



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**REDUCCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL  
APLICANDO UN MODELO DE TRAZABILIDAD A TRAVÉS DEL  
MUESTREO GEOLÓGICO SHIP SAMPLING EN LA MINA  
CORIHUARMI – MINERA IRL.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FABIAN SAUL, CHECCA BERNEDO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO - PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

A mis padres, quien con su apoyo incondicional a permitido cumplir mis objetivos como profesional, de tal forma a mi esposa Margot y a mis hijos también a mis hermanos que en los momentos más difíciles me apoyaron en mi desarrollo personal y profesional.

**Fabian Saul, Checca Bernedo**



## AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por guiarme y acompañarme durante mi desempeño como profesional, en seguida agradezco a mi padre Fidel y a mi madre Josefina por su incesante apoyo hasta lograr mis objetivos.

Agradezco también a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería de Geológica de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por la formación que recibí y hoy en día llegar a ser un profesional competente listo para aportar en el ámbito de la minería.

Agradezco también al Ing. Agustín Velez como mi asesor de mi tesis, al Ing. Edwin Willy Mamani Huaricallocla.

**Fabian Saul, Checca Bernedo**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA: ..... 19**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA: ..... 20**

1.2.1. Problema general..... 20

1.2.2. Problemas específicos. .... 20

**1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS: ..... 20**

1.3.1. Hipótesis general. .... 20

1.3.2. Hipótesis específicas. .... 21

**1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN: ..... 21**

1.4.1. Objetivo general. .... 21

1.4.2. Objetivos específicos. .... 21

**1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN: ..... 22**

**1.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO: ..... 22**

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN: ..... 23**



<b>2.2. MARCO TEÓRICO:</b>	<b>25</b>
2.2.1. Minado a tajo abierto.	25
2.2.2. Construcción de un modelo de bloques geotécnico (BWI)	26
2.2.2.1. Muestreo geológico ship sampling.	27
2.2.2.2. Análisis de la dureza de la roca.	28
2.2.2.2.1. Resistencia a la compresión uniaxial (UCS).	29
2.2.2.2.2. Esfuerzo de tensión de la roca (T).	30
2.2.2.3. Clasificación de la roca por dureza y factor de potencia.	30
2.2.2.4. Diseño de un modelo de bloques work index (BWI).	31
2.2.2.5. Diseño de polígonos de dureza por factor de carga.	31
2.2.3. Voladura a tajo abierto.	31
2.2.3.1. La Voladura como Operación Unitaria:	32
2.2.3.2. Tipos de Voladura a Tajo Abierto:	32
2.2.3.3. Proceso Operativo de la Voladura a Tajo Abierto:	33
2.2.4. Diseño de mallas en voladura a tajo abierto:	34
2.2.4.1. Parámetros de Diseño de la Malla Primaria:	35
2.2.5. Análisis de la fragmentación por medio de imágenes.	41
2.2.5.1. Toma de imágenes del disparo.	42
2.2.5.2. Procesamiento de las imágenes del disparo.	43
2.2.5.3. La curva de fragmentación.	45
<b>2.3. SOFTWARES UTILIZADOS:</b>	<b>46</b>
2.3.1. Hexagon – MinePlan 3D.	46
2.3.2. MS Excel.	47
2.3.3. Split Desktop.	47

### CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS



<b>3.1. DISEÑO METODOLÓGICO:</b> .....	<b>48</b>
3.1.1. Tipo de investigación. ....	48
3.1.2. Alcance de la investigación.....	48
3.1.3. Diseño de la investigación. ....	48
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA:</b> .....	<b>49</b>
3.2.1. Población .....	49
3.2.2. Muestra .....	49
3.2.2.1. Perforación.....	49
3.2.2.2. Voladura.....	51
<b>3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:</b> .....	<b>52</b>
<b>3.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> .....	<b>53</b>

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<b>4.1. UBICACIÓN Y ACCESO:</b> .....	<b>54</b>
<b>4.2. OTROS ASPECTOS DE LA ZONA:</b> .....	<b>54</b>
4.2.1. Clima. ....	54
4.2.2. Precipitación.....	55
<b>4.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO:</b> .....	<b>55</b>
4.3.1. Geología Regional.....	55
4.3.2. Geología Local. ....	61
4.3.3. Alteración y Mineralización .....	63
4.3.4. Estratigrafía.....	70
<b>4.4. RESERVA DEL YACIMIENTO:</b> .....	<b>71</b>
<b>4.5. OPERACIONES UNITARIAS:</b> .....	<b>73</b>
4.5.1. Perforación. ....	73
4.5.2. Voladura.....	75



4.5.3. Carguío y Acarreo. .... 75

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**5.1. IMPLEMENTANDO UN MUESTREO GEOLÓGICO SHIP SAMPLING PARA MEDIR LA VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES DE LA FÍSICAS DE LA ROCA..... 78**

5.1.1. Muestreo ship sampling en los tajos de la mina Corihuarmi. .... 78

5.1.1.1. Herramientas y recursos. .... 78

5.1.1.2. Descripción del proceso. .... 79

5.1.1.2. Procedimiento. .... 80

5.1.2. Variabilidad de las propiedades físicas de la roca en los tajos de la mina Corihuarmi. .... 83

5.1.2.1. Medición en el tajo Cayhua. .... 83

5.1.2.1.1. Geología en el Tajo Cayhua. .... 83

5.1.2.1.2. Toma de muestras del Tajo Cayhua. .... 84

5.1.2.2. Medición en el tajo Laura. .... 85

5.1.2.2.1. Geología en el Tajo Laura. .... 86

5.1.2.2.2. Toma de muestras del Tajo Laura. .... 87

5.1.2.3. Medición en el tajo Susan, Diana y Scree Slope. .... 88

5.1.2.3.1. Geología en los tajos Susan, Diana y Scree Slope. .... 90

5.1.2.3.2. Toma de muestras de los tajos Susan, Diana y Scree Slope. .... 91

5.1.2.3.2. Análisis en laboratorio de las muestras. .... 95

**5.2. CONSTRUYENDO UN MODELO DE BLOQUES GEOTÉCNICOS DE CORTO PLAZO PARA REDUCIR LA FRAGMENTACIÓN..... 98**

5.2.1. Diseño del modelo de bloques geotécnico. .... 98

5.2.2. Rediseño de la malla de perforación y voladura. .... 104

5.2.3. Aplicación del diseño en los distintos tajos. .... 109



5.2.3.1	Tajo Cayhua y Cayhua Norte.....	109
5.2.3.2.	Tajo Laura.....	114
5.2.3.3.	Tajo Susan.....	117
5.2.3.4.	Tajo Diana.....	119
5.2.3.5.	Tajo Scree Slope. ....	122
<b>5.3.</b>	<b>EVALUANDO LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL CON EL SOFTWARE SPLIT DESKTOP PARA MEDIR EL P80. ....</b>	<b>124</b>
5.3.1.	Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Cayhua.....	124
5.3.2.	Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Laura. ....	126
5.3.3.	Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Susan. ....	128
5.3.4.	Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Diana. ....	130
5.3.5.	Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Scree Slope.....	132
5.3.6.	Comparativo del promedio de los tajos con la línea base.....	134
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>137</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>138</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>139</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>142</b>

**Área:** Geología de Minas.

**Tema:** Estimación de Recursos.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 16 de diciembre 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Minado a tajo abierto en Toquepala – SPCC. ....	26
<b>Figura 2.</b> Taladros en una operación de voladura a tajo abierto. ....	32
<b>Figura 3.</b> Zona de operación de una voladura a tajo abierto. ....	35
<b>Figura 4.</b> Distribución de la energía en los distintos patrones. ....	39
<b>Figura 5.</b> Comparación de fotografías para el Split Desktop. ....	43
<b>Figura 6.</b> Imagen delimitada de la fragmentación. ....	44
<b>Figura 7.</b> Imagen escala con la dimensión del objeto escalador. ....	44
<b>Figura 8.</b> Curva granulométrica realizada por el software Wipfrag. ....	45
<b>Figura 9.</b> Diseño de carga de la malla de línea base. ....	50
<b>Figura 10.</b> Curva granulométrica de la fragmentación de rocas. ....	51
<b>Figura 11.</b> Geología Regional. ....	57
<b>Figura 12.</b> Depósitos coluviales ubicados en la parte inferior de la ladera. ....	59
<b>Figura 13.</b> Conglomerados heterométricos ubicados en la mina Corihuarmi. ....	60
<b>Figura 14.</b> Afloramiento de dacitas en la mina Corihuarmi. ....	61
<b>Figura 15.</b> Geología local ....	63
<b>Figura 16.</b> Principales cuerpos geológicos. ....	64
<b>Figura 17.</b> Sección de la Zona Susan y Diana. ....	67
<b>Figura 18.</b> Sección de la Zona Cayhua y Cayhua Norte. ....	68
<b>Figura 19.</b> Sección de la Zona Laura y Extensión de Scree Slope. ....	69
<b>Figura 20.</b> Principales cuerpos de zonificación metalogénica. ....	70
<b>Figura 21.</b> Columna estratigráfica del sector occidental y oriental del cuadrángulo 26I. .....	71
<b>Figura 22.</b> Malla de perforación triangular equilátera. ....	74
<b>Figura 23.</b> Equipo de perforación en la Mina Corihuarmi. ....	75
<b>Figura 24.</b> Volquete Mercedes Benz Actros. ....	76



<b>Figura 25.</b> Carguío de Mineral.....	77
<b>Figura 26.</b> Herramientas para el muestreo ship sampling. ....	79
<b>Figura 27.</b> Ubicación de los puntos a muestrear.....	81
<b>Figura 28.</b> Limpieza y extracción con el uso de una picota.....	81
<b>Figura 29.</b> Extracción de los fragmentos a muestrear.....	82
<b>Figura 30.</b> Conservación en bolsas geológicas. ....	82
<b>Figura 31.</b> Vista de los tajos Cayhua y Cayhua Norte. ....	83
<b>Figura 32.</b> Muestreo de los tajos Cayhua y Cayhua Norte. ....	84
<b>Figura 33.</b> Vista del tajo Laura. ....	86
<b>Figura 34.</b> Muestreo del tajo Laura.....	87
<b>Figura 35.</b> Vista del tajo Susan. ....	89
<b>Figura 36.</b> Vista del tajo Diana. ....	89
<b>Figura 37.</b> Vista del tajo Scree Slope.....	90
<b>Figura 38.</b> Muestreo del tajo Susan. ....	91
<b>Figura 39.</b> Muestreo del tajo Diana. ....	93
<b>Figura 40.</b> Muestreo del tajo Scree Slope.....	94
<b>Figura 41.</b> Clasificación RMR y UCS del macizo rocoso. ....	96
<b>Figura 42.</b> Vista top del modelo de bloques por dureza en los tajos Cayhua y Cayhua Norte. ....	98
<b>Figura 43.</b> Modelo de bloques por dureza en los tajos Cayhua y Cayhua Norte.....	99
<b>Figura 44.</b> Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Laura. ....	100
<b>Figura 45.</b> Modelo de bloques por dureza en el tajo Laura. ....	100
<b>Figura 46.</b> Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Susan.....	101
<b>Figura 47.</b> Modelo de bloques por dureza en el tajo Susan. ....	101
<b>Figura 48.</b> Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Diana.....	102
<b>Figura 49.</b> Modelo de bloques por dureza en el tajo Diana. ....	102



<b>Figura 50.</b> Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Scree Slope.....	103
<b>Figura 51.</b> Modelo de bloques por dureza en el tajo Scree Slope.....	104
<b>Figura 52.</b> Diseño de Carga estándar promedio.....	107
<b>Figura 53.</b> Diseño de malla y carga estándar promedio.....	108
<b>Figura 54.</b> Variación del factor de carga de acuerdo a la dureza de la roca. ....	108
<b>Figura 55.</b> Proyecto 4880 – 113.....	109
<b>Figura 56.</b> Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular B y Mala A...	110
<b>Figura 57.</b> Secuencia de salida tipo echelon.....	110
<b>Figura 58.</b> Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.....	111
<b>Figura 59.</b> Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna. ....	111
<b>Figura 60.</b> Proyecto 4920 – 075.....	112
<b>Figura 61.</b> Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular A y Buena B.	112
<b>Figura 62.</b> Secuencia de salida tipo trapezoidal.....	113
<b>Figura 63.</b> Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.....	113
<b>Figura 64.</b> Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna. ....	114
<b>Figura 65.</b> Proyecto 4840 – 132.....	114
<b>Figura 66.</b> Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular A y Buena B.	115
<b>Figura 67.</b> Secuencia de salida tipo diagonales cortas.....	115
<b>Figura 68.</b> Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.....	116
<b>Figura 69.</b> Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna. ....	116
<b>Figura 70.</b> Proyecto 4860 – 102.....	117
<b>Figura 71.</b> Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular B y Mala A...	117
<b>Figura 72.</b> Secuencia de salida tipo diagonales largas.....	118
<b>Figura 73.</b> Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.....	118
<b>Figura 74.</b> Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna. ....	119
<b>Figura 75.</b> Proyecto 4775 – 084.....	119



