

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“MODELAMIENTO Y DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN PARA CONTROLAR LA DILUCIÓN, EN TAJOS DE PRODUCCIÓN EN UNA MINA A CIELO ABIERTO 2021”

Tesis para optar el título profesional de
Ingeniero de Minas

Autores:

Enerio Campos Lopez
Ruben Lozano Quiliche

Asesor:

Mg. Ing. Daniel Alejandro Alva Huaman

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres, hermanos y amigos por

su apoyo, motivación y consejos para lograr

ser un profesional de éxito

AGRADECIMIENTO

*A la universidad privada del norte, en especial
a la escuela académico profesional de
ingeniería de minas y a su plana docente por
impartirme una sólida formación académica
para un futuro desempeño como profesional,
y así afrontar diversos retos que se presentará
en la vida laboral*

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ANEXOS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO III. RESULTADOS	19
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	31
ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ensayo N° 1.....	20
Tabla 2	Ensayo N° 2.....	22
Tabla 3	Ensayo N° 3.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Epitermal de alta sulfuración y las alteraciones hidrotermales.....	18
Figura 2	Dilución interna.....	19
Figura 3	Dilución externa.....	19
Figura 4	Descripción de ubicación y accesos del proyecto minero.....	21
Figura 5	Descripción de la geología regional del proyecto minero.....	22
Figura 6	Descripción de la litología del del tajo en el proyecto minero.....	23
Figura 7	Fenómenos probables para el tipo de roca y profundidad en la evaluación del control de la dilución.....	24
Figura 8	Fenómenos probables para el tipo de roca y profundidad en la evaluación del control de la dilución.....	24
Figura 9	Tajo zona este – ensayos 1,2,3.....	25
Figura 10	Modelamiento de la mala y los taladros de acuerdo a los resultados adquiridos en laboratorio (CASO N° 1)	27
Figura 11	Modelamiento de la mala y los taladros de acuerdo a los resultados adquiridos en laboratorio (CASO N° 2)	29
Figura 12	Modelamiento de la mala y los taladros de acuerdo a los resultados adquiridos en laboratorio (CASO N° 3)	31
Figura 13	Diseño de malla de perforación de acuerdo a los ensayos realizados...	32
Figura 14	Diseño de malla para realizar la voladura en el tajo y controlar la dilución y granulometría del tajo.....	33
Figura 15	Secuencia de voladura grabada por la cámara de alta velocidad en la operación minera	24
Figura 16	Producción mensual con la nueva malla de perforación.....	35

ANEXOS

Anexo N° 1	Radio de influencia en operaciones mina.....	41
Anexo N° 2	Comparación en la reducción de dilución en la operación en un minado planeado y ejecutado.....	42
Anexo N° 3	Tajo De Producción.....	43
Anexo N° 4	Equipos utilizados para el transporte de material a la chancadora.	44
Anexo N° 5	Proceso de carguío.....	45
Anexo N° 6	Parámetros utilizados para perforar el tajo.....	46
Anexo N° 7	Formatos normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q Y SMR.....	47
Anexo N° 8	Formatos normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q Y SMR.....	48

RESUMEN

En la explotación de minas, específicamente en la operación de perforación y voladura puede presentarse una dilución no controlada a consecuencia de un mal estudio geomecánico y un mal diseño de mallas en bancos.

Por lo tanto, el objetivo en la presente tesis, es realizar un control de la dilución en los tajos de producción durante la explotación de un yacimiento de alta sulfuración a Open Pit, al realizar ensayos geomecánicos con su respectivo diseño de malla para realizar la carga correspondiente de explosivos.

Todos los datos que recopilados fueron en base a salidas al campo, observación, check list, entrevistas y bibliografía revisada, así mismo también bases informativas tales como: Scielo, Alicia.net, Redalyc, Google Académico, artículos científicos, revistas científicas, papers y tesis.

Obteniendo como primer resultado realizados en el laboratorio geomecánico los valores a cuáles cales fueron sometidos las muestras encontradas en el primer punto determinando los parámetros a los cuales nos regiremos para realizar el proceso de P & V y poder tener un control de dilución y granulometría.

PALABRAS CLAVES: Dilución, geomecánica, diseño de malla.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial para el cumplimiento del proceso de explotación de labores mineras es necesario realizar y ejecutar de manera eficiente el proceso de perforación y voladura con mucha precisión para que los resultados del desplazamiento de las partículas fragmentadas de roca sean las adecuadas y por ende no se genere pérdidas de mineral, dilución o clasificación errónea (de baja ley a alta ley, desde sulfuro a óxido u otros contaminantes), ya que las consecuencia financiera de equivocarse en el rubro minero son significativas y minimiza toda la garantía y el control de calidad geológico efectuados en la definición del cuerpo mineralizado, cuidando el tema de costos que han encaminado de manera continua a tener mejores logros y para ello existe una tarea de carácter decisivo el cual consiste en definir el material que resulta ser económico (mineral) luego de ser minado y procesado de aquel material no económico (estéril) que tiene como destino los puntos distintos llamados desmonte. Es por eso que es fundamental controlar la pérdida mineral y la dilución para todas las operaciones mineras. obtener resultados erróneos puede significar que se pierdan decenas de millones de dólares en ingresos. (Paredes,2017)

En el Perú, en el rubro minero en el proceso de perforación y voladura, la dilución no siempre es un factor sistemáticamente analizado y calculado. A menudo es solo un número ajustado, por ejemplo, calculado o incluso determinado empíricamente para una determinada condición operativa que se perpetúa a lo largo del tiempo en forma de una constante aplicada al cálculo de las reservas o la planificación de la mina que cumple los requisitos socioeconómicos y ambientales es por ello que la dilución es un factor que siempre deben tenerse en cuenta para el tonelaje y las

estimaciones de ley, es por eso que en la actualidad las grandes empresas mineras que desarrollan sus operaciones en nuestro país se están preocupando por resolver este problema de la dilución que a largo plazo generan pérdidas económicas muy significativas (Kawamura, 2015)

Residuos de roca de bajo grado, inevitablemente retirados con el material en el proceso de minería, que contribuyen a bajar el grado del mineral explotado. La dilución minera, hace referencia al porcentaje de material estéril o de baja ley que se mezcla con el mineral producido por el método de explotación utilizado (Castro, 2017)

Están espacialmente relacionados con centros volcánicos y diatremas, generados por intrusiones magmáticas muy próximas a la superficie en conjunto con la mineralización. La mineralización y alteraciones ocurren cercanas a la superficie entre 500m a 2Km.

Por lo general la geometría del cuerpo mineralizado es pequeño y equidimensional. Con respecto a la temperatura de formación se encuentra entre 100°C a 320°C, sin embargo, se ha encontrado asociaciones de hasta 480°C (Castro, 2017)

Esta dilución operacional es la que se produce directamente por malas prácticas operacionales, ya sea de los operadores de los diferentes equipos de C&A, en la operación de estos equipos, o en los distintos trabajos de las operaciones unitarias. (Claudia Fernanda De Nicola – 2016)

Se entiende como dilución planificada aquella que proviene de la geología presente en el yacimiento (modelo geológico) y que se genera por la

planificación minera. (Claudia Fernanda De Nicola – 2016).

En la región de Cajamarca el proceso operativo de extracción existe un parámetro llamado dilución mineral que su control está siendo muy priorizado en la minería moderna, puesto que, una vez volado el material se produce una combinación de estéril con mineral, cuya existencia dificulta la eficiencia de los procesos siguientes y con mayor demanda económica.

Entre los causantes se menciona a la mala distribución de la carga explosiva, falta de supervisión y control, uso excesivo de carga en los macizos rocosos, factor humano, entre otros. (Castro ,2016)

La voladura tiene un papel fundamental en el control de la dilución. Deben ser diseñadas con absoluta precisión, de manera que fragmenten la roca, pero sin apenas moverla, separando, además, las zonas de material estéril de las que contienen minerales. Es importante realizar estudios de dilución para cuantificar y modelar el movimiento del material para prever las posibles alternativas en términos de energía, tiempos y secuencia de iniciación con que minimizar o eliminar posibles mezclas entre mineral y estéril, teniendo siempre bajo control los posibles efectos medioambientales que las voladuras pueden generar. (Maxan,2020)

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el modelamiento y diseño de malla de perforación para controlar la dilución en tajos de producción en una mina a cielo abierto en Cajamarca 2021?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Modelar y diseñar la malla de perforación para controlar la dilución en tajos de producción en una mina a cielo abierto en Cajamarca 2021

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades de la roca mediante ensayos geomecánicos.
- Modelar y diseñar la malla de taladros de perforación y voladura
- Estimar la reducción de costos
- Determinar el incremento de la producción en los tajos

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Se logrará controlar la dilución en los tajos de producción durante la explotación en base al estudio geomecánico y diseño de malla de perforación de un yacimiento de alta sulfuración en una mina a cielo abierto.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación.

Por el tipo de investigación, el presente trabajo es:

- Teórico descriptivo.

Puesto que, se ha tomado referencia a estudios de carácter similar, cuyas aportaciones y conocimientos plasmados y descritos por autores e investigadores anteriormente han sido base para el desarrollo de este estudio.

- Experimental.

Se basa en la manipulación de variables en condiciones altamente controladas, replicando un fenómeno concreto y observando el grado en que la o las variables implicadas y manipuladas producen un efecto determinado, en este caso se realizara un estudio geomecánicos insitu del tajo y un diseño de las mallas para obtener una voladura controlada, con el cual se pretende disminuir y controlar la dilución del mineral. (Sampieri, 2017).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

- **Población**

Tres tajos en un proyecto open pit donde se viene teniendo grandes problemas de dilución en sus operaciones.

- **Muestra**

Un tajo de sulfuros en un proyecto minero open pit.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

- **Técnicas de recolección.**

Observación directa.

Donde se podrá observar y tomar datos en campo como la longitud de carga, taco, diseño de malla de perforación, polígonos de perforación, distribución de taladros, tipo de explosivo, características de macizo rocoso, tipo de yacimiento.

- Se hará simulaciones de perforación y voladura por medio del minesight para la distribución de taladros y diseño de malla de acuerdo a los estudios geomecánicos realizados.
- Se programará la ejecución de P&V de acuerdo a características geomecánicas, geológicas y ambientales, en los cuales se canalice la información para reducir la mezcla de mineral con el estéril.
- Con los datos obtenidos se procederá a analizar, interpretar y rediseñar el proceso de Perforación y voladura para poder controlar la dilución de mineral.

Entrevista.

