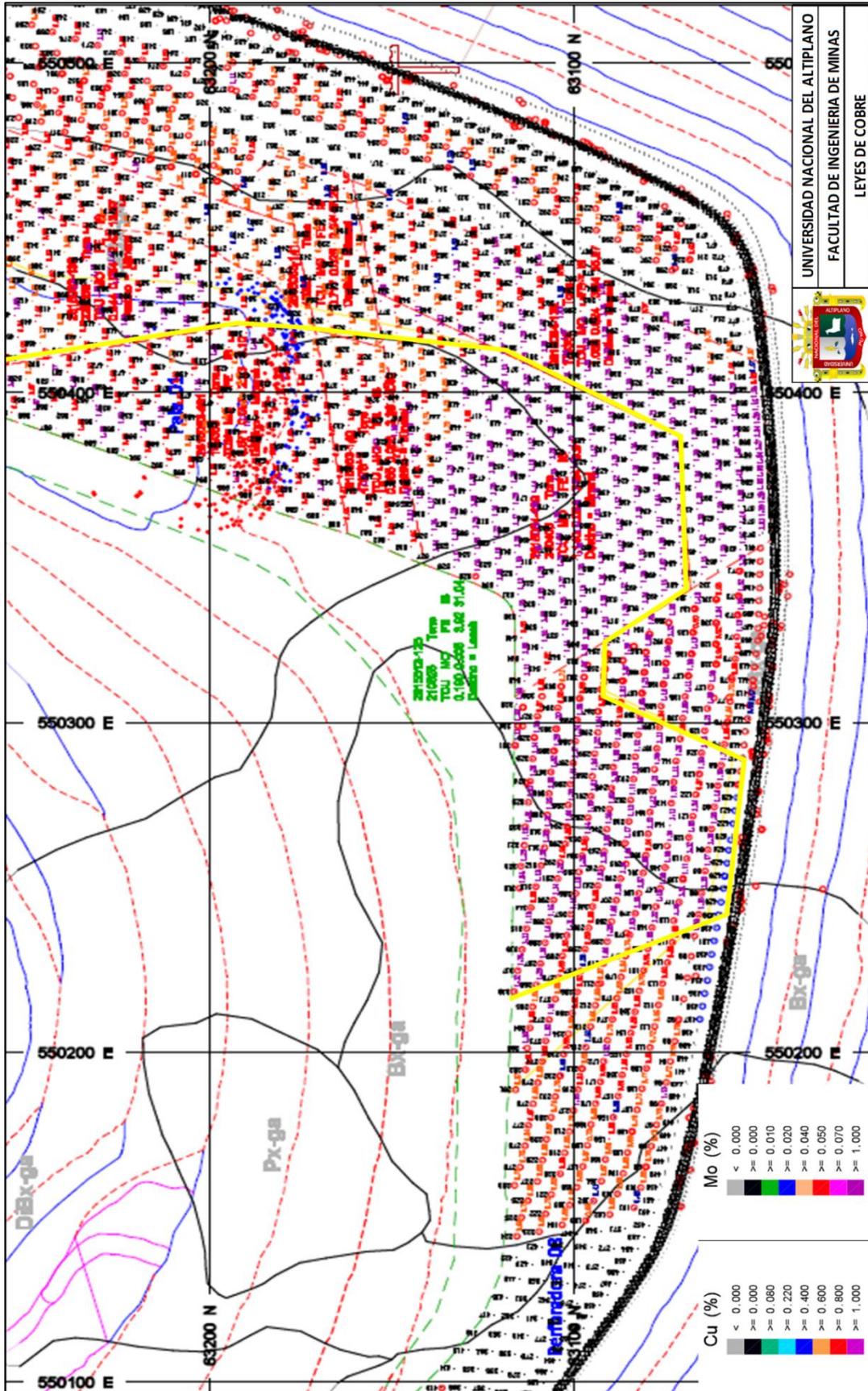
ANEXO 14: Material replanteado con polígonos de alta ley de cobre y molibdeno.



ANEXO 15: Stock acumulado con baja, media y alta ley de cobre y molibdeno



ANEXO 16: Plano topográfico identificado con leyes de cobre



ANEXO 17 : Plano topográfico identificado con leyes de molibdeno.