<b>Figura 76.</b> Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular B y Mala A...	120
<b>Figura 77.</b> Secuencia de salida tipo v. ....	120
<b>Figura 78.</b> Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.....	121
<b>Figura 79:</b> Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna. ....	121
<b>Figura 80.</b> Proyecto 4715 – 034.....	122
<b>Figura 81.</b> Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular A y Regular B. .....	122
<b>Figura 82.</b> Secuencia de salida tipo echelon modificado.....	123
<b>Figura 83.</b> Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.....	123
<b>Figura 84.</b> Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna. ....	124
<b>Figura 85.</b> Fragmentación del tajo Cayhua – Py – 4880 – 113.....	125
<b>Figura 86.</b> Curva granulométrica del tajo Cayhua – Py – 4880 – 113.....	125
<b>Figura 87.</b> Fragmentación del tajo Laura – Py – 4840 – 132. ....	127
<b>Figura 88.</b> Curva granulométrica del tajo Laura – Py – 4840 – 132. ....	127
<b>Figura 89.</b> Fragmentación del tajo Susan – Py – 4860 – 102. ....	129
<b>Figura 90.</b> Curva granulométrica del tajo Susan – Py – 4860 – 102. ....	129
<b>Figura 91.</b> Fragmentación del tajo Diana – Py – 4775 – 084. ....	131
<b>Figura 92.</b> Curva granulométrica del tajo Diana – Py – 4775 – 084. ....	131
<b>Figura 93.</b> Fragmentación del tajo Scree Slope – Py – 4715 – 034.....	133
<b>Figura 94.</b> Curva granulométrica del tajo Scree Slope – Py – 4715 – 034.....	133
<b>Figura 95.</b> Curva granulométrica de la línea base vs promedio del presente estudio..	135



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión. ....	29
<b>Tabla 2.</b> Relación de características de roca-explosivo de Ash. ....	37
<b>Tabla 3.</b> Malla de perforación de línea base. ....	50
<b>Tabla 4.</b> Tamaño y porcentaje del pasante de la fragmentación de rocas. ....	51
<b>Tabla 5.</b> Operacionalización de la variable independiente. ....	52
<b>Tabla 6.</b> Esquema de la línea de base del estudio. ....	53
<b>Tabla 7.</b> Esquema de la investigación aplicada del estudio. ....	53
<b>Tabla 8.</b> Accesos a la Mina Corihuarmi. ....	54
<b>Tabla 9.</b> Tajos de Depósitos de Reservas en la Unidad Minera Corihuarmi. ....	72
<b>Tabla 10.</b> Reserva de todo el yacimiento de la mina Corihuarmi. ....	72
<b>Tabla 11.</b> Resumen de las reservas de mineral de oro (probado y probable). ....	73
<b>Tabla 12.</b> Parámetros técnicos de la malla de perforación en los distintos tajos. ....	74
<b>Tabla 13.</b> Muestreo de Compresión con Platinas en los Tajos Cayhua y Cayhua Norte. .....	85
<b>Tabla 14.</b> Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Laura. ....	87
<b>Tabla 15.</b> Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Laura. ....	91
<b>Tabla 16.</b> Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Diana. ....	94
<b>Tabla 17.</b> Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Scree Slope. ....	95
<b>Tabla 18.</b> UCS promedio de los tajos Cayhua y Cayhua Norte. ....	105
<b>Tabla 19.</b> UCS promedio del tajo Laura. ....	105
<b>Tabla 20.</b> UCS promedio del tajo Susan. ....	105
<b>Tabla 21.</b> UCS promedio del tajo Diana. ....	105
<b>Tabla 22.</b> UCS promedio del tajo Scree Slope. ....	105
<b>Tabla 23.</b> Cálculo del Burden según R. Ash. ....	106
<b>Tabla 24.</b> Diseño de carga estándar promedio. ....	107



<b>Tabla 25.</b> Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4880 – 113 del tajo Cayhua. .....	126
<b>Tabla 26.</b> Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4840 – 132 del tajo Laura. .....	128
<b>Tabla 27.</b> Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4860 – 102 del tajo Susan. .....	130
<b>Tabla 28.</b> Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4775 – 084 del tajo Diana. .....	132
<b>Tabla 29.</b> Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4715 – 034 del tajo Scree Slope. ....	134
<b>Tabla 30.</b> Tamaño y pasante de la fragmentación antes y después.....	135



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- B:** Burden.
- Cex:** Cantidad de explosivo por taladro.
- CH&M:** Chancado y Molienda.
- D:** Diámetro de taladro.
- E:** Espaciamiento.
- FC:** Factor de carga.
- FP:** Factor de potencia.
- g/t:** Gramos por tonelada.
- h:** Horas.
- Hb:** Altura de banco.
- kg:** Kilogramos.
- L:** Longitud del taladro.
- Lc :** Longitud de carga.
- m:** Metro.
- m<sup>2</sup>:** Metro cuadrado.
- m<sup>3</sup>:** Metro cubico.
- mm:** Milímetros.
- P50:** Pasante de roca en un 50% del total de la pila del mineral.
- P80:** Pasante de roca en un 80% del total de la pila del mineral.
- Py:** Proyecto.
- RIB:** Factor de Rigidez.
- RMR:** Clasificación del Macizo Rocoso.
- RPM:** Revoluciones por minuto (perforadora).
- RQD:** Designación de Calidad de Roca.
- Size:** Tamaño.
- SP:** Sobre Perforación.
- T:** Taco.
- TM/día:** Toneladas métricas día.
- UCS:** Resistencia a la compresión uniaxial.
- US\$/TM:** Dólares por tonelada métrica.
- VR:** Volumen roto.
- Xc:** Tamaño característico.



## RESUMEN:

El presente trabajo de investigación se realizó en la mina Corihuarmi, una mina a tajo abierto, la cual se ubica en el distrito de Huantan, provincia de Yauyos, departamento de Lima. Esta mina extrae mineral de oro de sus distintos tajos operativos como: Cayhua, Cayhua Norte, Laura, Susan, Diana y Scree Slope, en los cuales por el agotamiento de reservas se optó la explotación de minerales con baja ley, afectando de esta manera su rentabilidad; por lo que, la mina se vio en la necesidad de reducir la fragmentación en la voladura. Actualmente se tiene el mineral fragmentado con un P80 de 7", lo cual repercute en la eficiencia del chancado, también se tienen disparos con una bolonería excesiva mayor a 10", implicando mayor trabajo en la conminución del mineral, dicha irregularidad se debe al descuido de las características geomecánicas de la roca, las cuales son indispensables para una buena voladura. Es por eso, que el objetivo de esta investigación fue reducir la fragmentación del mineral mediante la construcción de un modelo de trazabilidad a partir de un muestreo geológico ship sampling con un diseño transeccional. Para ello, esta investigación fue de tipo cuantitativa - aplicada, en el que primero, se implementó un muestreo geológico ship sampling, con el cual obtuvimos un mejor reconocimiento del macizo rocoso en una altura de 15 metros desde el nivel que se realiza el muestreo, ello en cada sector de los tajos en el cual pudimos identificar que van desde una roca tipo Mala A hasta una roca tipo Buena B, con valores UCS de 30 MPa hasta 74 MPa. Segundo, se construyó un modelo de trazabilidad (modelo geomecánico) a partir de los datos obtenidos en las pruebas geomecánicas (resistencia a la compresión uniaxial), teniéndose variaciones en el factor de carga de acuerdo a la zonificación de rocas en cada tajo presente en la mina, tales como: Roca Mala A con un factor de 0.429 kg/m<sup>3</sup>, para una roca Regular B un factor de 0.445 kg/m<sup>3</sup>, para una roca Regular A un factor de 0.475 kg/m<sup>3</sup> y para una roca Buena B un factor de 0.506 kg/m<sup>3</sup>. Finalmente, se evaluó el mineral fragmentado obteniéndose un P80 de 5.25", con una optimización del 19.3% y respecto al exceso de bolonería, es decir fragmentos menores a 10" se llegó a un 99.63%, optimizando un 5.16%.

**Palabras claves:** ship sampling, conminución del mineral, fragmentación, modelo de trazabilidad, modelo geomecánico.



## ABSTRACT:

This research work was carried out at the Corihuarmi mine, an open pit mine, which is located in the district of Huantan, province of Yauyos, department of Lima. This mine extracts gold ore from its different operating pits such as: Cayhua, Cayhua Norte, Laura, Susan, Diana and Scree Slope, in which, due to the depletion of reserves, the exploitation of low-grade minerals was chosen, thus affecting its cost effectiveness; therefore, the mine found itself in need of reducing fragmentation in blasting. Currently, the mineral is fragmented with a P80 of 7", which affects the efficiency of the crushing, there are also shots with an excessive bologna greater than 10", implying more work in the comminution of the mineral, said irregularity is due to carelessness of the geomechanically characteristics of the rock, which are essential for a good blasting. That is why the objective of this research was to reduce the fragmentation of the mineral by building a traceability model from a geological ship sampling with For this, this research was of a quantitative - applied type, in which first, a geological ship sampling was implemented, with which we obtained a better recognition of the rock mass at a height of 15 meters from the level that was performs the sampling, this in each sector of the pits in which we were able to identify that they go from a rock type Bad A to a rock type Good B, with n UCS values from 30 MPa to 74 MPa. Second, a traceability model (geomechanically model) was built from the data obtained in the geomechanically tests (uniaxial compression resistance), having variations in the load factor according to the zoning of rocks in each pit present in the mine. mine, such as: Bad Rock A with a factor of 0.429 kg/m<sup>3</sup>, for a Regular Rock B a factor of 0.445 kg/m<sup>3</sup>, for a Regular Rock A a factor of 0.475 kg/m<sup>3</sup> and for a Good Rock B a factor of 0.506 kg/m<sup>3</sup>. Finally, the fragmented mineral was evaluated, obtaining a P80 of 5.25", with an optimization of 19.3% and with respect to the excess of bologna, that is, fragments smaller than 10" it reached 99.63%, optimizing 5.16%.

**Keywords:** ship sampling, ore comminution, fragmentation, traceability model, geomechanically model.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

La mina Corihuarmi de la empresa Minera IRL está presentando incremento en sus costos operativos para la extracción del oro, sumándole una baja de las leyes del mineral por el agotamiento de las reservas de los tajos: Diana, Susan, Scree Slope y Cayhua. Esto está afectando la rentabilidad de la mina Corihuarmi.

El área de chancado & molienda que pertenece al proceso de beneficio del mineral (tratamiento) representa el 76% del costo total del proceso de beneficio, teniendo un costo por tonelada promedio de 1.12 US\$/TM. Esta área de chancado & molienda tiene gran influencia en la lixiviación del oro pues realiza la conminución del mineral proveniente de los distintos tajos, el cual reduce el mineral de 10” (25.4 cm) a ½” (1.27 cm), es decir, 20 veces el tamaño del fragmento del mineral. Como tal, el área de chancado & molienda tiene como proceso de entrada principal el área de perforación y voladura del proceso de minado, el cual entrega el mineral previamente fragmentado para ser chancado y molido. Esta fragmentación del mineral se está realizando con mallas triangulares promedio de 2.43 m x 2.80 m que no tienen en cuenta las propiedades geomecánicas básicas de la roca ni la variabilidad del macizo rocoso de los distintos tajos minados, lo cual hace que se tengan fragmentos de mineral mayor a 10” (25.4 cm), significando necesaria una voladura secundaria, y por ende mayor trabajo en la conminución del mineral área de chancado & molienda.

El área de chancado & molienda utiliza energía eléctrica para operar sus equipos como: la chancadora primaria, zarandas, fajas y molinos, los cuales trabajan las 24 h del día y si bien la energía tiene un costo barato, un mayor tiempo de trabajo de los equipos de chancado y molienda representa un mayor consumo de la energía eléctrica y por ende mayor costo. Por consiguiente, realizar la conminución de fragmentos mineral de 10” (25.4 cm) está generando un costo alto en el área de chancado & molienda, ya que el área de perforación y voladura no está teniendo en cuenta las propiedades geomecánicas



básicas de la roca que pueden ser determinantes para obtener una mejor fragmentación del mineral. Ello se puede sopesar a través de un muestro geológico (geomecánico) tipo ship sampling que permita medir y recopilar información de muestras de roca de los distintos tajos y así obtener datos como: el UCS y fuerza de Tensión de modo que se pueda construir un modelo de trazabilidad mine to mill para la mina Corihuarmi, con lo cual se diseñe, de igual manera, una malla de perforación estándar, pero con distinta longitud de carga para la voladura que permita obtener una mejor fragmentación de la roca..

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Se podrá reducir la fragmentación del mineral creando un modelo de trazabilidad en base a un muestreo geológico ship sampling en la mina Corihuarmi?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Al implementar un muestreo geológico ship sampling se podrá medir la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de los distintos tajos de la mina Corihuarmi?

¿Al construir un modelo de bloques geotécnico de corto plazo se podrá realizar un carguío diferenciado del explosivo en los distintos proyectos de mineral?

¿Cuál será la reducción del P80 del mineral fragmentado en la mina Corihuarmi?

## **1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS:**

### **1.3.1. Hipótesis general.**

Creando un modelo de trazabilidad en base a un muestreo geológico ship sampling se reduce la fragmentación del mineral en la mina Corihuarmi.



### **1.3.2. Hipótesis específicas.**

Al implementarse un muestreo geológico ship sampling se logra medir la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de los distintos tajos de la mina Corihuarmi.

La fragmentación del mineral se reduce construyendo un modelo de bloques geotécnico de corto plazo (trazabilidad) que guie el carguío diferenciado del explosivo en los distintos proyectos de mineral.

El software Split Desktop comprueba la reducción en el P80 del mineral fragmentado en la mina Corihuarmi.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Reducir la fragmentación del mineral creando un modelo de trazabilidad en base a un muestreo geológico ship sampling en la mina Corihuarmi.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

Implementar un muestreo geológico ship sampling para medir la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de los distintos tajos de la mina Corihuarmi.