Estuvimos en constante comunicación con el personal de campo y la supervisión del área de perforación, así mismo los puntos que no teníamos acceso se lo solicitamos directamente al área de perforación y voladura y operaciones mina.

- **Check list.**

Estos check list no ayudaron a verificar que los equipos estén operativos antes de su instalación en los taladros perforados.

- **Formatos y permisos.**

Estos formatos y permisos son documentos principales para proceder con el trabajo y la instalación de explosivos.

Instrumentos

Formatos geomecánicos. Ver anexos

materiales

- GPS
- Accesorios de P&V
- Explosivos
- Camión cuadra

2.4. Procedimiento

Búsqueda de información:

Se buscó literatura científica donde refleja el uso de bases informativas tales como: scielo, alicia.net, ciberthesis, redalyc, science, google académico, concitec; de los cuales se han filtrado fuentes más relevantes entre artículos científicos, revistas científicas, papers y tesis.

Trabajo de campo.

En el área de operaciones se harán voladuras in situ para constatar la intrusión de material estéril al mineral; hacer muestreo para comprobar a cuánto asciende tal parámetro. Se seguirá las condiciones establecidas en las simulaciones con minesight, en coordinación con el área de geomecánica y geotecnia con el fin de obtener un material volado con la mínima dilución.

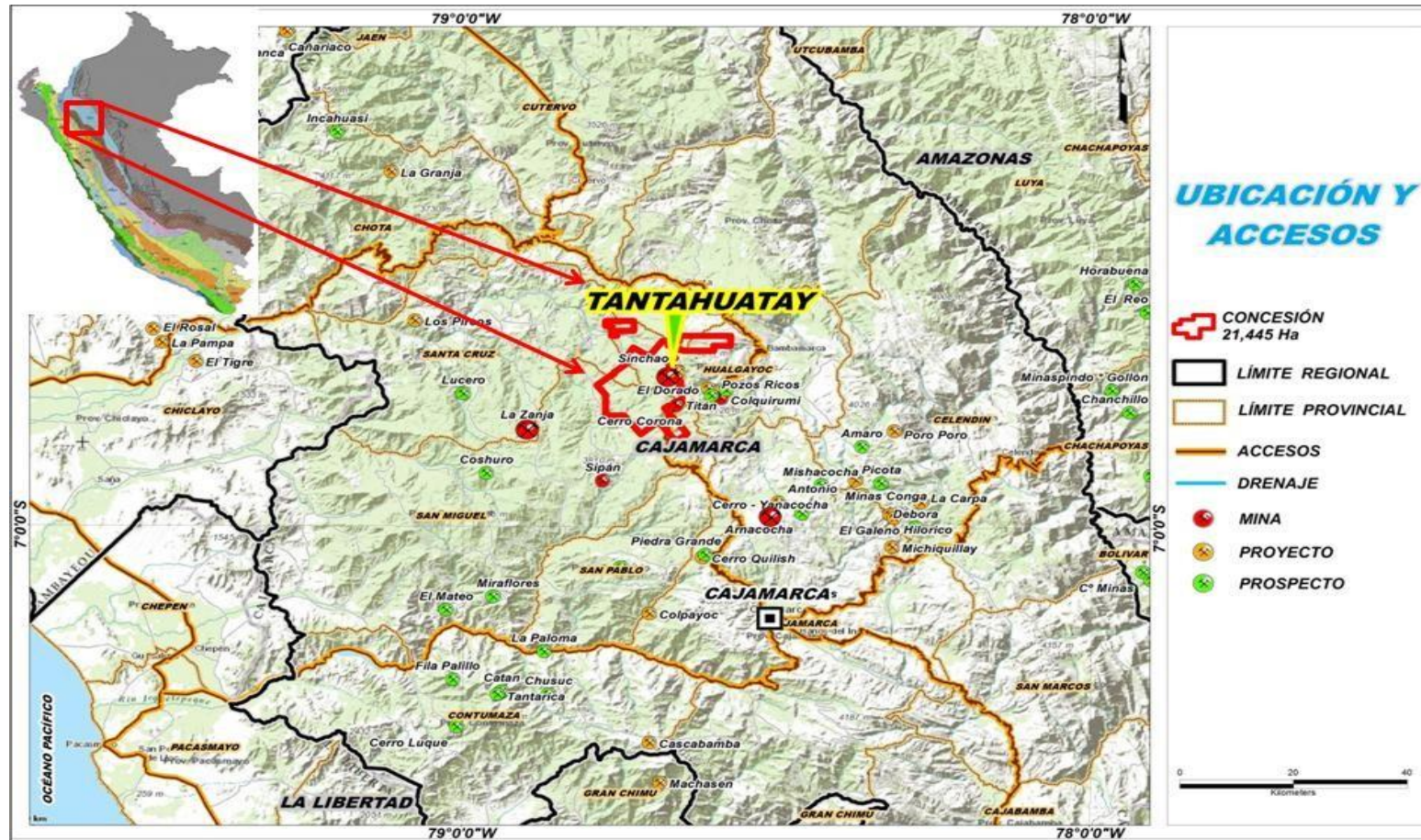
Trabajo de Gabinete:

Se hará uso de herramientas técnicas (Excel) y software minero (minesight) para hacer simulaciones de perforación y voladura, a partir de los cuales se podrán establecer y mejorar los parámetros en que se fundamenta el área de operaciones.

Finalmente, se procesarán los datos modelados y tomados en campo a fin de fijar todos los estándares de P&V; consecuentemente su análisis e interpretación.

2.5. Ubicación

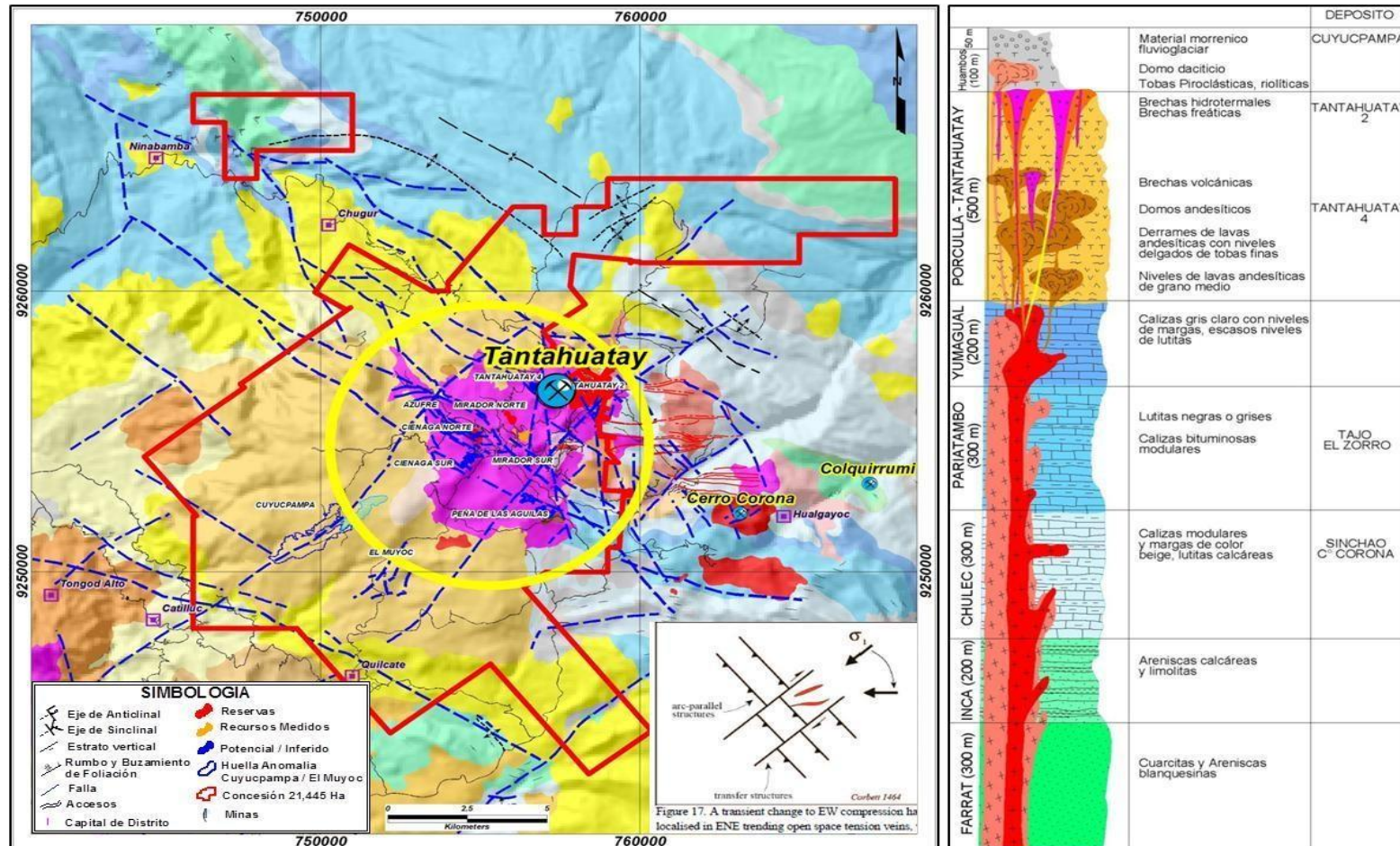
Ubicación y accesos del proyecto minero.