Construir un modelo de bloques geotécnico de corto plazo (trazabilidad) que guie el carguío diferenciado del explosivo en los distintos proyectos de mineral para reducir la fragmentación.

Evaluar la fragmentación del mineral mediante software Split Desktop para medir el P80 en la mina Corihuarmi.



### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:**

Así como indica Hinostroza (2014), la fragmentación es la materia prima para muchos otros procesos, los cuales se ven directamente afectados por las implicancias de una buena o mala fragmentación de la roca; es por ello que tener una performance de una buena fragmentación con lleva una eficiencia de los procesos de toda la mina. Pero para obtener este escenario es de suma importancia que las operaciones de perforación y voladura sean minuciosas, con un estricto control. Asegurándose así que la geometría malla de perforación en campo sea la más parecida a la diseñado en gabinete para una buena voladura (burden, espaciamiento y profundidad de los taladros), que el carguío de taladros sea como en el diseño de carga con un mínimo margen de error, el amarre y el posterior disparo sean los diseñados y esperados considerando ciertas inexactitudes en los tiempos como la dispersión, que no exista problemas durante el disparo y por supuesto tener en cuenta los objetivos de la voladura evitando daños colaterales.

Por consiguiente, tal y como lo refieren Hinostroza y Leiva (2014), la caracterización geomecánica, mediante un muestreo geológico, juega un rol importante como proveedor para los procesos productivos perforación y voladura, ya que sin esta información obtener una óptima fragmentación podría ser más utópico que ingenieril; por lo que muchos procesos podrían verse afectados ya que tienen como materia prima la fragmentación de la roca. En estos, el chancado y molienda que es importante para la conminución del mineral y su posterior recuperación en los pads de lixiviación de la mina Corihuarmi.

### **1.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO:**

No se tienen limitaciones debido a que los datos necesarios para realizar la presente investigación son obtenidos de operaciones mina, área de geología mina y área de geotecnia.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Ricse (2020) en su tesis “Diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca en Mina Paola de Compañía Minera San Lucas S.A.C.”, afirma lo siguiente: El objetivo de esta investigación fue diseñar una malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación, para una optimización en la molienda. Se realiza un estudio de las falencias en la perforación lo cual repercute en la voladura y este nos da como resultado la mala fragmentación, lo que finalmente nos conlleva a tener dificultades al momento de ingresar el mineral extraído a la planta de tratamiento. Por lo que se concluye que: para optimizar la fragmentación considerando que la malla se encuentra en un tipo de roca regular A, con un RMR 61.4%, se aumentaron los taladros de 31 a 41, al igual que la longitud de taladro aumentando en 29 cm, lo cual representa un incremento del avance, a la vez que con este resultado se logra una fragmentación homogénea, teniendo un tamaño máximo de 26.35 cm, lo cual permite que el mineral ingrese sin dificultades a la parrilla de la chancadora y así evitar mayor dilatación y reducción de costo en el procesado de molienda y chancado.

Bravo (2018) en su tesis “Optimización de los Costos De Chancado aplicando El Modelo Cunningham y la Malla Triangular Equilátera para Reducir la Fragmentación de la Roca Caliza en la Cantera Caracoto”, afirma lo siguiente: El objetivo de esta investigación fue optimizar los costos de CH&M aplicando la malla triangular equilátera asociada al modelo Cunningham para reducir la fragmentación de la roca caliza, para determinar el por qué del desgaste prematuro de los componentes de los equipos de molienda. Esto ha implicado una reducción del 15% en la producción por el aumento de tiempo de molienda, de esta manera, los costos del área de chancado aumentan de 1.58 US\$/TM a 1.72 US\$/TM, es decir un incremento del 8.64%. Se hace un estudio de la aplicación del modelo Cunningham, la cual podría mejorar la fragmentación para que el total de mineral fragmentado sea menor a 25 cm es decir mayor al 80%. Por lo que se concluye que: la fragmentación mínima requerida sea de 25 cm para optimizar el



chancado, pero solo se cumplía de un 70% a 80% del total del mineral transportado hasta molienda; haciendo incapié, las carencias del área de chancado con respecto a la producción de mineral eran mayores cuando el porcentaje total del mineral de 25 cm era un poco más del 70%.

Choque (2017), en su tesis “Optimización de la Fragmentación de la Roca Mediante las Características Geomecánicas y Doble Iniciación No Electrónica en la Perforación y Voladura de Bancos - U. M. Apumayo S.A.C.”, afirma lo siguiente: El objetivo de dicha investigación fue la optimización de la fragmentación de roca para determinar las características geomecánicas de la masa rocosa como la evaluación detallada de discontinuidades en una progresiva de 23m consolidados en un registro lineal, el tipo de roca es una andesita alterada, el RQD es 92%. Esta investigación fue de tipo aplicativo con un diseño descriptivo, en el cual se hace un estudio de las operaciones mineras y se observaron la presencia de bloques de 80 cm, los cuales dificultaban el proceso de carguío, por lo que era necesario la optimización de la fragmentación mediante la condiciones y características geomecánicas de la zona y la doble iniciación no electrónica en la voladura de bancos. Por lo que se concluye que: para optimizar la fragmentación de roca considerando los parámetros indicados, según las 3 pruebas de fragmentación con Wipfrag 2010, el P80 es 4.03, 3.58, y 5.38 pulgadas, en el banco 4128-Py 10, en macizo rocoso con un RMR = 52, con los parámetros geométricos de perforación y voladura en 13 pruebas posteriores, el promedio del P80 fue de 3.405 pulgadas, el cual se considera un tamaño óptimo para planta.

Leiva (2007), en su tesis “Influencia de la Optimización de la Fragmentación de Roca en la Rentabilidad de las Operaciones Mina - Molienda”, afirma lo siguiente: El objetivo de esta investigación fue evaluar el papel que juega la distribución de la fragmentación de la roca por voladura en el desempeño eficiente del carguío, transporte, chancado y molienda con un énfasis en el uso adecuado de la energía, es decir de usar energía donde es más eficiente (voladura), y conservarlo donde es menos (chancado), para determinar la fragmentación de roca por voladura, se realiza mediante modelos de simulación de la fragmentación y su influencia en la rentabilidad de la operación global. Esta investigación fue de tipo teórico aplicativo, evaluando la influencia de la fragmentación de la roca en los costos unitarios, implementando; para el análisis de fragmentación los modelos desarrollados por JKMRC (TCM y CZM), el modelo de Kuz



Ram extendido con la función Swebrec y Rosin Rammler, corregidos en los parámetros de diseño de voladura y calibrados en la distribución de la fragmentación mediante el análisis digital de imágenes, y para el análisis de costos se implementó el modelo de conminución Bond que utiliza de entrada las distribuciones de fragmentación, demuestra que enfocarse en solo minimizar el costo del proceso de voladura en post de su optimización podría no resultar en la máxima rentabilidad si no que los modelos de análisis de fragmentación complementados con modelos de costos nos permiten determinar la tendencia de los costos globales de la operación y con esto resultados se determina la solución de máxima rentabilidad del proyecto de optimización de la voladura.

## **2.2. MARCO TEÓRICO:**

### **2.2.1. Minado a tajo abierto.**

Según refiere Hustrulid *et al.* (2006), el minado a tajo abierto es la extracción de un mineral metálico o no metálico que se realiza en la superficie. Su proceso de minado generalmente se realiza en bancos secuenciales que crean plataformas donde operan los equipos mineros.

El minado a tajo abierto se realiza en yacimiento superficiales y en yacimientos con una profundidad donde no supere la relación estéril/mineral de corte desarrollada por Dagdelen (2009). Cuando la relación estéril/mineral es mayor al REM de corte, entonces el minado se realiza por el método subterráneo.



**Figura 1.** Minado a tajo abierto en Toquepala – SPCC.

Fuente: Mina Toquepala.

La mediana selectividad y el bajo costo operativo asociado a un gran movimiento de material son las principales ventajas del minado a tajo abierto. En tanto, su gran desventaja es la contaminación que genera al medio ambiente circundante a la operación.

El minado a tajo abierto posee diversas variantes operativas respecto a las características del yacimiento, topografía y envergadura del proyecto; entre las variantes más aplicadas se tiene: Cortas, canteras, terrazas y descubiertas.

### **2.2.2. Construcción de un modelo de bloques geotécnico (BWI).**

Para la construcción de un modelo de bloques geotécnico, primeramente, se tiene que establecer el tipo de estudio y el parámetro de la roca a analizar, en este caso se inclinó por un estudio ship sampling por su simplicidad y relación costo-beneficio, una vez que tengamos dicho análisis se procede a realizar un modelo geotécnico por bloques de acuerdo a la dureza del macizo rocoso y de esta manera zonificar la zona que va a ser fragmentada posteriormente.



Según refiere Vásquez (2019), denominamos unidad de estimación a una porción del espacio que se encuentra dentro de una determinada región y se caracteriza por la estacionariedad de la variable a analizar, estas se encuentran determinadas por unidades geotécnicas por lo que se definirán como una porción de las zonas geotécnicas.

#### **2.2.2.1. Muestreo geológico ship sampling.**

El muestreo ship sampling es muy factible con respecto a otros métodos, pero el único inconveniente es que dicho estudio o análisis debe de realizar en cada etapa del proyecto, por lo cual para un muestreo a corto plazo es altamente adecuado tanto por su simpleza como por su costo, es muy útil para validar y corregir el muestreo geológico a largo plazo en un corto plazo.

Pero en este estudio estará más enfocado al análisis geotécnico el cual implica el estudio de la dureza de la roca.

Frente a yacimientos diseminados, estructuras tabulares anchas, cuerpos irregulares que se encuentren en superficie es muy común este tipo de método de manera preliminar, ya que normalmente se debe de usar como referencia o punto de partida debido a su rápida extracción de manera discontinua, asimismo, podemos tener un indicio de la existencia de ciertas anomalías que llamen nuestra atención, para así en un futuro cercano detallar el estudio en dichas zonas con métodos más complejos, este método consta en la extracción de ciertos fragmentos representativos los cuales cubran a la estructura transversalmente como un eje imaginario de un canal de muestreo.

El proceso del muestreo ship sampling es el siguiente:

- Primeramente, se realiza una malla aleatoria para evitar sesgos de cualquier tipo, dicha malla tendrá que ser plasmada en un plano para su posterior ubicación en campo.
- En seguida nos dirigimos a campo para realizar la toma de muestras con la ayuda de un GPS y a su vez evaluar a accesibilidad de estos puntos, si no es posible acceder a ellos se usa una ubicación cercana accesible.
- Con la ayuda de la picota retiramos la posible contaminación existente en la superficie, de esta manera evitar posibles errores, como a su vez facilitar la extracción de la muestra.



- Una vez que veamos el afloramiento del macizo rocoso se hace el uso de la picota o barretilla para la extracción de fragmentos representativos de la zona, la cantidad a muestrear debe de ser aproximadamente 17 cm de base con 15cm de alto, esto para mantener una adecuada uniformidad en las muestras.
- Todo el material por muestrear se encontrará en el piso por lo cual con la ayuda de la pala podremos recoger para su posterior tamizado.
- Con la ayuda del tamiz podremos seleccionar los fragmentos adecuados para su posterior análisis en laboratorio.
- Una vez que tengamos las muestras a evaluar, estos son depositados en bolsas geológicas para poder llevarlas al laboratorio.
- Se realiza la respectiva identificación con el talonario de muestreo, donde se encontrará toda la información relevante para el estudio.
- En laboratorio se realiza la prueba de resistencia a la compresión con platinas, el cual clasificará la resistencia de la roca mediante el uso de platinas.
- Finalmente tendremos un reporte de los resultados de la clasificación en cada punto muestreado, el cual nos servirá para poder plasmarlo en un modelo de bloques.

#### **2.2.2.2. *Análisis de la dureza de la roca.***

El análisis de la dureza de la roca es un factor de suma importancia y uno de los indicadores más importantes para una adecuada decisión en lo que respecta el diseño de la malla (burden y espaciamiento), en la adecuada selección del explosivo e inclusive en la variación de la mezcla a lo largo de la columna explosiva según la dureza de estos, ya que la influencia de la dureza de la roca es directamente proporcional para el desarrollo del factor de volabilidad (A), esto con el fin de obtener los resultados requeridos que en este caso es una menor fragmentación.

Actualmente existe una avanzada tecnología en las perforadoras que te permiten conocer la dureza en cada tramo según el RPM y el pulldown en tiempo real, y una manera de iniciar este análisis tan importante para un buen resultado en la fragmentación es el

estudio ship sampling el cual nos da una estimación a corto plazo más exacta de la condición geomecánica de la zona.

#### 2.2.2.2.1. Resistencia a la compresión uniaxial (UCS).

Es una prueba desarrollada en laboratorio el cual nos otorga como resultado la resistencia a la compresión no confinada de alguna muestra o fragmento de roca, esta prueba representa la máxima tensión de compresión axial bajo una tensión de confinamiento nulo, dicho parámetro es muy conocido como a su vez usado en un diseño geotécnico, pero no representa la resistencia in situ, ya que solo consideramos este parámetro, pero la resistencia del macizo rocoso también depende de fallas, discontinuidades, juntas, factor de dureza, descripción del macizo rocoso, gravedad específica.

Existe una valoración o parámetro el cual se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de macizos rocosos, dichas clasificaciones son conocidas como clasificaciones geomecánicas y se originan de la diferencia existente entre las propiedades del macizo rocoso, este presenta diferentes grados de fracturación y meteorización. Estas clasificaciones contienen valores numéricos para posteriormente insertar a ciertos formulismos y así obtener un resultado para los posteriores análisis que se puedan hacer, la resistencia a la compresión simple es el más importante, pero es necesario tomar en cuenta a su vez la resistencia a la compresión simple dinámica ya que en laboratorio nos indica un valor estático, por lo que se debería de ajustar.

Las rocas presentan relaciones lineales y/o no lineales entre las fuerzas que se aplican y las deformaciones que se producen, por lo cual podemos obtener diversos modelos de curvas de tensión contra deformación para varios tipos de rocas.

Según refiere Reyes (2020), podemos controlar los criterio de rotura de la roca en las paredes del taladro mediante el estudio de la resistencia a la compresión uniaxial, además que conocer las propiedades del macizo rocoso es un pilar fundamental para un buen diseño de perforación y voladura y posteriormente para un resultado requerido adecuado.

**Tabla 1:** Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión.

Descripción	Resistencia a la compresión (MPa)
Extremadamente blanda	< 1



Muy blanda	1 - 5
Blanda	5 - 25
Moderadamente blanda	25 - 50
Dura	50 - 100
Muy dura	100 - 250
Extremadamente dura	> 250

---

Fuente: ISRM.

#### 2.2.2.2.2. *Esfuerzo de tensión de la roca (T).*

El esfuerzo de tensión se refiere cuando existe o hay alguna presencia de una determinada fuerza los cuales provocan una tensión y tienden a dividirlo mediante su separación ya que estas fuerzas se encuentran en direcciones opuestas, también se le conoce como rotura por tracción y esta es aproximadamente 10 veces menor que la resistencia a la compresión, se puede medir a través de la prueba de resistencia a la tensión directa y el ensayo de tensión indirecta, la cual consiste en la compresión en la cual soporta la muestra, se aplica una carga lineal a través de la muestra a analizar.

#### 2.2.2.3. *Clasificación de la roca por dureza y factor de potencia.*

La dureza es la dureza que posee un cuerpo para evitar ser penetrado por otro, para lo cual existe una clasificación mediante una tabla, la cual es conocida como La Tabla de Mohs, pero en este estudio clasificamos a la dureza de la roca como la resistencia que posee para evitar su fragmentación.

El factor de potencia es más una relación de la cantidad de explosivo a usarse por cada tonelada rota, para lo cual se tiene que realizar cálculos matemáticos y geométricos para la determinación del factor de potencia.

Podemos clasificar el macizo rocoso por el factor de potencia usado, esto varía con la dureza de la roca, es decir que mientras más dura sea esta, necesitaremos un factor de potencia mas alto, en cambio si es un macizo rocoso blando el factor de potencia disminuirá, esta variación se debe a la cantidad de energía que se necesita para fragmentar la roca, además que para macizos rocosos duros, tanto el burden y espaciamento serán mucho menor frente a un macizo rocoso blando y al disminuir estos parámetros afectan directamente al aumento del factor de potencia.

De esta manera podemos sectorizar las zonas a minar de acuerdo con la dureza de la roca y a su factor de potencia, pero esto no es determinante, si no que podemos



enmarcarlo como una referencia para los futuros proyectos, ya que la fragmentación no depende únicamente de la dureza sino también de otros factores geomecánicos y geotécnicos.

#### **2.2.2.4. *Diseño de un modelo de bloques work index (BWI).***

Podemos decir que el work index es el consumo energético para fragmentar el material a un determinado P80 a través de la trituración y la molienda, pero esto depende de la dureza del material conocido comúnmente como la resistencia a la conminución, como a su vez la eficiencia del equipo que se use, para su determinación se usan las muestras de los taladros diamantinos y ello nos ayudará a predecir en un futuro la capacidad, cantidad y recuperación metalúrgica que pudiese existir en relación a cada bloque de reserva mineral.

#### **2.2.2.5. *Diseño de polígonos de dureza por factor de carga.***

Una vez que se tiene información relevante con respecto a la dureza se pueden diseñar polígonos con un determinado factor de carga, la cual nos indicará la cantidad de explosivo a usarse por cada m<sup>3</sup>, con ello podremos zonificar taladros con un mismo factor de carga para su uniformidad y validarlos de acuerdo con los budgets de corto plazo.

#### **2.2.3. Voladura a tajo abierto.**

De acuerdo a las definiciones de EXSA S.A. y ENAEX S.A. (2011) la voladura a tajo abierto se realiza mediante bancos las cuales generalmente se tienen dos caras libres: La superior y la frontal, aunque también existen bancos con una sola cara libre, esto se da generalmente para la apertura de una nueva fase, los taladros en tajo abierto pueden ser tanto verticales (producción) como inclinados (precorte), la carga explosiva se distribuye a lo largo del taladro formando la figura de un cilindro, existen diversos tipos de explosivos, pero en tajo abierto es muy común que se usen explosivos a granel.

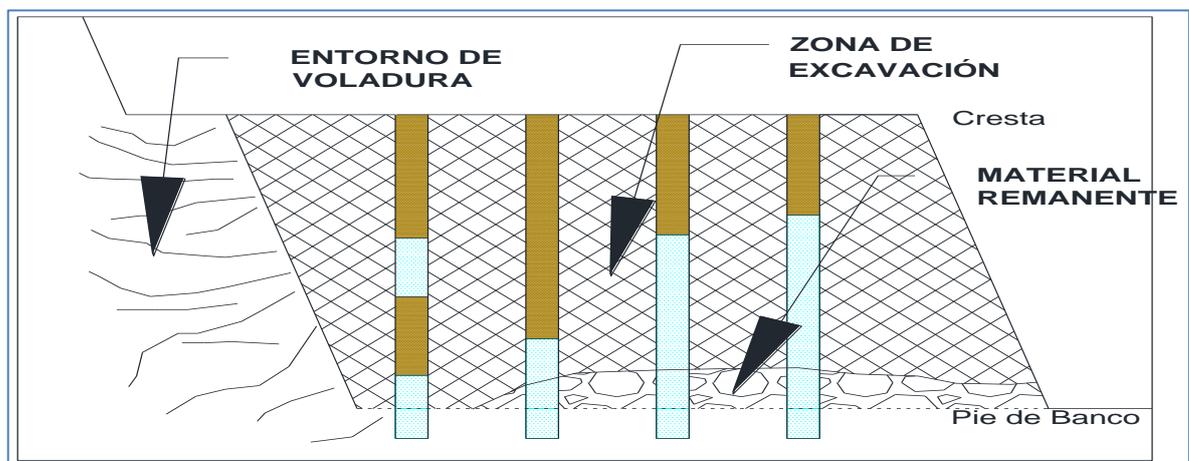
### 2.2.3.1. *La Voladura como Operación Unitaria:*

El principal objetivo de la voladura es fragmentar y apilar el material de acuerdo a los requerimientos de la mina, es decir planta requerirá un tamaño óptimo del material para un mejor rendimiento, la forma de la pila estará sujeta a los equipos de carguío que tengamos disponibles para optimizar su proceso, un claro ejemplo es si tenemos una pila de material alta es factible el uso de palas, si tenemos cargadores es preferible tener una pila echada. El éxito de la voladura como operación unitaria afectará al rendimiento de los procesos posteriores, pero a su vez una buena voladura requerirá de un buen proceso de perforación.

En dicho proceso es necesario identificar los principales objetivos y la finalidad del material para tener una fragmentación adecuada, en minería es muy común que se requiera una fragmentación mínima, aunque para desmonte el tamaño requerido también varia, pero en construcción puede ser totalmente lo opuesto requiriendo bloques de mayor tamaño (EXSA S.A., 2011).

### 2.2.3.2. *Tipos de Voladura a Tajo Abierto:*

Conforme a Bernaola, Castilla, Herrera y ENAEX S.A. (2013) se tiene en cuenta la existencia de 2 tipos de voladura para un adecuado rompimiento: Voladura primaria y voladura secundaria.



**Figura 2.** Taladros en una operación de voladura a tajo abierto.

Fuente: (Bernaola, Castilla, & Herrera , 2013).



#### ***A) La Voladura Primaria:***

La voladura primaria es la que se diseñó previamente en gabinete para unos óptimos resultados tanto en fragmentación (el tamaño según se requiera), vibraciones (mantener las vibraciones por debajo de los límites establecidos), fly rock (evitar que los fragmentos salgan disparados por la energía del explosivo “rifleo”), forma de la pila (es necesario la cantidad adecuada de gases para que la pila pueda desplazarse según requerimiento) y calidad de humos (el explosivo debe de mantener un balance de oxígeno igual a cero).

#### ***B) La Voladura Secundaria:***

Este tipo de voladuras se da cuando la voladura primaria no ha sido eficiente, por lo que la voladura secundaria será un gasto adicional, generalmente se realiza para romper ciertos remanentes que quedaron de la voladura primaria.

#### ***2.2.3.3. Proceso Operativo de la Voladura a Tajo Abierto:***

De acuerdo a BS Consultores (2009) la voladura se realiza posterior a la perforación por lo que la calidad de la voladura se encuentra intrínsecamente amarrada a la calidad de la perforación y estas a su vez afectan a los procesos de carguío y transporte, por lo que la voladura debe tener la siguiente secuencia.

- Evacuación de la zona a volar (se debe de comunicar adecuadamente al personal la hora a dispararse, debe haber señalizaciones, etc).
- Estacionamiento de los equipos de acuerdo al radio de influencia de la voladura.
- Primado y carguío de explosivo.
- QA/QC (calidad) del explosivo.
- Insertar el taco a la columna explosiva.
- Secuenciación de la voladura según diseño.
- Supervisión de seguridad en el sector a volarse.
- Primer aviso y colocación de vigías.
- Últimos avisos y comunicaciones.
- Disparo (chispeo si es pirotécnico).
- Grabación de la voladura para su posterior análisis (fly rock, humos).
- Tiempo mínimo para la dispersión de humos.



- Supervisión de seguridad para la verificación de la voladura.

#### **2.2.4. Diseño de mallas en voladura a tajo abierto:**

Según EXSA S.A. (2011) para una buena voladura se tiene que tener en cuenta tantos los parámetros controlables (pueden ser modificados) y los no controlables (no pueden ser modificados):

##### **A. Parámetros controlables:**

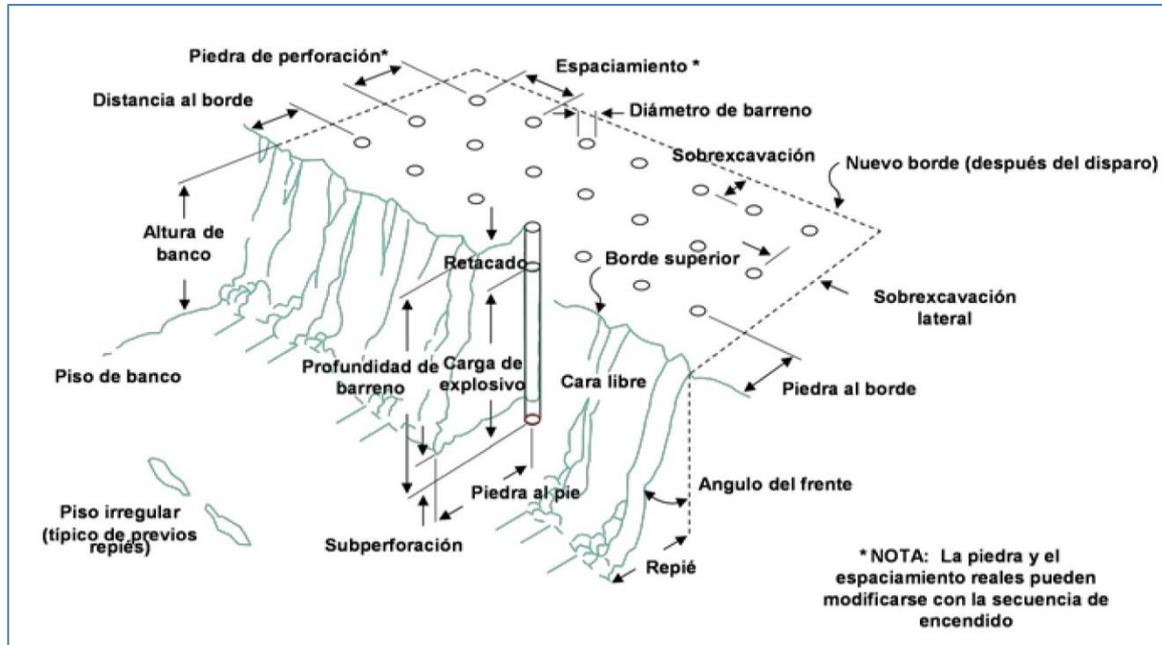
Estos parámetros pueden ser ajustados de acuerdo a los requerimientos que tengamos y deben ser ajustados a los parámetros no controlables para obtener los mejores resultados posibles, existen dos tipos de parámetros controlables que están dados por el tipo de explosivo y el diseño geométrico de la malla:

- a. Parámetros del Explosivo: Son las propiedades netas del explosivo, como su densidad, velocidad de detonación, energía, resistencia al agua, etc. En el mercado hay una gran gamma de explosivos de acuerdo con los requerimientos de cada mina, ya que todas tienen características propias y diferentes a las demás.
- b. Parámetros de Dimensionales o Diseño: Son las propiedades geométricas de la malla (burden, espaciamiento, altura de taco, longitud de carga, sobreperforación, etc), estas pueden ser manipuladas y probadas para diferentes escenarios hasta obtener los mejores resultados, ya que son variables fácilmente ajustables y manipulados por el diseñador.