Fuente: Tecnología e Investigación - 2020

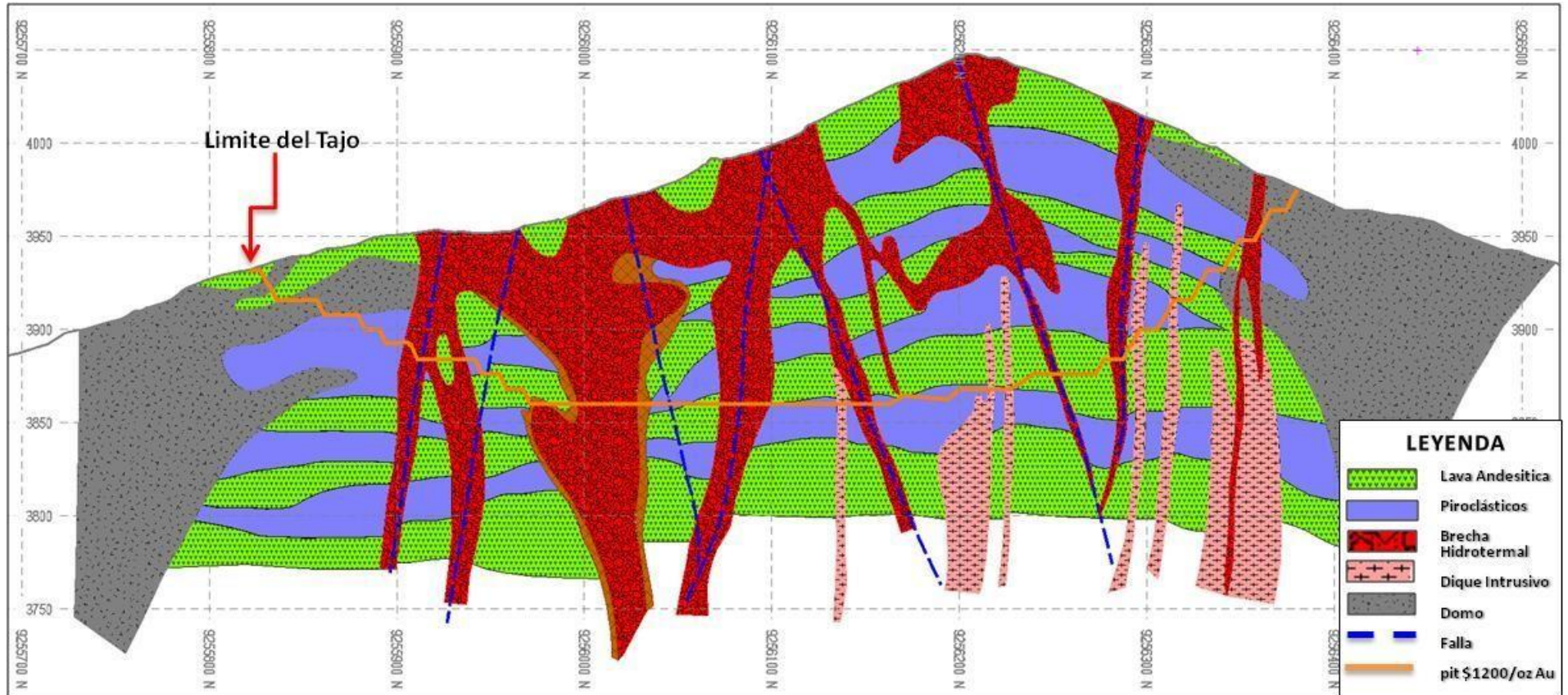
2.6. Geología

Descripción de la geología regional del proyecto minero.



Fuente: Tecnología e Investigación – 2020

2.7. Litología del tajo en el proyecto minero.



Fuente: Tecnología e Investigación – 2020

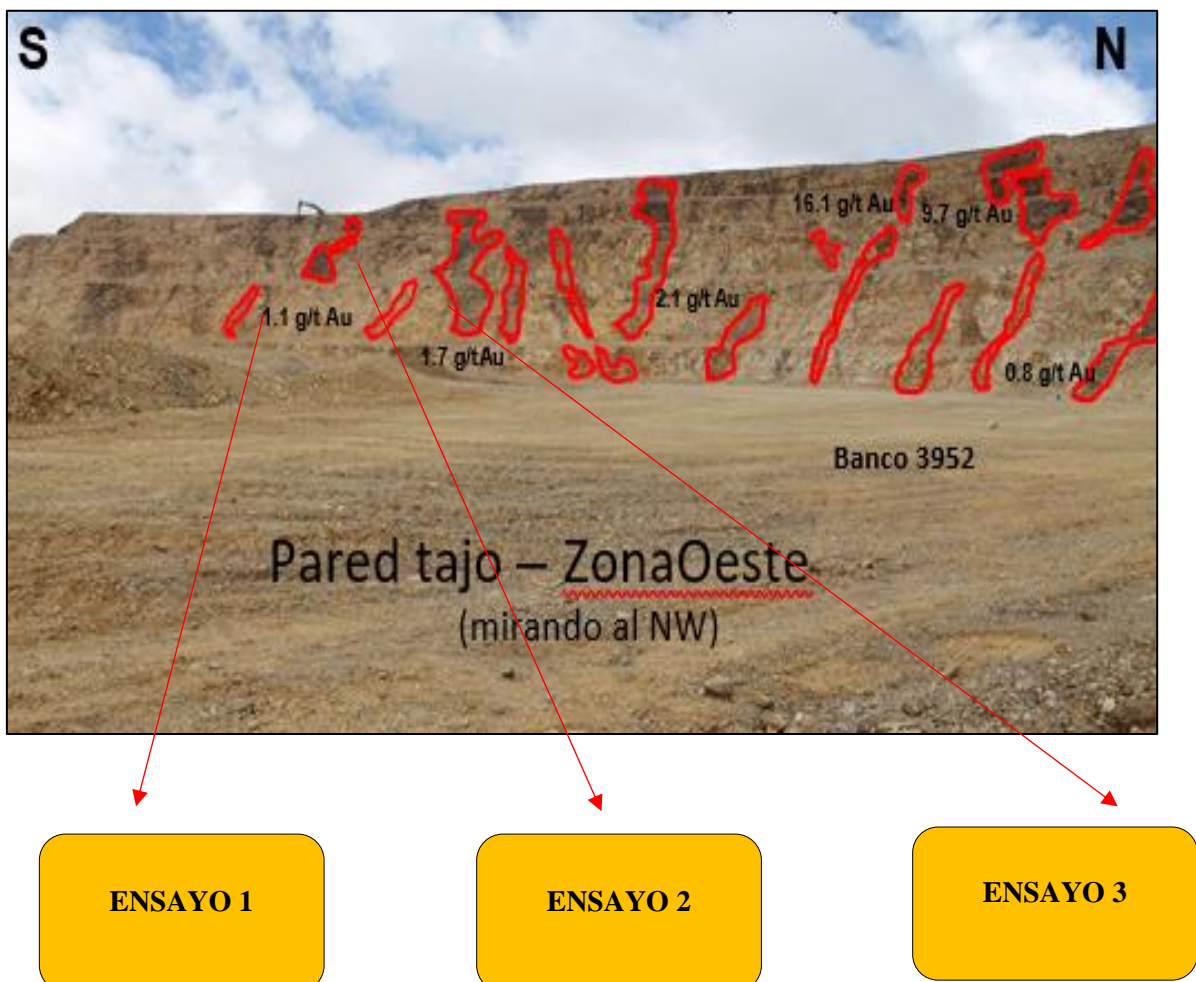
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Determinación del tipo de roca

El estudio se basó en tres ensayos geomecánicos para determinar el tipo de roca en base a pruebas y valores que se adquirieron en laboratorio para luego determinar el tipo de explosivo y las cantidades a utilizar adecuado y controlar la dilución de acuerdo a los parámetros establecidos en los tajos de producción así mismo un previo modelamiento de una malla de perforación para el tajo a volar.

FIGURA N° 9. Ubicación de los ensayos geomecánicos

Tajo zona este – ensayos 1,2,3



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 1

ENSAYO N° 1

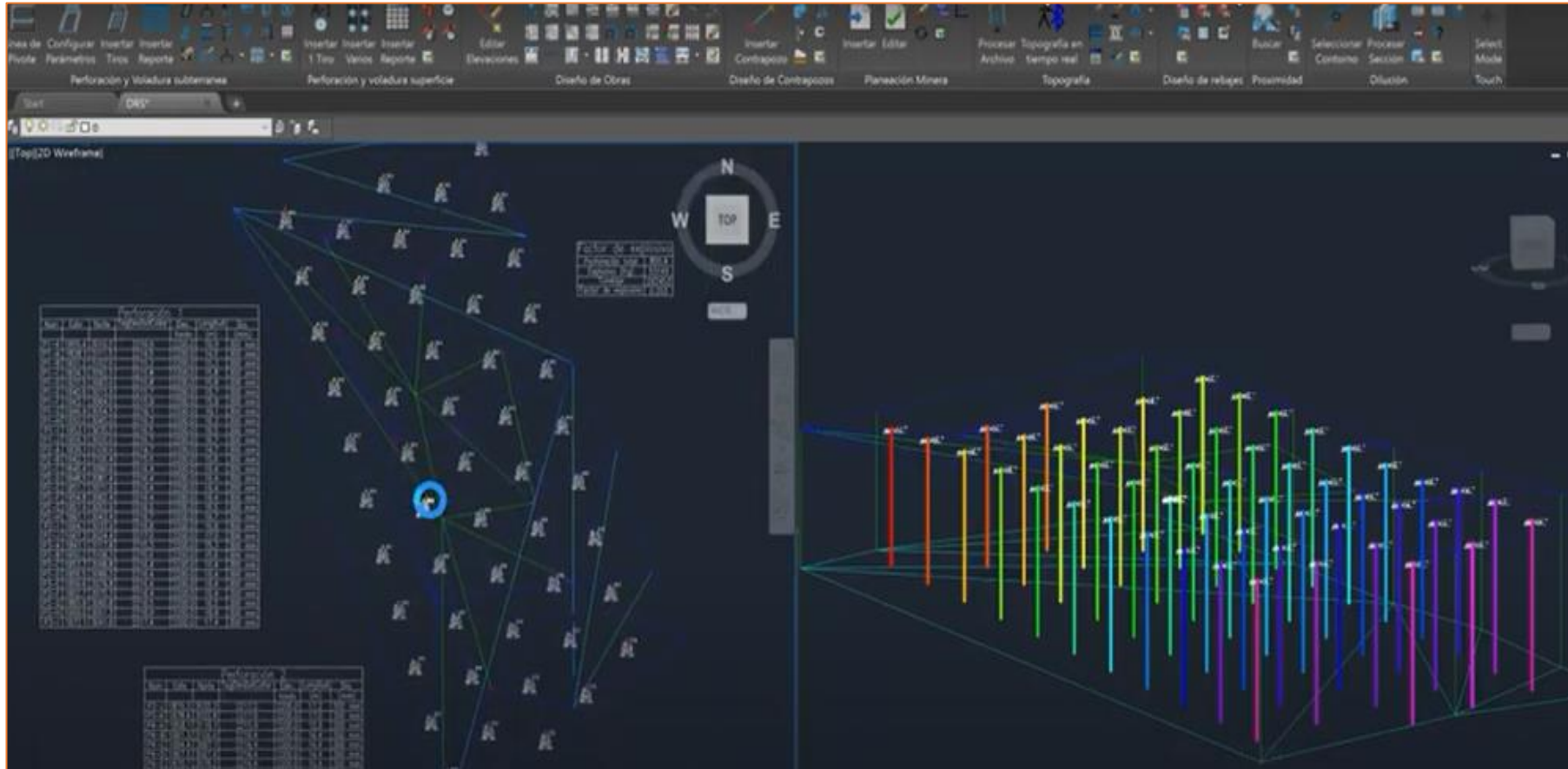
PROPIEDADES ENCONTRADAS EN LABORATORIO(FÍSICAS)	RANGO DE LA ROCA
Densidad seca (gm/cm ³)	De 2.65 a 2.79
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	De 2.65 a 2.80
Porosidad Aparente (%)	De 0.33 a 1.72
Absorción (%)	De 0.33 a 1.72
Peso Específico Aparente (KN/ cm ³)	De 25.93 a 27.39
Resistencia a la comprensión simple (kg/cm ²)	De 667.05 a 2034.78
Resistencia a la comprensión simple (MPa)	De 66.35 a 204.31
Módulo de Young (GPa)	De 7.50 a 14.62
Poisson	De 0.29 a 0.31
Resistencia a la Tracción (MPa)	79.4 a 268.2
(mi)	19.31 a 29.15
Angulo de Fricción Interna (“)	De 42.84” a 58.04”
Cohesión (MPa)	De 15.07 a “(.16)