##### **B. Parámetros no Controlables:**

Estos parámetros no pueden modificarse ya que generalmente son propiedades del macizo rocoso, por lo que el diseñador debe de adecuarse para plantear una malla con la que se logren los mejores resultados teniendo en cuenta las propiedades del macizo rocoso, las propiedades físicas de la roca son las que oponen la resistencia a ser fragmentadas, las propiedades geológicas son las que posiblemente causen algún tipo de dilución y las condiciones en general como la existencia de aguas subterráneas (estáticas y dinámicas), el clima (lluvia), etc.

Para el diseño de una malla se tiene que tener en cuenta los dos parámetros anteriormente mencionados, en la siguiente imagen se puede observar los parámetros controlables de diseño en un banco:



**Figura 3.** Zona de operación de una voladura a tajo abierto.

Fuente: (Bernaola, Castilla, & Herrera , 2013).

#### **2.2.4.1. Parámetros de Diseño de la Malla Primaria:**

Para el diseño de una malla de perforación existen varios autores que proponen ciertos cálculos matemáticos, la mayoría de ellos propone el cálculo del burden y a partir de ello el cálculo de las demás variables, a continuación, se describirá un breve resumen del formulismo de R. Ash conforme a EXSA S.A. y ENAEX S.A. (2011).

- a) Diámetro de taladro ( $\Phi$ ): Esta varía de acuerdo a la altura de banco y la disponibilidad del equipo.
- b) Burden (B): Es la distancia de menor resistencia a la cara libre, este valor es el más importante de todos, ya que de acuerdo a ello cambiarán las demás variables.



- c) Espaciamiento (E): Es la distancia de taladros en una misma fila, este varía de acuerdo a la geometría de la malla (cuadrada, rectangular, cuadrada desfasada, etc).
- d) Malla de perforación (B x E): Es la distribución de los taladros en el Budget de corto plazo, la geometría de la malla generalmente son triángulos equiláteros pero también existen mallas cuadradas o rectangulares con sus variaciones de desfase, esta malla determinará la cantidad de material que se va a disparar.
- e) Sobreperforación (SP): Es la longitud adicional de perforación con respecto al banco, esto para tener un piso más uniforme, en ciertos casos puede no haber.
- f) Longitud de taladro (L): Resulta de la suma entre la altura de banco y la sobreperforación, esta longitud en ciertos casos puede ser igual a la altura de banco de acuerdo con el diseño que se prepara.
- g) Taco (T): Se ubica en la parte superior de la longitud de carga, generalmente se rellena con detritus de la misma perforación, pero este material no es adecuado para un buen confinamiento de la energía por lo que es necesario el uso de áridos o piedra chancada para una buena retención.
- h) Longitud de carga (Lc): Es la porción de la longitud del taladro en la que se ubica el explosivo, generalmente se calcula teniendo en cuenta la altura de banco, la sobreperforación y el taco, pero en ciertos casos se tiene que tener en cuenta las cámaras de aire o si es una carga distribuida.
- i) Densidad de carga lineal (Dcl): Es la cantidad de explosivo que puede ingresar en un metro, está directamente relacionado con la densidad del explosivo y el diámetro del taladro.
- j) Cantidad de explosivo por taladro (Cex): Es la cantidad de explosivo que puede contener cada taladro, se encuentra relacionado con la densidad de carga lineal y la longitud de carga, para su uso en campo es necesario tener un margen de error.



- k) Factor de rigidez (RIB): Se relaciona la altura de banco con el burden y se determina si una malla es rígida o flexible.
- l) Factor de Carga (FC): Es la cantidad de explosivo usado para fragmentar un metro cúbico de mineral.
- m) Factor de Potencia (FP): Es la cantidad de explosivo usado para fragmentar una tonelada de mineral, este es un indicador de productividad que nos determinará la cantidad de explosivo que se usara para un determinado proyecto como a su vez con un determinado tonelaje, es muy común que este varíe de acuerdo a la ubicación de los taladros como a su vez de acuerdo a la dureza de la roca, la cual es la resistencia que tiene el macizo rocoso a ser fragmentado.

Para el cálculo de estos elementos se muestra las fórmulas de R. Ash además de algunas modificaciones y nexos:

**El burden se estima con la siguiente ecuación:**

$$B = \frac{K_b \times \phi}{39.36}$$

Ecuación 2.1

Dónde:

B = Burden (metros).

$\phi$  = Diámetro del taladro (pulgadas).

$K_b$  = Constante según la tabla 2:

**Tabla 2:** Relación de características de roca-explosivo de Ash.

CLASE DE ROCA	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	CLASE DE ROCA		
		BLANDA	MEDIA	DURA
Baja densidad y potencia	0,8 a 0,9	30	25	20
Densidad y potencia medias	1,0 a 1,2	35	30	25
Alta densidad y potencia	1,2 a 1,6	40	35	30

Fuente: EXSA S.A.

**El espaciamiento se estima:**

$$E = K_s \times B$$

Ecuación 2.2

Dónde:

E = Espaciamiento (metros).

B = Burden (metros).

$K_s = 2.0$  para iniciación simultanea de taladros, 1.0 para taladros secuenciados con retardos largos, y 1.0 a 2.0 para taladros secuenciados con retardos cortos.

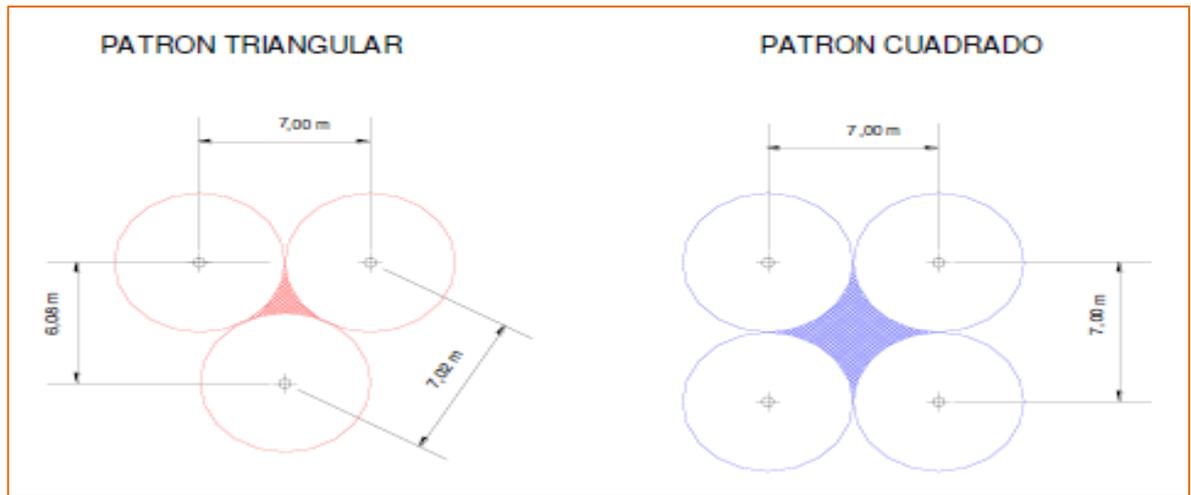
**La malla de perforación que puede ser:**

Cuadrangular: Cuadrada  $E = B$  o rectangular  $E > B$ .

Alternada: Triangular  $E = B/2$ .

En Leiva (2007) se refiere que desde el punto de vista del uso eficiente de la energía de tensión (en rocas tenaces) los esquemas de diseño de malla más efectivos son los triangulares y entre ellos el mejor es la que forma **triángulos equiláteros**, ya que es la que proporciona la mejor distribución de la energía del explosivo hacia la roca. Este diseño mejora la fragmentación ya que tenemos que tener en cuenta que uno de los pilares fundamentales para una buena conminución es la distribución energética del explosivo, además que visualmente se puede deducir que el área afectada en una malla triangular equilátera es menor a una malla cuadrada, pero la desventaja es que la cantidad de taladros va a ser mayor y en zonas débiles no es efectivo el uso de la malla triangular, por ello es necesario estudiar la zona antes de diseñar.

Para ilustrar mejor esta teoría veamos la siguiente figura:



**Figura 4.** Distribución de la energía en los distintos patrones.

Fuente: Hinostroza (2014).

**Dado esto el espaciamiento para la malla triangular equilátera se estima:**

$$E = 2 \times B \times \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Dónde:

E = Espaciamiento (metros).

B = Burden (metros).

$\alpha$  = Angulo del triángulo equilátero que es igual a 60°.

**La sobreperforación se estima:**

$$SP = K_j \times B \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Dónde:

SP = Sobreperforación (metros).

$K_j$  = Constante que va desde 0.2 a 0.4.

B = Burden (metros).

**La longitud del taladro se estima:**

$$L = Hb + SP \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Dónde:

L = Profundidad de taladro (metros).



Hb = Altura de banco (metros).

SP = Sobreperforación (metros).

**El taco se estima:**

$$T = K_t \times B$$

Ecuación 2.6

Dónde:

T = Longitud de taco (metros).

B = Burden (metros).

$K_t$  = Constante que va desde 0.7 a 1.0.

**La longitud de carga se estima:**

a. Cuando el carguío se realiza por taco:

$$L_c = L - T$$

Ecuación 2.7

Dónde:

$L_c$  = Longitud de carga (metros).

L = Profundidad de taladro (metros).

T = Longitud de taco (metros).

b. Cuando el carguío se realiza por relación con la longitud de taladro:

$$L_c = \frac{1}{2}L \text{ ó } \frac{2}{3}L$$

Ecuación 2.8

**La densidad de carga lineal se estima:**

$$D_c = 0.507 \times \phi^2 \times \rho_e$$

Ecuación 2.9

Dónde:

$D_c$  = Densidad de carga lineal (Kg-ex/m).

$\phi$  = Diámetro del taladro (pulgadas).

$\rho_e$  = Densidad del explosivo utilizado (g/cc).

0.507 = Constante de conversión universal.

**La cantidad de explosivo por taladro se estima:**

$$C_{ex} = L_c \times D_c$$

Ecuación 2.10



Dónde:

Cex = Cantidad de explosivo por taladro (Kg-ex/tal).

Lc = Longitud de carga (metros).

Dc = Densidad de carga lineal (Kg-ex/m).

**El factor de rigidez del burden se estima:**

$$RIB = \frac{Hb}{B}$$

Ecuación 2.11

Dónde:

RIB = Factor de rigidez del burden. Este factor nos puede dar valores desde 1 hasta 4, pero la más adecuada es tener un factor de rigidez de 3, aunque por tema de costos es posible disminuir hasta un factor de rigidez de 2.

**El factor de carga se estima:**

$$FC = \frac{Cex}{VR} = \frac{\text{Cantidad de explosivo por taladro Kg - ex}}{\text{Volumen roto por taladro m3}}$$

Ecuación 2.12

**El factor de potencia se estima:**

$$FP = \frac{Cex}{TR} = \frac{\text{Cantidad de explosivo por taladro Kg - ex}}{\text{Tonelaje roto por taladro TM}}$$

### 2.2.5. Análisis de la fragmentación por medio de imágenes.

Conforme a Barona (2014), este análisis se centra en la recolección de imágenes representativas de la voladura, es necesario tener una buena iluminación y tener mínimo tres imágenes para su análisis:



### 2.2.5.1. *Toma de imágenes del disparo.*

La toma de fotografías es el primer paso para un análisis de fragmentación, estas imágenes pueden ser introducidas en diversos softwares, en nuestro caso haremos el uso del software Split, dichas fotografías son realizadas in situ justo antes del carguío o bien mediante cámaras tanto en las palas, fajas, o chancadoras, la toma de imágenes debe cumplir como mínimo los siguiente:

1.- Escaladas: Todas las fotografías a analizarse deben tener un objeto a escalar, ya que esta será nuestra referencia y guía para los tamaños de los fragmentos, en minería a tajo abierto es muy común el uso de esferas, tanto en la parte superior de la imagen como inferior, esto para la corrección del ángulo y distancia de la fotografía.

2.- Iluminadas: La iluminación es la más importante para que el software reconozca adecuadamente los fragmentos para su delimitación y así evitar distorsiones.

3.- Cercanas: Debe de estar a una distancia adecuada para distinguir tantos los fragmentos como el objeto que posteriormente va a ser escalado.

4.- Representativas: Esto tiene que ver con el número de fotografías a tomarse. No existe un estándar, pero se recomienda que este represente a la zona de cresta, zona de contorno, centro de la pila, alrededor y otros. Si la fragmentación es buena y homogénea, unas tres fotos pueden ser suficientes, pero si existe variabilidad hasta unas 8 fotografías pueden ser necesarias. Véase la siguiente figura:



**Figura 5.** Comparación de fotografías para el Split Desktop.

Fuente: Split - Desktop.

#### **2.2.5.2. *Procesamiento de las imágenes del disparo.***

El análisis de la fragmentación se realiza mediante la toma de fotografías, estas deben de ser representativas y a su vez por cada frente de disparo debe tomarse tres fotografías, para al final promediar los resultados, evitando de esta manera sesgos erróneos en el análisis:

1) Ingreso de la imagen: Para realizar el análisis se tiene que cargar o subir las imágenes representativas al software, estas pueden apilarse y promediarse los resultados para un mejor entendimiento de la fragmentación.