Fuente: Elaboración propia

- Los resultados de laboratorio **DEL PRIMER ENSAYO** indican valores correspondientes a rocas del tipo **REGULAR**; las propiedades física indican una densidad promedio de **2.7** que corresponde a una muestra de roca compacta, típica de un intrusivo de granodiorita fresca a ligeramente alterada (un cuerpo compacto es, por lo general, más denso que otro más disperso); porosidad baja con un promedio de **0.79%** en todo los casos menor a **1.7 %** debido a su condición cristalina masiva; y una absorción igualmente muy baja de promedio **0.29%** en comparación con rocas sedimentarias; el peso específico (como unidad de fuerza por unidad de volumen) de **25.93 a 27.39 KN/m³** es alta en comparación con rocas alteradas o meteorizadas.

FIGURA N° 10

Modelamiento de la malla y los taladros de acuerdo a los resultados adquiridos en laboratorio (CASO N° 1)



Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 2

ENSAYO N° 2

PROPIEDADES ENCONTRADAS EN LABORATORIO(FÍSICAS)	RANGO DE LA ROCA
Densidad seca (gm/cm ³)	De 2.67 a 2.99
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	De 2.67 a 2.80
Porosidad Aparente (%)	De 0.33 a 1.85
Absorción (%)	De 0.23 a 1.72
Peso Específico Aparente (KN/ cm ³)	De 24.93 a 27.39
Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	De 666.05 a 2034.78
Resistencia a la compresión simple (MPa)	De 66.35 a 204.39
Módulo de Young (GPa)	De 7.59 a 14.62
Poisson	De 0.29 a 0.38
Resistencia a la Tracción (MPa)	79.9 a 268.1
(mi)	19.39 a 29.95
Angulo de Fricción Interna (“)	De 42.81” a 58.07”
Cohesión (MPa)	De 15.03 a “(.19)

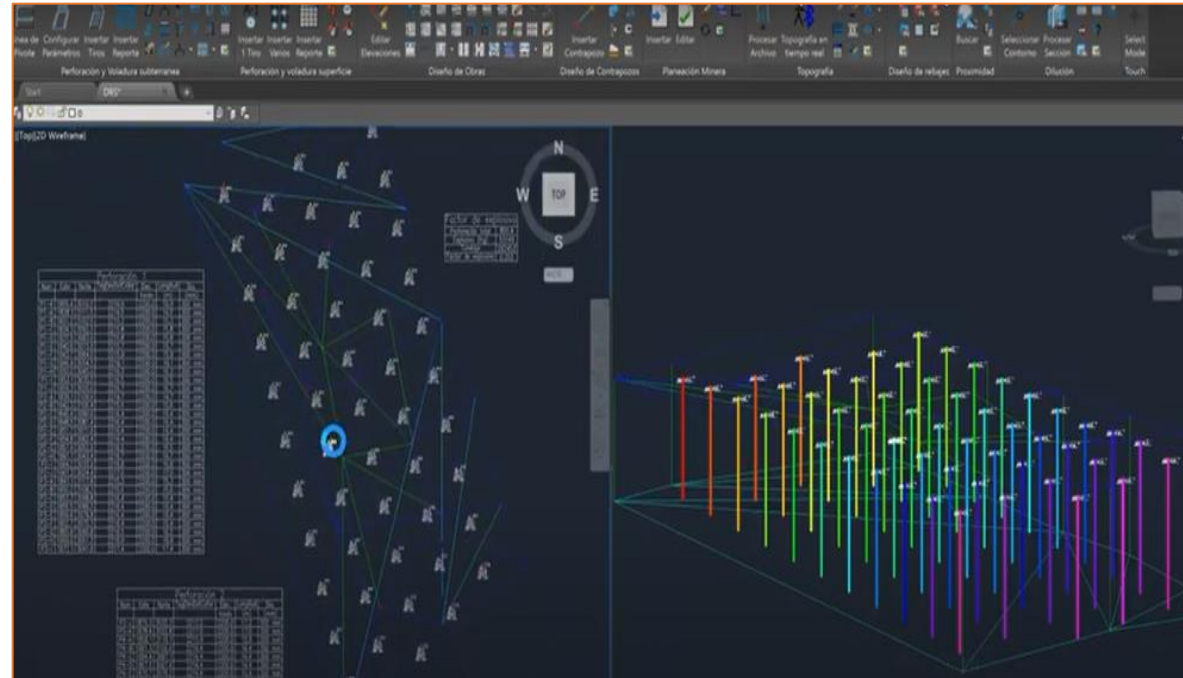
Fuente: Elaboración propia

RESULTADO DEL SEGUNDO CASO:

- Los resultados de laboratorio **DEL SEGUNDO ENSAYO** indican valores correspondientes a rocas del tipo **REGULAR**; las propiedades física indican una densidad promedio de **2.9** que corresponde a una muestra de roca compacta, típica de un intrusivo de granodiorita fresca a ligeramente alterada (un cuerpo compacto es, por lo general, más denso que otro más disperso); porosidad baja con un promedio de **0.89%** en todo los casos menor a **1.8 %** debido a su condición cristalina masiva; y una absorción igualmente muy baja de promedio **0.23%** en comparación con rocas sedimentarias; el peso específico (como unidad de fuerza por unidad de volumen) de **24.93 a 27.39 KN/m³** es alta en comparación con rocas alteradas o meteorizadas.

FIGURA N° 11

Modelamiento de la malla y los taladros de acuerdo a los resultados adquiridos en laboratorio (CASO N° 2)



Fuente: Elaboración propia

Para el segundo ensayo se llegó a conclusión de realizar una malla de perforación que conste de 54 taladros tal y como se muestra en el software de modelamiento para no malograr la granulometría del material volado y tener el control adecuado de la dilución el tajo de estudio.

TABLA N° 3

ENSAYO N° 3

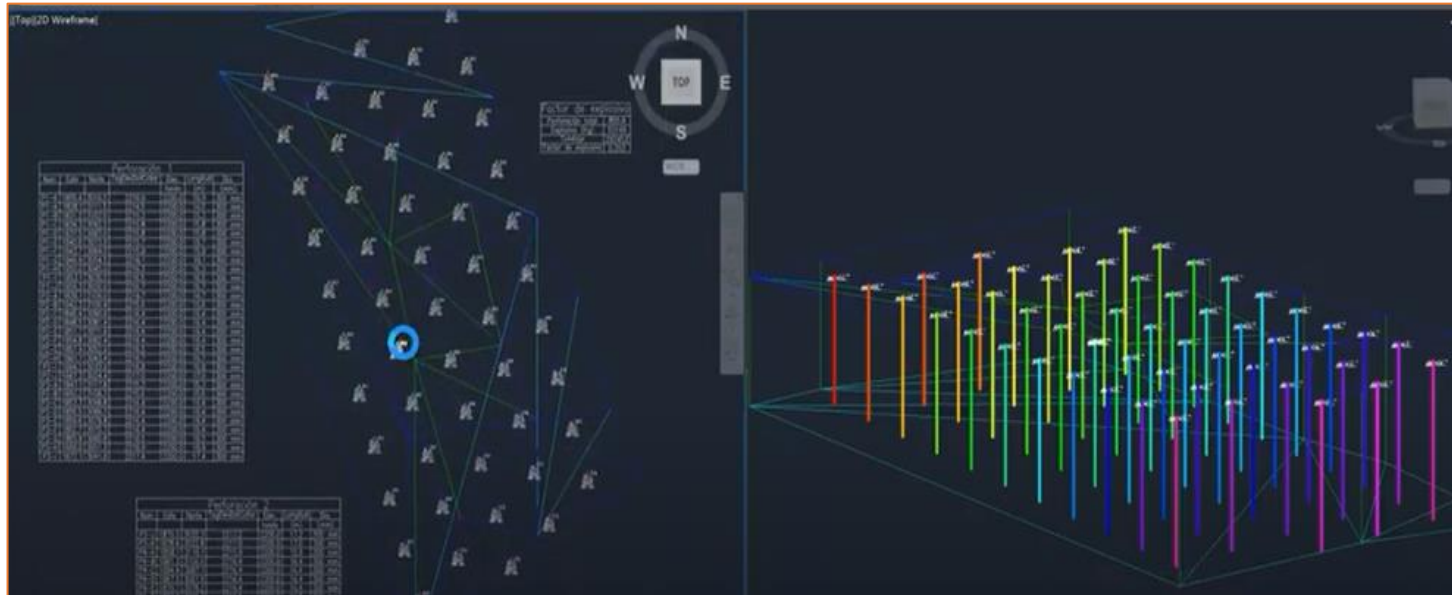
PROPIEDADES ENCONTRADAS EN LABORATORIO(FÍSICAS)	RANGO DE LA ROCA
Densidad seca (gm/cm ³)	De 2.57 a 2.59
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	De 2.37 a 2.80
Porosidad Aparente (%)	De 0.33 a 1.55
Absorción (%)	De 0.53 a 1.52
Peso Específico Aparente (KN/ cm ³)	De 25.93 a 27.39
Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	De 666.05 a 2035.78
Resistencia a la compresión simple (MPa)	De 65.35 a 204.39
Módulo de Young (GPa)	De 7.55 a 14.62
Poisson	De 0.23 a 0.38
Resistencia a la Tracción (MPa)	79.9 a 268.3
(mi)	19.32 a 29.95
Angulo de Fricción Interna (“)	De 42.81” a 58.02”
Cohesión (MPa)	De 15.03 a “(.19)

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de laboratorio **DEL TERCER ENSAYO** indican valores correspondientes a rocas del tipo **REGULAR**; las propiedades física indican una densidad promedio de **2.6** que corresponde a una muestra de roca compacta, típica de un intrusivo de granodiorita fresca a ligeramente alterada (un cuerpo compacto es, por lo general, más denso que otro más disperso); porosidad baja con un promedio de **33%** en todo los casos menor a **2.3 %** debido a su condición cristalina masiva; y una absorción igualmente muy baja de promedio **0.53%** en comparación con rocas sedimentarias; el peso específico (como unidad de fuerza por unidad de volumen) de **25.93 a 27.39 KN/m³** es alta en comparación con rocas alteradas o meteorizadas.