2) Delimitación: El software delimita todos los fragmentos posibles de acuerdo a la iluminación del lugar, esta delimitación tiene que ser ajustada al proyecto para su posterior automatización, pero además se tiene que realizar manualmente la delimitación y verificación de los fragmentos para obtener datos los más exacto posible.



**Figura 6.** Imagen delimitada de la fragmentación.

Fuente: Split - Desktop.

3) Escalamiento: En este apartado se toma en cuenta la distancia o tamaño del objeto que tenemos como referencia, en minería, generalmente se tienen esferas como el objeto de escalamiento.



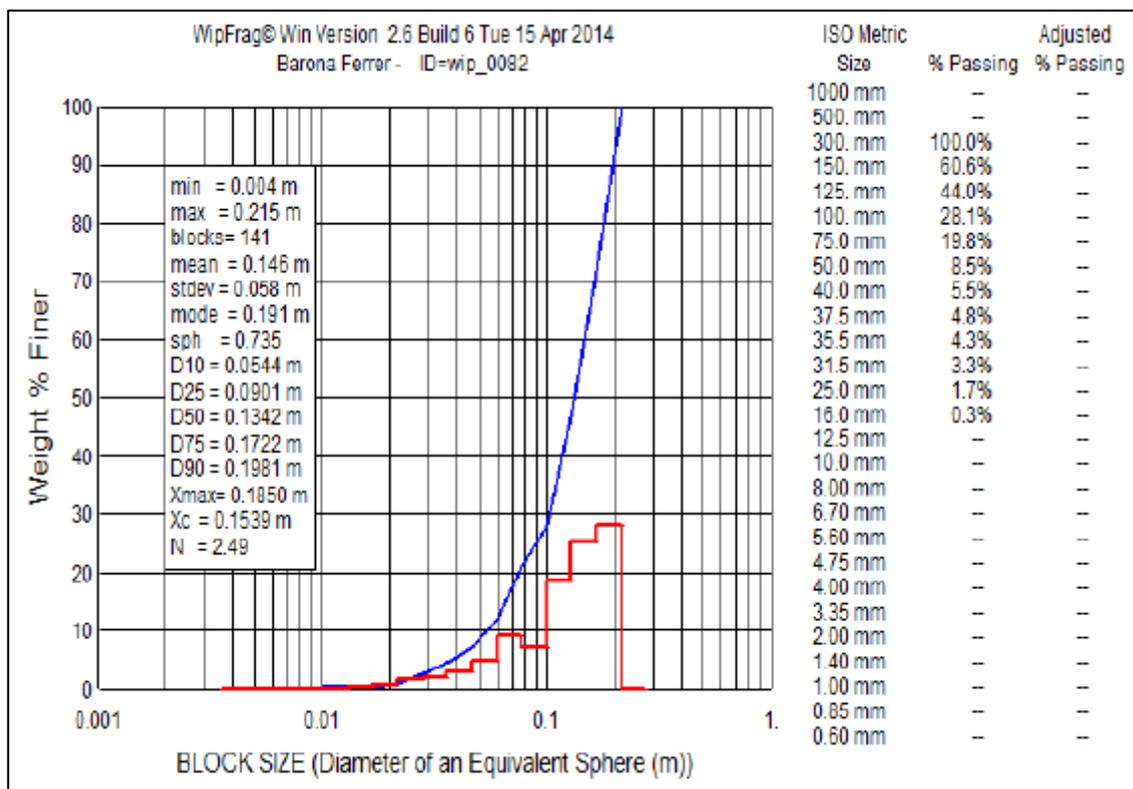
**Figura 7.** Imagen escala con la dimensión del objeto escalador.

Fuente: Split - Desktop.

4) Edición de delimitación: Esta es la parte más importante del análisis ya que se requerirá de un trabajo minucioso para obtener resultados representativos y reales, ya que aquí se delimita tanto la sección de los fragmentos visibles como los finos.

### 2.2.5.3. La curva de fragmentación.

El resultado final es la obtención de una curva granulométrica, en el cual se evalúa el tamaño de los fragmentos con el porcentaje pasante, los valores característicos de este estudio son: 1 pulgada, 10 pulgadas, P50, P80, tamaño representativo ( $X_c$ ), este último es de gran importancia para la elaboración de toda la curva de acuerdo a estudios matemáticos.



**Figura 8.** Curva granulométrica realizada por el software Wipfrag.

Fuente: Barona (2014).

Definiendo términos de fragmentación:

- a) **P80**, es el 80% del total de la pila del mineral fragmentado que son menores a un determinado tamaño, también nos indica la calidad y eficiencia de la voladura,



- además que ello nos sirve como un indicador de productividad, ya que representa el mineral que será procesado sin ningún problema.
- b) **P50 o X50**, es el 50% del total de la pila del mineral fragmentado que son menores a un determinado tamaño.
  - c) **Xc (Tamaño representativo)**, representa el tamaño más común visualizado en una pila de fragmentación, esto principalmente se debe o depende del índice de uniformidad, es decir que tan homogéneos son nuestros fragmentos, es muy común que este tamaño representativo se encuentre cerca de nuestro P50.
  - d) **Finos**, se le denomina finos a los fragmentos resultados de la voladura que no llegan al tamaño mínimo especificado por planta, si tenemos un exceso de finos ello puede causar que no se extraiga todo el mineral que se encuentra en los finos, contribuyendo de esta manera a la dilución, por ello es que se debe de evitar tener una gran cantidad de finos.
  - e) **Bolonería**, se le denomina bolonería a los fragmentos resultados de la voladura que sobrepasan el tamaño máximo especificado por planta, si tenemos una gran cantidad de bolonería esto repercute en problemas mayores como: baja productividad (factor de llenado de palas y camiones), evaluar si se requiere una voladura secundaria, mayor energía en el chancado y molienda para reducir ese fragmento en el tamaño ideal, por ello es que se debe de evitar la bolonería.

### 2.3. SOFTWARES UTILIZADOS:

Los softwares que se utilizaran en esta investigación son:

#### 2.3.1. Hexagon – MinePlan 3D.

Es el software que utiliza la empresa Minera IRL y se utiliza para el control operacional del diseño de la mina, así como para el modelamiento geológico del yacimiento.

Con este software se creará el modelo de trazabilidad para posteriormente crear los patrones de voladura que han de usar en perforación.



### **2.3.2. MS Excel.**

Utilizado de forma universal en el mundo de la ingeniería.

### **2.3.3. Split Desktop.**

Es el software que utiliza la empresa Minera IRL para medir el P80 del mineral fragmentado a través del análisis de imágenes post voladura.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO:

##### 3.1.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación para el presente estudio fue de tipo Cuantitativa - Aplicada, ya que el objetivo principal es lograr reducir la fragmentación del mineral mediante la construcción de un modelo de trazabilidad a partir de un muestreo geológico ship sampling que caracterice de forma básica las propiedades físicas de la roca como: la UCS, la fuerza de Tensión (T); de las diferentes rocas en los distintos tajos de la mina Corihuarmi que asegura una mejor fragmentación de la roca.

##### 3.1.2. Alcance de la investigación.

De acuerdo a su alcance de sus resultados fue Descriptiva, pues en esta investigación se describió el proceso de muestreo geológico ship sampling para caracterizar y tener presente la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de la mina Corihuarmi de modo que se pudo construir una malla de perforación estándar pero con diferente longitud de carga, para roca suave menos carga y para la dura viceversa, de esta forma se mejoró la fragmentación del mineral que beneficie al proceso de chancado & molienda.

##### 3.1.3. Diseño de la investigación.

El diseño que va a utilizarse en esta investigación fue de tipo descriptivo con un diseño transeccional; ya que el muestreo geológico ship sampling se hará de forma sistemática en todos los tajos de la mina Corihuarmi y no de forma aleatoria, para poder construir un modelo de trazabilidad que tenga en cuenta la variabilidad de la roca en cada banco o zona del tajo y se evite promediar las propiedades físicas de la roca, con lo cual se habían obtenido malos resultados en la fragmentación. Este modelo de trazabilidad si bien cambiaría las dimensiones de la malla de perforación actual, no cambiara la



estandarización de esta, una malla de perforación para todos los tajos; no obstante, si insertara la variabilidad de la longitud de carga en voladura.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA:**

### **3.2.1. Población**

La población tomada para este estudio fue la operación de perforación y voladura durante los años 2021 y 2022 en los tajos: Cayhua, Cayhua Norte, Laura, Susan, Diana y Scree Slope.

### **3.2.2. Muestra**

Las muestras fueron tomadas de informes post-voladura y de perforación las cuales forman parte de la línea de base:

#### ***3.2.2.1. Perforación.***

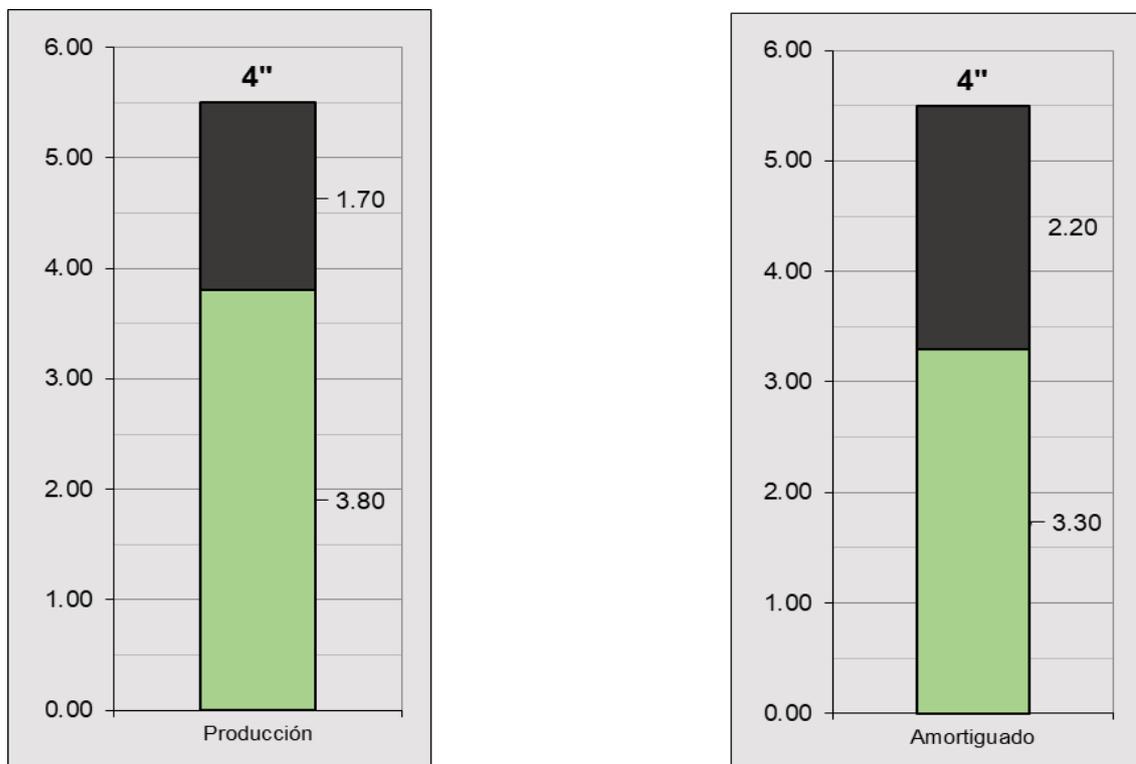
La siguiente malla se utilizó durante el año 2021 antes del periodo de experimentación: marzo, abril y mayo del 2022.

En dicha malla no se usan cámaras de aire, pero se hace uso de una malla de mayor envergadura, esto causando una fragmentación con un menor índice de uniformidad, además que el factor de carga se ve afectado tanto por la distribución geométrica de la malla como la longitud de carga.

**Tabla 3.** Malla de perforación de línea base.

Diseño de Línea Base		
Parámetros de perforación	Producción	Amortiguado
Dureza de Roca	Media	Media
Tipo de Malla	Cuadrada	Cuadrada
Densidad de Roca (ton/m3)	2.24	2.24
Burden (m)	3.40	3.40
Espaciamiento (m)	3.40	3.40
Altura de Banco (m)	5.00	5.00
Sobreperforación (m)	0.50	0.50
Profundidad de Taladro (m)	5.50	5.50
Diámetros de Taladro (pulg)	4	4
Parámetros de Voladura		
Densidad del Explosivo (gr/cc)	0.85	0.85
Carga Lineal (kg/m)	6.90	6.90
Cantidad de Explosivo (kg)	26.20	22.75
Taco (m)	1.70	2.20
Longitud de Carga (m)	3.80	3.30
Toneladas por Taladro (Ton/tal)	129.47	129.47
Factor de Carga (kg/m3)	0.453	0.394
Factor de Potencia (kg/ton)	0.202	0.176

Fuente: Área de perforación y voladura de la Minera IRL.

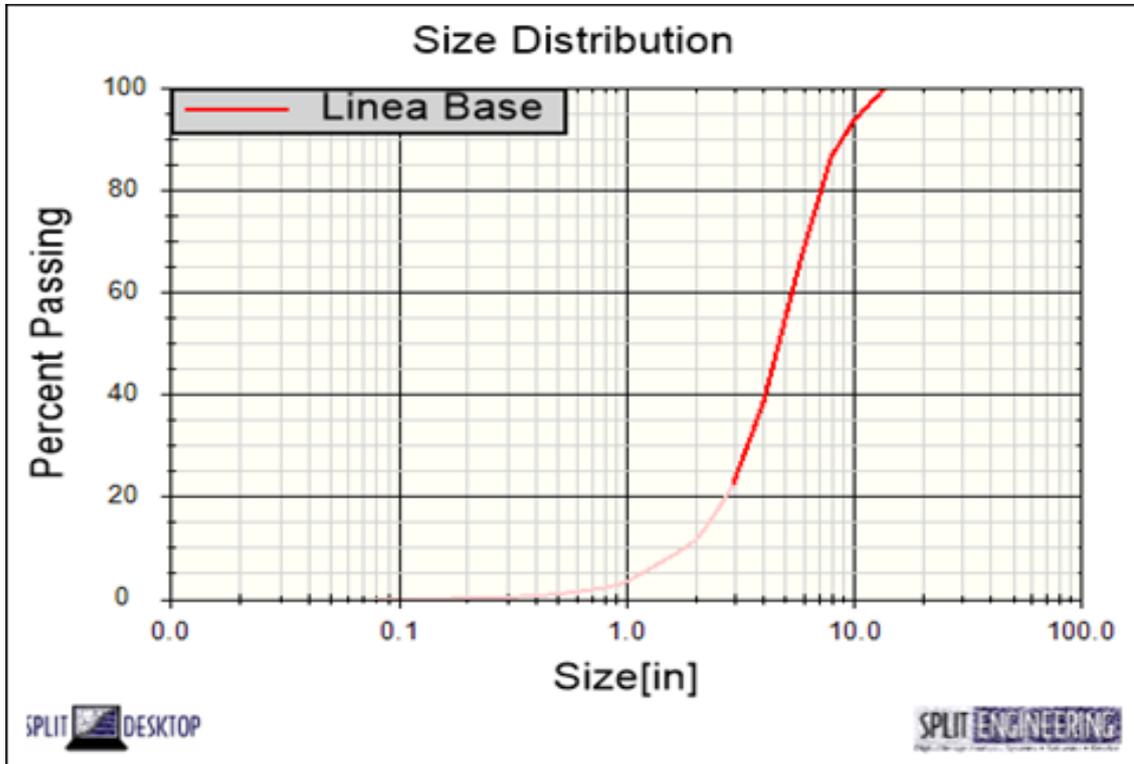


**Figura 9.** Diseño de carga de la malla de línea base.

Fuente: Área de perforación y voladura de la Minera IRL.

### 3.2.2.2. Voladura.

Para el análisis de voladura se tomó en cuenta la medición de la fragmentación con el software Split Desktop.



**Figura 10.** Curva granulométrica de la fragmentación de rocas.

Fuente: Área de perforación y voladura de la Minera IRL.

**Tabla 4:** Tamaño y porcentaje del pasante de la fragmentación de rocas.

Size[cm]	Size[in]	% Passing
38.10	15.00	100.00
25.40	10.00	94.47
20.32	8.00	87.70
15.24	6.00	70.96
10.16	4.00	44.57
5.08	2.00	18.47
2.54	1.00	7.65
1.91	0.75	5.31
1.27	0.50	3.18
0.97	0.38	2.21
0.64	0.25	1.32
0.48	0.19	0.92
0.20	0.08	0.31

Fuente: Área de perforación y voladura de la Minera IRL.

Según los resultados de la tabla 5, podemos deducir que la presencia de finos es aproximadamente 7%, como a su vez hay mínima presencia de bolonería la cual debe reducirse.

### 3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:

Las variables de esta investigación son:

#### a) Variable Dependiente:

Fragmentación del mineral en la mina Corihuarmi – Minera IRL.

#### b) Variable Independiente:

Modelo de trazabilidad a través del muestreo geológico ship sampling en la mina Corihuarmi – Minera IRL.

Bajo la premisa anterior se tiene la siguiente operacionalización de la variable independiente:

**Tabla 5:** Operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES
<b>Fragmentación del mineral (P80) con muestreo geológico ship sampling</b>	Muestreo geológico ship sampling	Área muestreada	m <sup>2</sup>
		Tamaño de la muestra	m
		Representación del área	# muestras
	Dureza de la roca	Resistencia a la compresión de la roca (UCS)	Mpa
			Mpa
	Diseño del modelo de bloques geotécnico CP	Rocas dominantes	Zonas/tajo
		Codificación de los bloques	Colores
	Parámetros para en el diseño de voladura	Longitud de carga	m/tal
		Longitud del taco	m/tal
		Factor de carga	kg-exp/TM
	Evaluación Post Voladura de la Fragmentación del mineral	Imágenes de los disparos	Imágenes
		Cantidad de fragmentos <= a 7" o 20 cm	%
Tamaño promedio de los fragmentos		Pulgadas y cm	

Fuente: Tesista.

### 3.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

La recolección de datos para este estudio está dividido en dos partes:

La primera parte contiene a la línea de base, que se entiende como el “Antes de”. En el caso de la mina Corihuarmi, la línea de base se compone de datos históricos (archivos) y muestras que fueron recolectadas de la voladura convencional, así como el análisis de fragmentación que se tenía en algunos meses del año 2021. Véase un resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 6:** Esquema de la línea de base del estudio.

<b>Línea de base del estudio</b>		
<b>Voladura anterior</b>	<b>Resultados en voladura</b>	<b>Variable dependiente</b>
Fragmentación del mineral con voladura convencional.	Tamaño de fragmentos del mineral 7" a 8.5", siendo el P80 = 17.7 cm a 21.6 cm.	Fragmentación sin el muestreo ship sampling.

Fuente: Elaboración tesista.

La segunda parte contiene a la investigación aplicada, que se entiende como el “Después de”. En el caso de la mina Corihuarmi, la investigación aplicada se compone de la voladura con cámaras de aire y la fragmentación del mineral después de aplicar las cámaras de aire durante los años 2021 y 2022. Véase un resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 7:** Esquema de la investigación aplicada del estudio.

<b>Investigación aplicada del estudio</b>		
<b>Variable independiente</b>	<b>Resultados en voladura</b>	<b>Variable dependiente</b>
Fragmentación del mineral con cámaras de aire.	Tamaño de fragmentos del mineral 5.25" a 6.5", siendo el P80 = 13.34 cm a 16.5 cm.	Fragmentación con el estudio ship sampling.

Fuente: Elaboración tesista.



## CAPÍTULO IV:

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. UBICACIÓN Y ACCESO:

La Mina Corihuarmi está ubicada en el Distrito de Huantán, provincia de Yauyos, región de Lima, las coordenadas centrales en el sistema UTM WGS 84, son las siguientes: 8'609,964.23 N, 438,112.19 E, a una altitud que varía entre 4700 y 4900 msnm correspondiente a la zona 18 L.

Hay dos rutas principales desde Lima al área del proyecto que se detallan en la tabla 9:

**Tabla 8:** Accesos a la Mina Corihuarmi.

<b>Lima - Huancayo - Vista Alegre - Mina Corihuarmi</b>			
<b>Ruta</b>	<b>Vía</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo (Hrs)</b>
Lima - Huancayo	Carretera asfaltada	330	6.0
Huancayo - Vista Alegre	Carretera asfaltada	45	1.5
Vista Alegre - Mina Corihuarmi	Camino de tierra	70	2.5
<b>TOTAL</b>		<b>445</b>	<b>10.0</b>
<b>Lima - Cañete - Lunahuaná - Yauyos - Llapay - Valentín - Mina Corihuarmi</b>			
Lima - Cañete - Lunahuaná	Carretera asfaltada	145	2.5
Lunahuaná - Yauyos - Llapay	Carretera asfaltada	155	4.0
Llapay - Valentín - Mina Corihuarmi	Camino de tierra	70	3.5
<b>TOTAL</b>		<b>370</b>	<b>10</b>

Fuente: Elaboración tesista.

#### 4.2. OTROS ASPECTOS DE LA ZONA:

##### 4.2.1. Clima.

La mina Corihuarmi presenta temperaturas positivas durante el día y negativas mayormente todos los meses durante las noches. En dicha zona son característicos los congelamientos por las noches y las precipitaciones sólidas, se ubica en una zona de clima frío debido a la altitud, con una marcada diferencia térmica entre la exposición al sol y a



la sombra, siendo esta diferencia mayor entre el día y la noche, en general el frío es bastante intenso, con medias anuales cercanas a 3°C, con temperaturas nocturnas negativas prácticamente todas las noches del año, e incluso en días nublados, el promedio anual de temperatura del área se establece entre 2 y 4°C, y la temperatura disminuye aproximadamente 6,5°C por cada km que se asciende en altitud, el promedio anual presenta una marcada diferencia respecto a los valores que ocurren diariamente, ya que las fluctuaciones más fuertes se presentan entre los mínimos de noches y madrugadas, frente a las máximas de poco después de mediodía. A lo largo del año los promedios mensuales difieren entre sí de 1 a 3°C, mientras que la fluctuación diaria supera fácilmente 10°C entre sus madrugadas y los mediodías. Esta condición, tan variable durante el día, se debe a la rápida ganancia y pérdida de calor por el paso de la radiación en una atmósfera de altitud poco densa

#### **4.2.2. Precipitación.**

La mina Corihuarmi está ubicada en elevaciones entre 4,500 y 5,050 metros sobre el nivel del mar y la principal divisoria andina y su topografía comprende una serie de colinas y crestas que se elevan aproximadamente 500 m sobre una meseta alpina ondulada, experimenta un régimen climático de tundra seca de alta montaña, la precipitación es marcadamente estacional y la precipitación total anual es de 730 mm.

### **4.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO:**

#### **4.3.1. Geología Regional.**

La Geología Regional de los Andes peruanos está relacionada a la dinámica de la tectónica de placas que se evidencia por grandes procesos geomorfológicos, litoestratigráficos, estructurales y geodinámicos. Este fenómeno geológico en muchos períodos compresivos dio origen a la Cordillera de los Andes.

La zona de convergencia en la costa peruana se presenta en una zona del tipo de margen continental activo producto de la subducción de la placa tectónica de Nazca hacia la plataforma continental sudamericana. Este proceso se inicia en la zona de subducción (alta temperatura y densidad) en la que la roca se funde produciéndose un magma de composición intermedia a ácida el cual asciende e intruye sucesivamente por el impulso



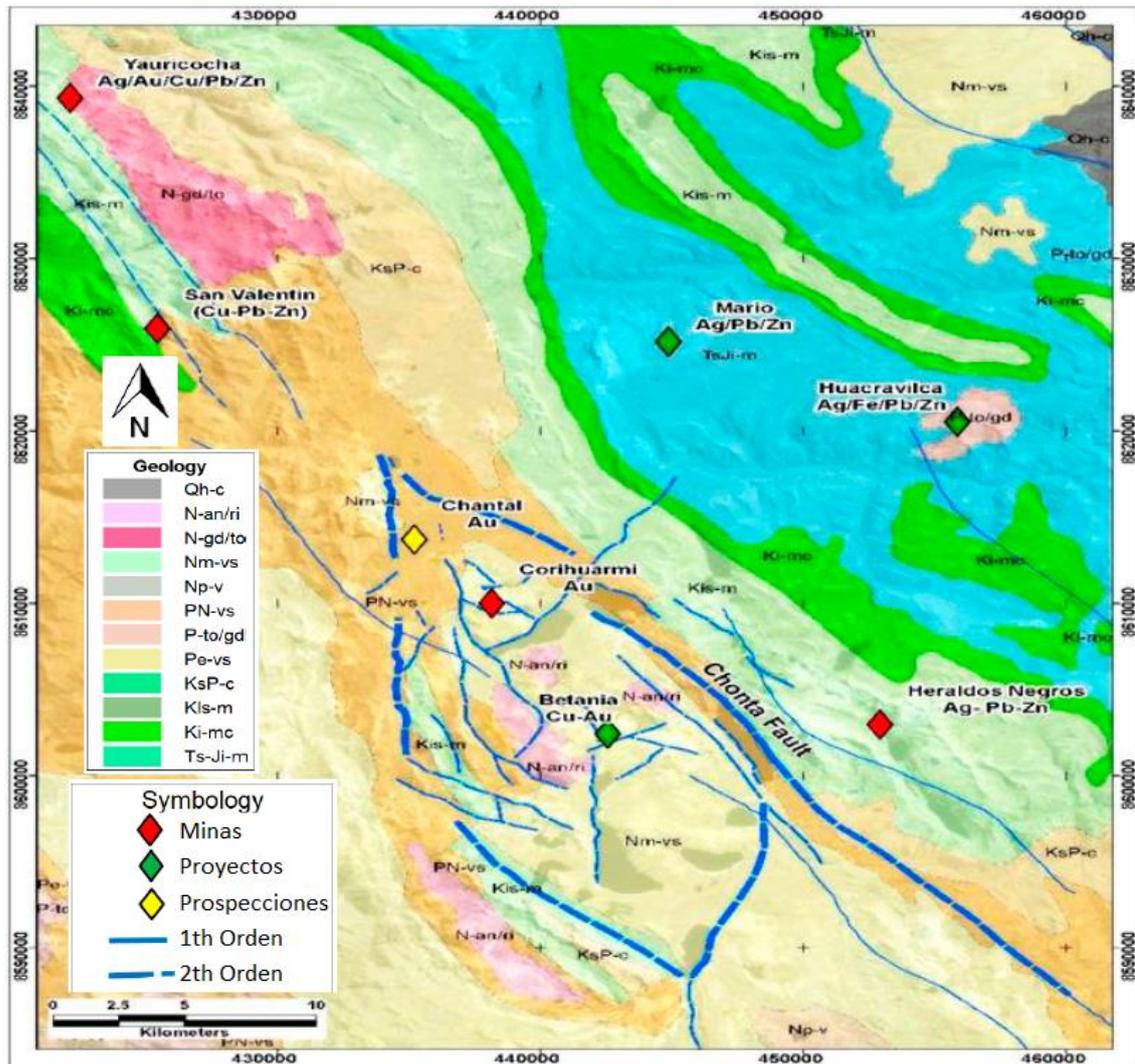
de las fuerzas tectónicas originando reacciones que altera y muchas veces mineraliza su entorno litoestratigráfico-geomorfológico.