FIGURA N° 12

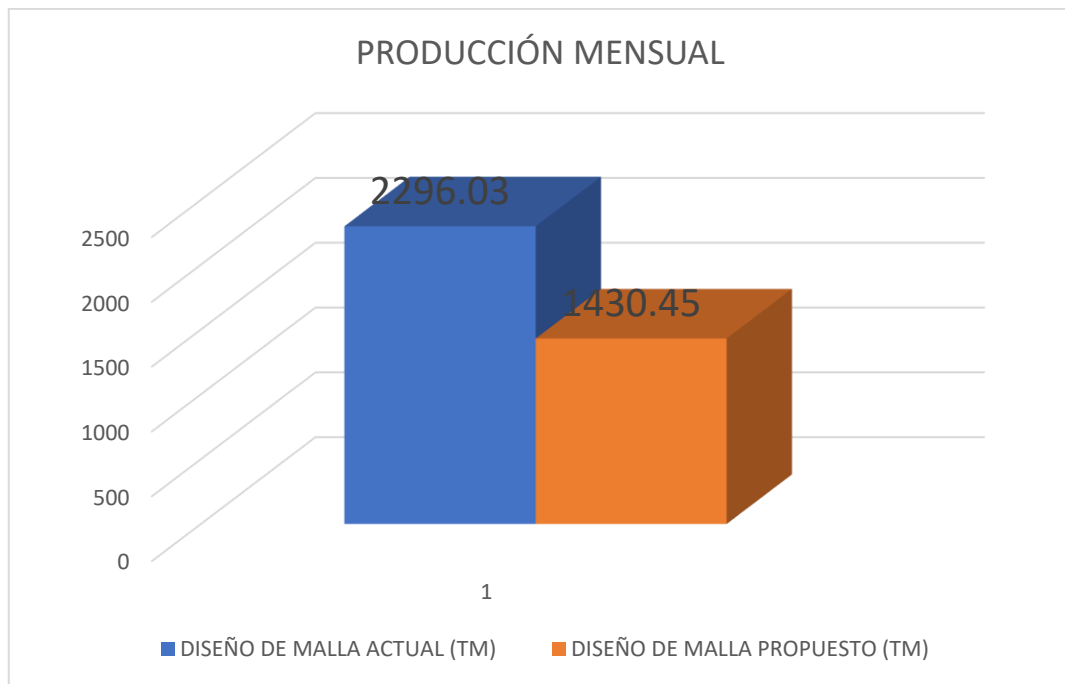
Modelamiento de la malla y los taladros de acuerdo a los resultados adquiridos en laboratorio (CASO N° 3)



Fuente: Elaboración propia

Para el tercer ensayo se llegó a conclusión de realizar una malla de perforación que conste de 53 taladros tal y como se muestra en el software de modelamiento para no malograr la granulometría del material volado y tener el control adecuado de la dilución el tajo de estudio tenido en cuenta la parte y el área a ser volada y basándonos en los datos geomecánicos que se encontraron el laboratorio.

Con la nueva malla creada en nuestra la optimización de perforación y voladura, genera una reducción de 2296.03 a 1430.45 que significa 34.7% de incremento por sobre rotura. Por lo tanto, la granulometría es la indicada y el control de dilución está cumpliéndose a cabalidad de acuerdo al modelo establecido en el plan de voladura y perforación.



Producción mensual con la nueva malla de perforación.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

- Dentro de los resultados se encontró que la generación de dilución se produce en 2 maneras, planificada y no planificada. La primera se debe a que los factores controlables por el personal no cumplen sus funciones a cabalidad o porque estos son inexpertos en el manejo de software o manipulación de equipos usados para el diseño y programación de perforación y voladura. Y la dilución no planificada se está produciendo en la operación por la forma de trabajo empírica que tiene la mayoría de operadores y supervisores y no se está realizando un estudio básico de rocas en el laboratorio geomecánico.

Dentro de la producción se logró mejorar el control de dilución de mineral ya que principalmente se hizo el estudio de perforación y voladura donde se llegó a detectar que este proceso se estaba realizando de forma empírica y no con un debido y adecuado estudio geomecánicos y por ende se estaba produciendo errores y pérdidas económicas muy significativas en la producción, y esto quiere decir que se ha producido errores manuales operacionales profesionales en el manejo de equipo para tal actividad, al igual que existe errores en los parámetros de P&V como los polígonos de perforación.

Se logró realizar tres ensayos para reducir y controlar la dilución de un 5% de pérdida de mineral a una dilución de 3% y recuperando el 2% de mineral para el ingreso a la chancadora. En tal sentido, se está cumpliendo con el objetivo principal de nuestra tesis que fue la de controlar la dilución en tajos de producción de alta sulfuración con un adecuado estudio geomecánico de rocas, un diseño adecuado de una malla de

perforación y respectivamente una adecuada distribución de explosivos para la fragmentación de roca.

Se logró implementar un sistema de estándares para el diseño de mallas de perforación donde se da prioridad a los valores y parámetros de un buen estudio geomecánico de rocas.

Dentro de las limitaciones tenemos, la falta de información de los tajos para su respectivo minado, difícil ingreso al área de operaciones en temporada de lluvia, falta de información del software minesight en aplicación para el trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

A partir de los hallazgos encontrados aceptamos la hipótesis general que nos planteamos para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación que establece que se logrará controlar la dilución en los tajos de producción durante la explotación minera en base al estudio geomecánico y diseño de malla de perforación de un yacimiento de alta sulfuración en una mina a cielo abierto.

- Concluimos nuestra tesis con el siguiente concepto que un proyecto minero se debe dar prioridad a los cálculos geomecánicos los cuales se debe de enfatizar con personal experto y seguir un proceso más riguroso, en diseños de perforaciones eficientes en los cuales se debe realizar un sistema de diseño lo más ajustado posible, especialmente en el factor de carga de explosivo, también por el carguío de mineral lo cual se controla con la estimación correcta de la flota de camiones y palas para tal actividad; todos estos factores deben ser planeados de forma idónea para tener un control adecuado de la dilución de mineral al momento de realizar de proceso de P&V.

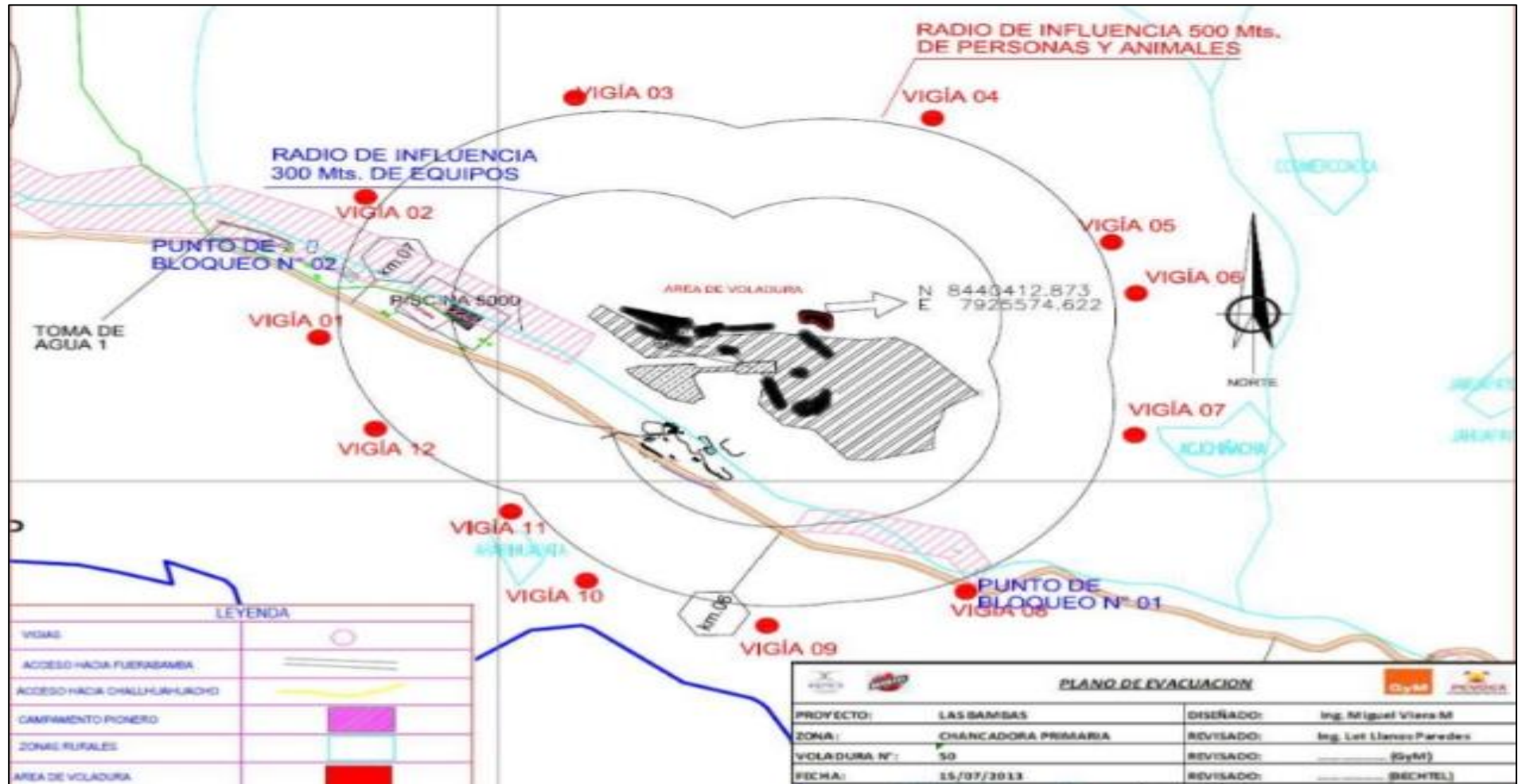
REFERENCIAS

- Castro, R., & Paredes, P. (2017). Empirical observations of dilution in panel. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 1 - 8. Recuperado el 16 de Setiembre de 2018, de http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-
- De Nicola, C. F. (2015). Dilución Operacional En Mina El Soldado. (Tesis de Titulación). Universidad de Chile. Chile: Dirección de Servicios de Información y Bibliotecas (SISIB) .
- Henning, J., & Mitri, H. (2017). Numerical modelling of ore dilution in blasthole stoping. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 3 - 12. Recuperado el 17 de Setiembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160906001729>
- Hyongdoo, J., Topal, E., & Kawamura, Y. (2015). Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neuro-fuzzy system. Applied Soft Computing,
- Jang, H., Topal, E., & Kawamura, G. (2015). Unplanned dilution and ore loss prediction in longhole stoping mines via multiple regression and artificial neural network analyses. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy
- Renata, T., & De Lemos, R. (2016). Quantifying dilution. Ouro Preto, 1 - 4. Recuperado el 16 de Setiembre de 2018, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-

ANEXOS

ANEXO N° 1

Radio de influencia en operaciones mina



ANEXO N° 2

Comparación en la reducción de dilución en la operación en un minado planeado y ejecutado

PLANEADO						EJECUTADO					
TAJO G-1250 V4 86 AM	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag oz/t	Tonelaje	TAJO G-1250 V4 86 AM	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag oz/t	Tonelaje
ENERO	0.47	3.02	6.50	1.48	848	ENERO	0.43	2.78	5.93	1.34	855
FEBRERO	0.47	3.02	6.50	1.48	1298	FEBRERO	0.48	2.97	6.38	1.44	1417
MARZO	0.47	3.02	6.50	1.48	1015	MARZO	0.43	2.81	6.04	1.38	1048
TAJO G-1100 V3T 169 AZ						TAJO G-1100 V3T 169 AZ					
ENERO	0.83	1.18	3.42	1.18	1118	ENERO	0.78	1.07	3.11	1.08	1184
FEBRERO	0.83	1.18	3.42	1.18	1283	FEBRERO	0.89	1.28	3.68	1.24	1444
MARZO	0.83	1.18	3.42	1.18	1562	MARZO	0.86	1.22	3.54	1.20	1815
TAJO G-1100 V2P 134 AZ						TAJO G-1100 V2P 134 AZ					
ENERO	0.29	1.58	7.68	1.10	1147	ENERO	0.25	1.31	6.44	0.92	1212
FEBRERO	0.29	1.58	7.68	1.10	860	FEBRERO	0.27	1.43	7.01	1.00	863
MARZO	0.29	1.58	7.68	1.10	1319	MARZO	0.29	1.54	7.57	1.09	1493

ANEXO N° 3

Tajo De Producción



ANEXO N° 4

Equipos utilizados para el transporte de material a la chancadora



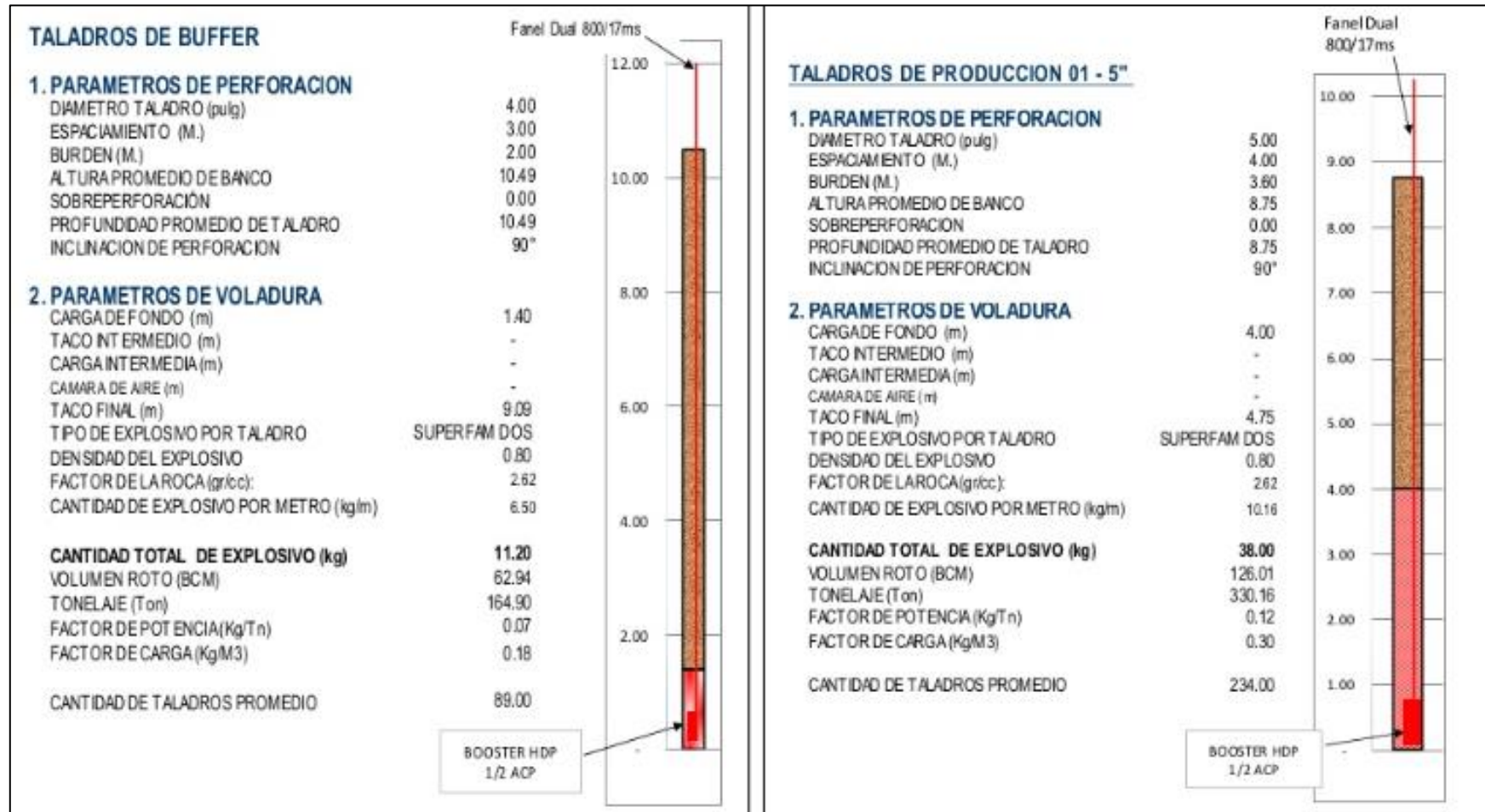
ANEXO N° 5

Proceso de carguío




ANEXO N° 6

Parámetros utilizados para perforar el tajo



ANEXO N° 7

Formatos normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q Y SMR



GiMroc
Grupo de Investigación
de Mecánica de Rocas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DEL TERRENO
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE I.C.C.P.
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS Datos de Campo

Proyecto: _____

Operador: _____ Fecha: _____

Observaciones: _____

Croquis / Gráficos / Notas

Datos Estación Geomecánica

Datos Información Geológica

ALTERACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA

Ia	F	Roca sana o fresca	-	<input type="checkbox"/>
Ib	F	Debil descomposición en juntas principales	-	<input type="checkbox"/>
II	SW	Ligeramente alterada	< 10 %	<input type="checkbox"/>
III	MW	Bastante alterada	10 - 50	<input type="checkbox"/>
IV	HW	Muy alterada	50 - 90	<input type="checkbox"/>
V	CS	Completamente alterada	> 90 %	<input type="checkbox"/>
VI	RS	Roca descompuesta	100 %	<input type="checkbox"/>

OTROS TIPOS DE ALTERACIÓN FUERA DE LA ESCALA ISRM:

CONDICIONES GENERALES - r_u

Completamente seco	<input type="checkbox"/>	$r_u = 0$
Húmedo	<input type="checkbox"/>	$0 - 0,1$
Mojado	<input type="checkbox"/>	$0,1 - 0,2$
Gotando	<input type="checkbox"/>	$0,2 - 0,5$
Fluyendo	<input type="checkbox"/>	$r_u > 0,5$
Agua a presión	<input type="checkbox"/>	$r_u > 0,5$

FLUJO EN EXCAVACIONES

Seca o filtraciones locales (menos de 5 l/min)	<input type="checkbox"/>	< 1
Fil. medio o agua a presión, lavados ocasionales de rocas	<input type="checkbox"/>	1 - 2,5
Grandes o agua a gran presión, roca compacta, juntas sin relleno	<input type="checkbox"/>	2,5 - 10
Grandes o agua a gran presión, con lavados de rocas	<input type="checkbox"/>	> 10

Excepcionalmente alta, ocasionalmente con el tiempo.
Excepcionalmente alta, montado.

RAZÓN DE PRESIONES INTERSTICIALES $r_u = \frac{u}{\sigma_v}$

ESTACIONALIDAD: SI Δ? No

RED DE DISCONTINUIDADES

Ia	Massivo, sin juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>
Ib	Massivo, con juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>
II	Una familia	<input type="checkbox"/>
III	Una familia y ocasionales	<input type="checkbox"/>
IV	Dos familias	<input type="checkbox"/>
V	Dos familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>
VI	Tres familias	<input type="checkbox"/>
VII	Tres familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>
VIII	Cuatro o más familias	<input type="checkbox"/>
IX	Roca triturada, asuelo	<input type="checkbox"/>

DIACLASADO

Ia	Massivo, sin juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>
Ib	Massivo, con juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>
II	Una familia	<input type="checkbox"/>
III	Una familia y ocasionales	<input type="checkbox"/>
IV	Dos familias	<input type="checkbox"/>
V	Dos familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>
VI	Tres familias	<input type="checkbox"/>
VII	Tres familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>
VIII	Cuatro o más familias	<input type="checkbox"/>
IX	Roca triturada, asuelo	<input type="checkbox"/>

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

MARTILLO DE SCHMIDT N° determinaciones realizadas: _____

N° determinaciones tomadas (Una eliminar las estrías inferiores)

Valor modal	
Valor medio	

COMPRESIÓN UNIAxIAL ENSAYADA EN LABORATORIO

C_o (MPa) _____

Tipo de muestra: _____

CARGA PUNTUAL

> 10 MPa	
10 - 4	
4 - 2	
2 - 1	
< 1 MPa	

I_s (50) _____

Tipo de probeta

ÍNDICE MANUAL (Martillo geólogo)

No rompe, solo saltan astillas

Rompe con muchos golpes

Rompe con más de un golpe

Rompe con un golpe

Se indenta la punta

Se machaca con un golpe

Idem y se raya con la uña

VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO

> 250 MPa	Muy alta	<input type="checkbox"/>
250 - 100	Alta	<input type="checkbox"/>
100 - 50	Media	<input type="checkbox"/>
50 - 25	Baja	<input type="checkbox"/>
25 - 5		<input type="checkbox"/>
5 - 1	Muy baja	<input type="checkbox"/>
< 1 MPa		<input type="checkbox"/>

CLAVES

Censado de diaclasas adjunto: SI No

Estratificación	E	Compresión	Cs	Estalictos	EL
Esquistosidad	S	Tracción	Tt	Disoluciones	DI
Foliación	F	Corte	Cr	Slickensides	SI
Juntas	J	Flexión	Fx	Volcánicas	V

Persistente P | Subpersistente S | No persistente N

Muy separadas	> 2,00 m	MS
Separadas	2,00 - 0,60 m	S
Medianamente separadas	0,60 - 0,20 m	X
Próximas	0,20 - 0,06 m	P
Muy próximas	< 0,06 m	MP

$\downarrow = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{4} \rightarrow \frac{1}{8} \rightarrow \frac{1}{16} \rightarrow \frac{1}{32} \rightarrow \frac{1}{64}$

Muy rugosa	M	1° nivel:	2° nivel:		
Rugosa	R	Escalonada	E	Rugosa	R
Algo rugosa	A	Ondulada	O	Lisa	L
Suave	S	Plana	P	Pulida	P
Señales de pulido	P				

Cerrada	< 0,1 mm	C
Algo abierta	0,1 - 1,0 mm	L
Abierta	1,0 - 5,0 mm	A
Muy abierta	> 5 mm	M

Acoplada A | No - unidireccional U | No - bidireccional B

Sin relleno	S	Arenoso	A	LL < 30	CH
Puentes de roca	P	Silicatos	I	LL > 30	CL
Cementación	C	Mica/Clorita	M	Expansivo	Ce
Brecha de falla	F	Solubles	L	Arenoso	SC
Otros:					O

Para el flujo de agua y el estado de bordes, utilizar el mismo método que para la matriz rocosa.

NOTAS:

CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5
Tipo / Génesis:					
Dirección del buzamiento:					
Buzamiento:					
Continuidad:					
Rango:					
Modal:					
Medio:					
General:					
F° nivel:					
F° nivel:					
JRC:					
Rango:					
Modal:					
Medio:					
Acoplamiento:					
SI / No:					
Tipo:					
C. Gral.:					
Estac.:					
Alteración:					
Resistencia:					
RQD:					
Medido en sondeo:					
Estimado:					
Palmitron: RQD = 115 - 3,3.J ₁ = _____					
VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO:					

ANEXO N° 8

Formatos normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q Y SMR

CLASIFICACIÓN RMR - Criterios de valoración de parámetros

> 250 MPa	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1 MPa
15	12	7	4	2	1	0

$V_{P2} = 0,1 C_0$ $V_{P1} = 1 + 0,1 C_0$

100 - 90 %	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25 %
20	17	13	8	3

$V_{P2} = 0,20 RQD$ $V_{P1} = 2 + 0,15 RQD$ $V_{P3} = 3 + 0,10 RQD$

> 2,00 m	2,00 - 0,80	0,80 - 0,30	0,30 - 0,06	< 0,06 m
20	15	10	8	5

V_{P3}

SECO	HUMEDO	MOJADO	GOTEANDO	FLUYENDO
15	10	7	4	0

$V_{P3} = 10 \cdot \text{Log}(1/R_r) - 1,5$

(Bieniowski, 1989) (Wibson et al, 1972)

F	PERPENDICULAR	PARALELO	CUALQUIERA
Muy favorable	0 β_1 45-90		
Favorable	-2 β_1 20-45		
Medio	-5 β_1 45-90	β_1 20-45	β_1 00-20
Desfavorable	-10 β_1 20-45		
Muy Desfavorable	-12	β_1 45-90	

β_1 = Ángulo de discontinuidad

(Bieniowski, 1989) (Romano, 1993)

CONTINUIDAD	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
APERTURA	0 mm	< 0,10	0,10 - 1	1 - 5	> 5 mm
	6	5	4	1	0
RUGOSIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Algo rugosa	Lisa	Con estrías
	6	5	3	1	0
RELLENO	Ninguno	Duro (> 5 mm)	Duro (> 5 mm)	Blando (< 5 mm)	Blando (> 5 mm)
	6	4	2	2	0
ALTERACION	I	II	III	IV	V - VI
	6	5	3	1	0

RUGOSIDAD Y RELLENO		APERTURA O ANCHO	
Muy rugosa	10	Cerrada (< 0,10 mm)	9
Rugosa	9	Algo abierta (0,10 - 1 mm)	7
Algo rugosa	8	Abierta (1 - 5 mm)	5
Suave	6	Muy abierta (> 5 mm)	0
Lisa con relleno	5	ALTERACION - METEORIZACION	
Con relleno blanco	0	Fresca / sana (I)	6
CONTINUIDAD		Algo alterada (II)	5
No persistente	5	Bastante alterada (III)	3
Subpersistente	3	Muy alterada (IV)	0
Persistente	0	Completamente alterada (V-VI)	0

Cálculo del RMR

$RMR_{Básico} = \sum_{i=1}^5 V_{Pi}$

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5
Valoración C_0 : V_{P1} =	/	/	/	/	/
RQD : V_{P2} =	/	/	/	/	/
Frecuencia S : V_{P3} =	/	/	/	/	/
Continuidad =	/	/	/	/	/
Apertura o ancho =	/	/	/	/	/
Rugosidad y relleno =	/	/	/	/	/
Alteración =	/	/	/	/	/
Estado juntas : V_{P4} =	/	/	/	/	/
Agua : V_{P5} =	/	/	/	/	/
RMR Básico =	/	/	/	/	/

RMR Ajustado = RMR Básico + F

Dirección del eje del túnel: α_T =

α_j / β_j =	/	/	/	/	/
Factor de ajuste: F =	/	/	/	/	/
RMR Ajustado =	/	/	/	/	/

CLASIFICACIÓN Q (Formato adaptado de Barton, 2002)

Nota: Para una estación geomecánica individual, marcar la columna correspondiente; para el estudio global o de un tramo de túnel, realizar los histogramas.

TAMAJO DE BLOQUE

RQD

Mínimo:

Máximo:

Medio:

Modal:

J_n

Mínimo:

Máximo:

Medio:

Modal:

J_r

Mínimo:

Máximo:

Medio:

Modal:

J_a

Mínimo:

Máximo:

Medio:

Modal:

J_w

Mínimo:

Máximo:

Medio:

Modal:

SRF

Mínimo:

Máximo:

Medio:

Modal:

	MUY MALO	MALO	MEDIO	BUENO	EXC.
	0	10	20	30	40
	50	60	70	80	90
	100	100	100	100	100

	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	Ib	Ia
	20	15	12	9	6	4	3	2	1	0,5

RELL.	PLANAS	ONDULADAS	DISC.
1	0,5	1	1,5
	1,5	2	3
			4

RELLENOS DE GRAN ESPESOR	REL. POCO ESPESOR	ADHERENCIAS	SIN RELLENO	SOLD.
20	13	12	10	8
	6	5		
		12	8	6
			4	
			4	3
				2
				1
				0,75

CON FLUJO O PRESIÓN					MOJADO	SECO
	0,05	0,1	0,2	0,33	0,5	0,66
						1

ROCA EXTRUDA	ROCA EXPANSIVA	ZONAS DÉBILES	TENSION / RESISTENCIA
20	15	10	5
	20	15	10
			5
		10	7,5
			5
			2,5
			100
			50
			20
			10
			5
			2
			0,5
			1
			2,5

Determinación de Q = $\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = \text{---} \times \text{---} \times \text{---} = \text{---}$ Mínimo

--- x --- x --- = --- Máximo

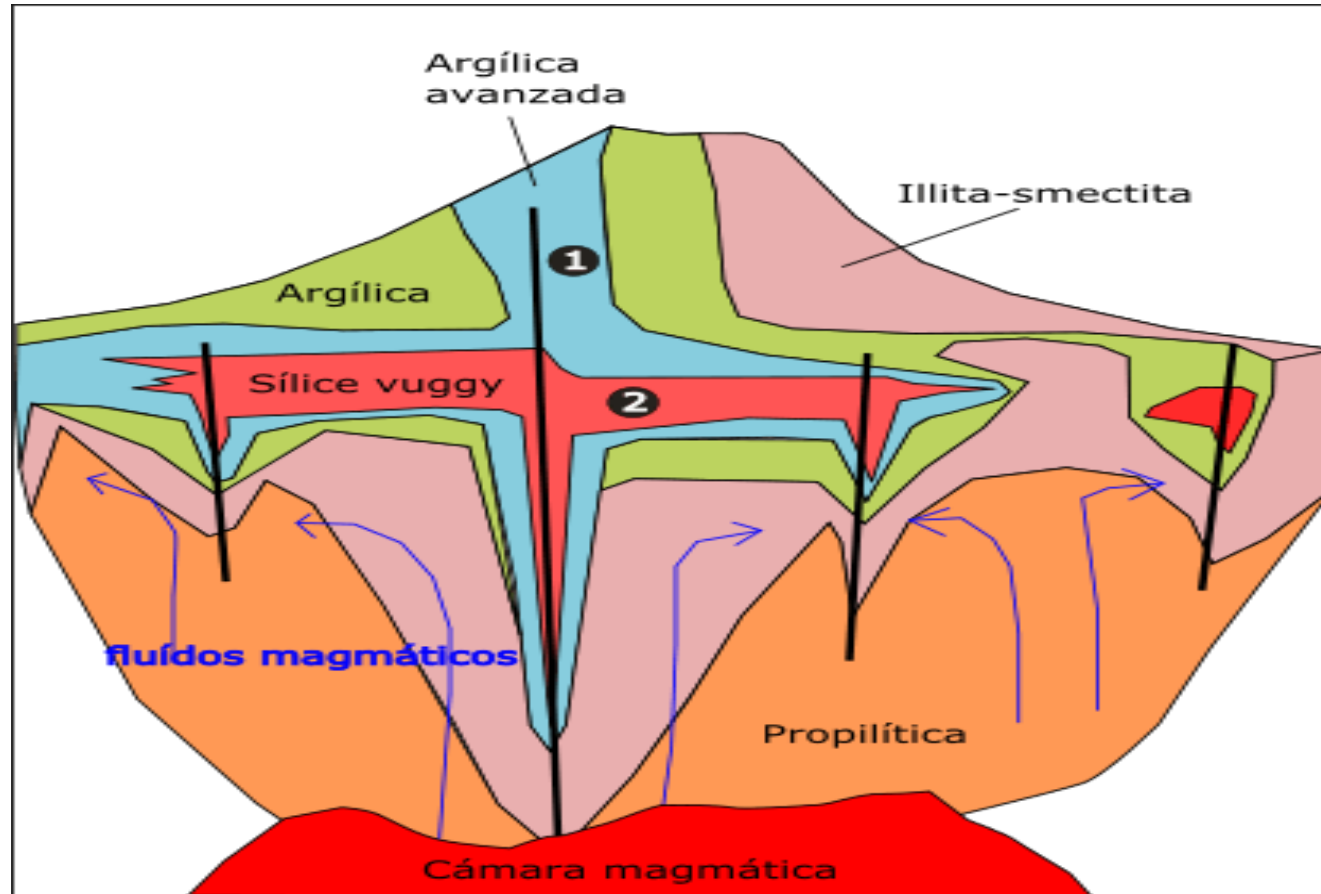
--- x --- x --- = --- Medio

--- x --- x --- = --- Modal

OBSERVACIONES:

Anexo

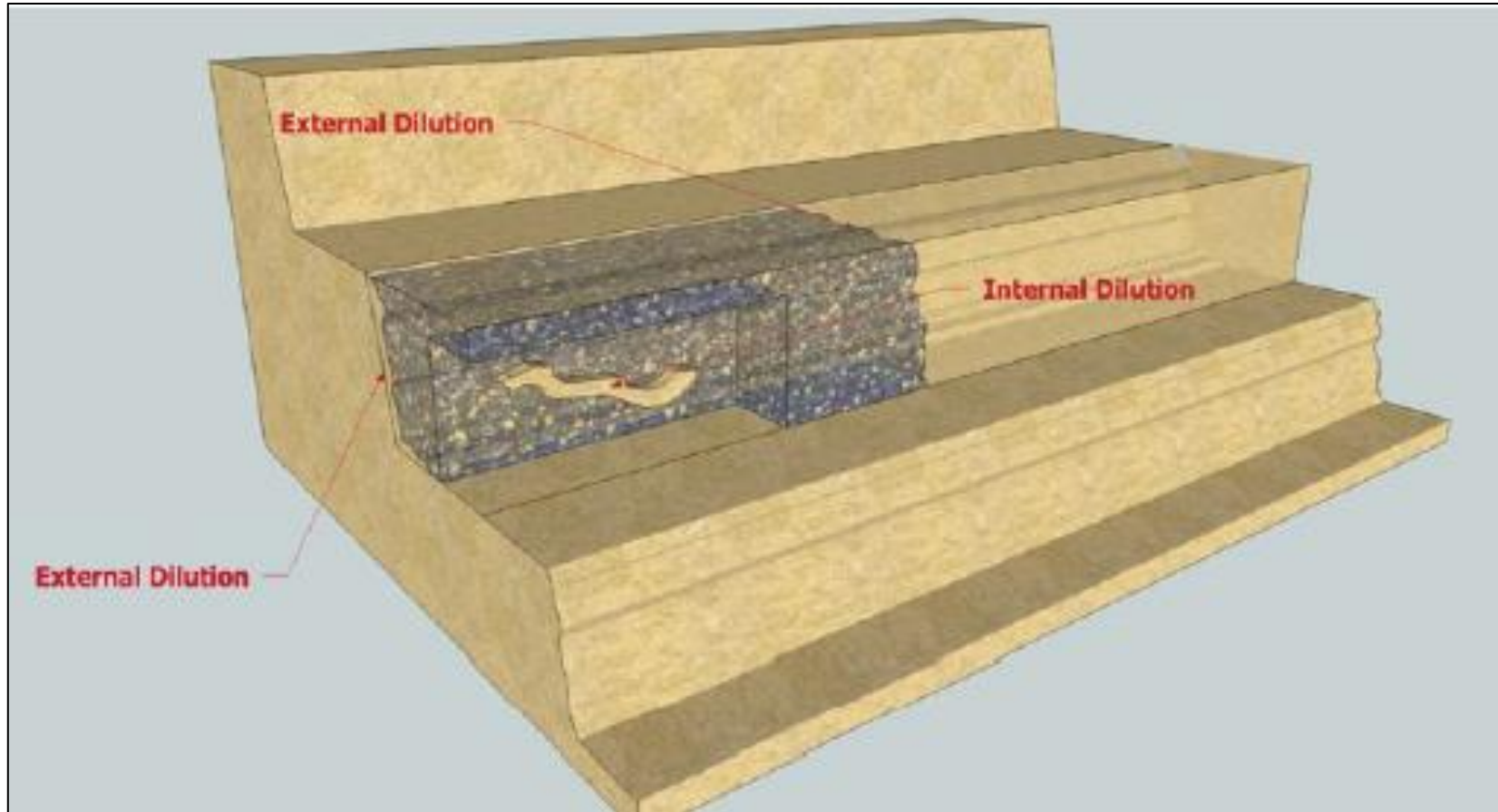
Epitermal de alta sulfuración y las alteraciones hidrotermales



Fuente: <https://geologiaweb.com/yacimientos-minerales/epitermales-alta-sulfuracion/>

Anexo

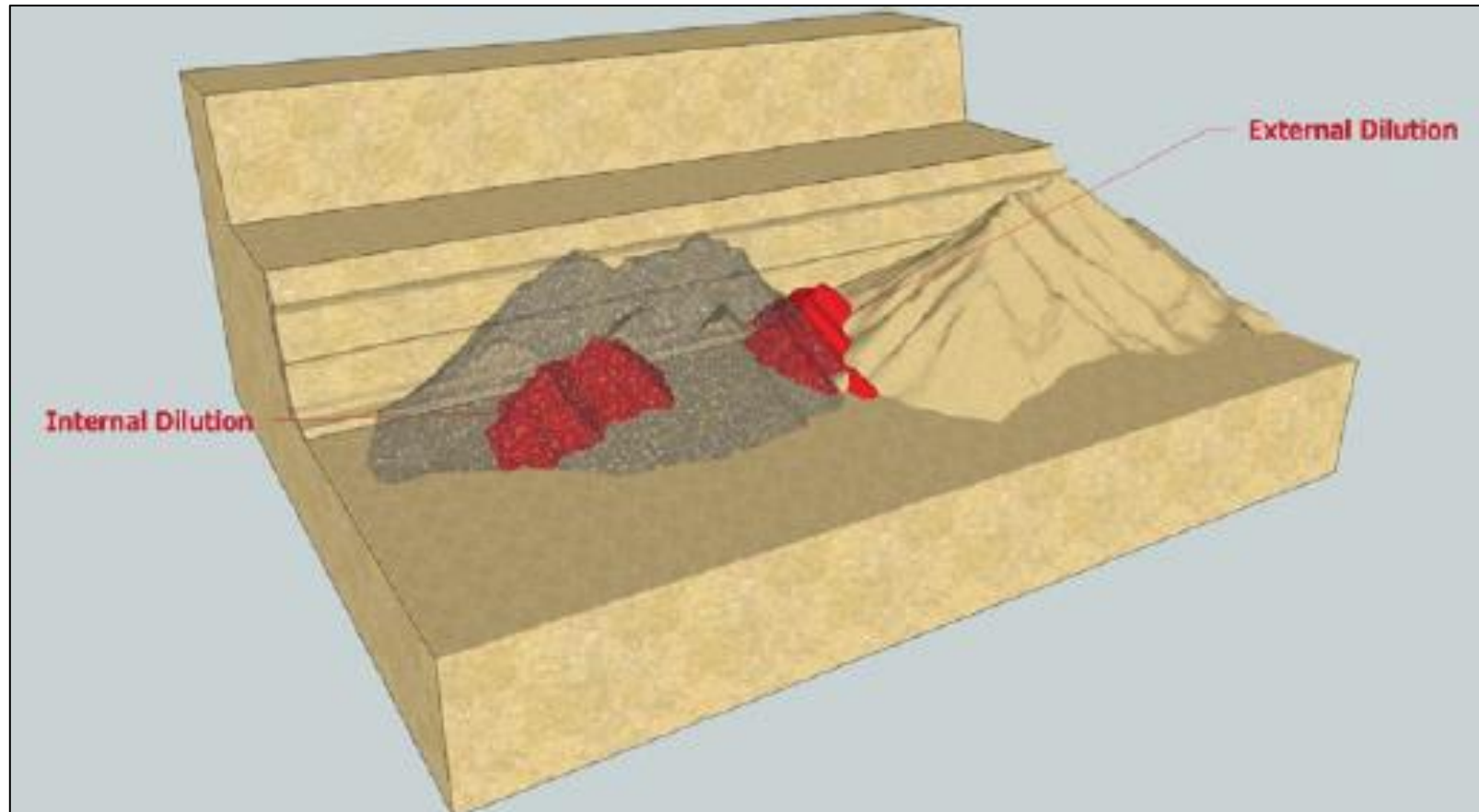
Dilución interna



Fuente: MAXAM – 2020

IGURA N° 3

Dilución externa



Fuente: MAXAM - 2020

Fenómenos probables para el tipo de roca y profundidad en la evaluación del control de la dilución

CLASES DE ROCA	RANGO DE INDICE	HM	Q(Mpa)	FENOMENO PROBABLE
A	40 - 1000	1196- 3492	62 – 186	Deformación explosiva
B	10 - 40	754 – 1196	39 – 62	Descostamiento y tajo de la roca
C	40 - 10	555 – 754	9 – 39	Fluencia de bloques
D	1 - 4	350 – 555	18 -29	Fluencia de bloques
E	0.1 - 1	162 – 350	8.4 -18	Rotura, trituración y fluencia
F	0.001 - 01	76 – 162	3.9 – 8.4	Fluencia, deformación plástica
G	0.001-0.01	35 -76	1.8 – 3.9	Fluencia, deformación plástica
NOTA: En la ecuación $q = 7\gamma Q^{1/3}$ se ha supuesto una densidad $\gamma = 2.6 \text{ g/cc}$				

Fuente: Elaboración propia