La mina Corihuarmi se ubica al Norte del “Cinturón epitermal oro-plata del sur del Perú”, en el sector Oeste de la Cordillera de los Andes, encontrándose principalmente dos zonas mineralizadas: Susan y Diana, las cuales corresponden a un modelo epitermal de alta sulfuración emplazadas en rocas volcánicas dacíticas terciarias, asimismo en este ambiente de caldera volcánica se encuentran brechas, tufos y piroclastos.

Las características topográficas dominantes son afloramientos silíceos de gran altura alineados en una dirección NW-SE. Se sabe además que el sistema de los fluidos hidrotermales responsables de la mineralización de oro fue proveído mediante la coincidente intersección de las tendencias de fallas regionales NW, NE y EW.

La estratigrafía en la zona del proyecto está principalmente representada por afloramientos de secuencias volcánicas-sedimentarias de edades Cenozoicas, las cuales se extienden al lado E, SE y S; asimismo existen secuencias sedimentarias carbonatadas del Mesozoico que afloran en el lado N, NE y E del proyecto, las cuales en su mayoría están cubiertas por material Cuaternario (The Andean Consulting Group SAC, 2017, p. 31).

El plano de la geología regional se encuentra en el Anexo A.



**Figura 11.** Geología Regional.

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

### **Formación Chúlec - Pariatambo (Ki-chp)**

Esta secuencia sedimentaria se encuentra constituida por una secuencia de calizas arenosas, areniscas calcáreas, alternadas con horizontes de margas, lutitas y en ocasiones con niveles de lutitas carbonosas. Presentan fuertes plegamientos con dirección NO-SE. En superficie se presenta muy fracturada y regularmente alterada, se le asigna una edad del Cretáceo Inferior (Minera IRL S.A., 2012, p. 4).



### **Formación Jumasha (Ks-j)**

Esta formación presenta una litología de estratificación regularmente maciza con calizas grises y en algunas zonas se puede presentar como una secuencia lajosa de calizas oscuras; se encuentra sobreyaciendo a la formación Chulec-Pariatambo (Minera IRL S.A., 2012, p. 4).

### **Formación Casapalca (KsTi-c)**

Esta formación está representada por afloramientos de areniscas y limonitas rojas, con algunos planos de areniscas más finas y conglomerados calcáreos cuarzosos (Minera IRL S.A., 2012, p. 4).

### **Formación Sacsaquero (Tm-ss)**

Esta formación constituye una secuencia volcánica-sedimentaria, principalmente constituida por derrames andesíticos, tobas, areniscas y rocas limosas-argiláceas. Esta aparece a elevaciones menores, principalmente en la zona oeste del proyecto (Minera IRL S.A., 2012, p. 5).

### **Formación Castrovirreyna (Ts-c)**

Esta formación se encuentra sobreyaciendo en discordancia erosional con la formación Sacsaquero y presenta lavas volcánicas en la base, aglomerados volcánicos, secuencia sedimentaria piroclástica, y hacia la parte superior brechas tobáceas alternadas con tobas y limos arenosos (Minera IRL S.A., 2012, p. 5).

### **Formación Caudalosa (Ts-c)**

Esta es una secuencia volcánica, principalmente constituida por piroclastos, flujos andesíticos, riolacitas y flujos de brechas andesíticas intercaladas con areniscas tobáceas y piroclastos (Minera IRL S.A., 2012, p. 5).

### **Formación Astobamba (Ts-as)**

Esta es una secuencia volcánica constituida por flujos andesíticos, tobas ignimbríticas, piroclastos, y dacíticas intrusivas. Está principalmente distribuida en una zona meridional, coronando los picos principales, como el cerro Cayhua y en el lado ESE se encuentra los tajos Susan y Diana. Estos afloramientos presentan grados variables de

una intensa alteración hidrotermal típicos de un sistema de alta sulfuración (Minera IRL S.A., 2012, p. 5).

### **Formación Auquivilca (Ts-a)**

Esta formación se encuentra sobreyaciendo en discordancia a la formación Caudalosa con la cual se interdigitan localmente y está constituida por rocas tobáceas macizas, en la parte superior areniscas y limoarcillitas intercaladas con calizas y tobas sueltas (Minera IRL S.A., 2012, p. 5).

### **Depósitos Cuaternarios**

Se encuentran ampliamente distribuidos regionalmente, constituidos por depósitos morrénicos y coluviales, en algunos casos afectados por procesos de remoción y deposición. Dependiendo del principal agente de transporte, se tornan en depósitos fluvial-glaciales, coluvial-glaciales y coluvial-aluviales. Además, algunos afloramientos han sido fuertemente alterados y erosionados, originando suelos residuales (Minera IRL S.A., 2012, p. 5).



**Figura 12.** Depósitos coluviales ubicados en la parte inferior de la ladera.

Fuente: Mina Corihuarmi.

Los depósitos morrénicos están distribuidos en los extremos oeste y este de la zona del proyecto. En el lado oeste, estos depósitos están emplazados en el fondo del valle. En el lado este y a lo largo de colinas que cruzan el camino de acceso al proyecto son más

angostos. Estos depósitos están compuestos por gravas subangulares a subredondeadas y bloques medianos, en una matriz de grava fina, arenosa y limosa.

Los depósitos fluvio-glaciales están extendidos en una banda paralela al río Chacote, conformando terrazas y conos aluviales por sobre los cuales se emplazan depósitos pantanosos. Los depósitos coluvio-glaciales están ubicados en taludes moderados a suaves, donde los depósitos morrénicos han sido redepositados, y están compuestos por gravas arenosas, con bolonería mayormente angular a subangular. Además, se han reconocido depósitos pequeños de grava limosa-arenosa, incluyendo clastos angulares, que se extienden como conos de deslizamientos menores.

Con respecto a los suelos residuales, están principalmente expuestos en la parte Este del área, constituidos principalmente por gravas arcillosas-arenosas, marrones a grises azuladas.



**Figura 13.** Conglomerados heterométricos ubicados en la mina Corihuarmi.

Fuente: Mina Corihuarmi.

#### **Falla de Motejato:**

Esta falla se localiza al SE de San Vicente de Cañete (Ica) y se orienta en dirección acimutal de N290° y N305° con ángulo de buzamiento entre 65° y 85° en dirección Norte. Esta falla es de tipo normal y alcanza un salto vertical de siete metros (Minera IRL S.A., 2012, p. 6).

### **Falla de Huaytapallana**

Esta falla se localiza en la Cordillera del mismo nombre al Noreste de la ciudad de Huancayo y tiene una orientación NW-SE y con un ángulo de buzamiento de  $50^\circ$  en dirección NE Esta falla es de tipo inverso y está compuesta por dos tramos de 4.5 y 9.5 km de largo visibles en superficie con un salto vertical de 1.7 a 2 m (Minera IRL S.A., 2012, p. 6).

#### **4.3.2. Geología Local.**

El depósito de Corihuarmi está compuesto por rocas volcánicas intermedias a ácidas presentando afloramientos dacíticos de secuencias estériles y mineralizadas cuyas características topográficas notables asociadas con las rocas volcánicas se encuentran hidrotermalmente alteradas por fluidos de composición silícea las cuales se encuentran muchas veces rodeadas por un halo de alteración argílica y con zonas de alteración propilítica en la periferia.



**Figura 14.** Afloramiento de dacitas en la mina Corihuarmi.

Fuente: Mina Corihuarmi.

Los depósitos de oro sobre los cuales se desarrolla el Proyecto Corihuarmi se encuentran sobre dos afloramientos conocidos: Susan y Diana, ambos están compuestos por sílice masiva o cavernosa (dacitas silicificadas). El contenido de sílice en la zona mineralizada puede ser 90% o más asociándose el oro a la sílice cavernosa, sin embargo,



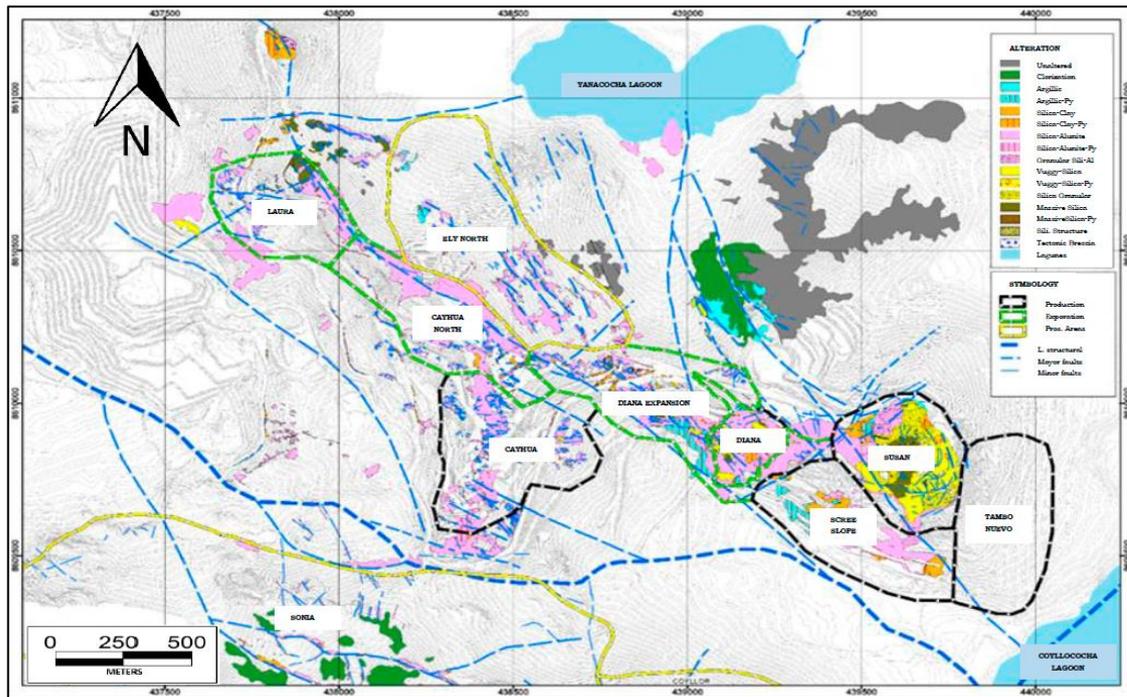
no toda la sílice cavernosa se encuentra mineralizada ya que adicionalmente en el Tajo Diana se encuentran zonas mineralizadas con débil a media alteración argílica.

El depósito Susan cubierto superficialmente por sílice estéril representa probablemente el estadio final de la deposición hidrotermal donde el contenido de oro es notablemente uniforme a través de las decenas de metros de grosor con leyes altas hacia la parte norte (zonas de brechas) y con leyes menores hacia el SE. En Susan y Diana, las cubiertas con leyes mayores a 0,4g/t de Au tienen de 15 m a 50 m de espesor con orientación SE, siendo Diana más dura y silicificada que Susan. En ambos afloramientos, dentro de la cubierta mineralizada las mejores leyes se encuentran en los niveles superiores al NW de Susan y al SW de Diana, con una tendencia negativa siguiendo el buzamiento pudiendo estar relacionado con la ubicación del sistema de alimentación de oro.

El fracturamiento regional es un típico tectonismo por bloques con un sistema conjugado de orientación andina (NNW) y otros de orientaciones W-E y NE-SW que controlan el campo estructural del yacimiento, asociadas también a fracturas de bajo ángulo que forman paleo-conductos o feeders por donde ascendieron los fluidos mineralizantes. Estas estructuras presentan goethita y jarosita, así como óxidos limoníticos residuales y constituyen controles importantes de la mineralización.

La oxidación se encuentra presente en toda la zona mineralizada, caracterizándose las brechas hidrotermales y la roca de matriz silíceo cavernosa por presentar óxidos de hierro a veces muy intensas generalmente dando a la roca una textura porosa excepto en áreas con presencia de sílice masiva. Por otro lado, la mineralización contiene bajos contenidos de cobre (5-20 ppm) y particularmente el Tajo Diana presenta pátinas de azufre nativo y en los límites de la mineralización altos contenidos de pirita (Minera IRL S.A., 2012, p. 7).

El plano de la geología local se encuentra en el Anexo B.



**Figura 15.** Geología local

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

### 4.3.3. Alteración y Mineralización

La alteración se encuentra asociada a rocas volcánicas hidrotermalmente alteradas por fluidos de composición silícea, presentándose como sílice cavernosa y masiva, cuarzo alunita rodeada de un halo de alteración Argílica y en la periferia una incipiente alteración propílica.

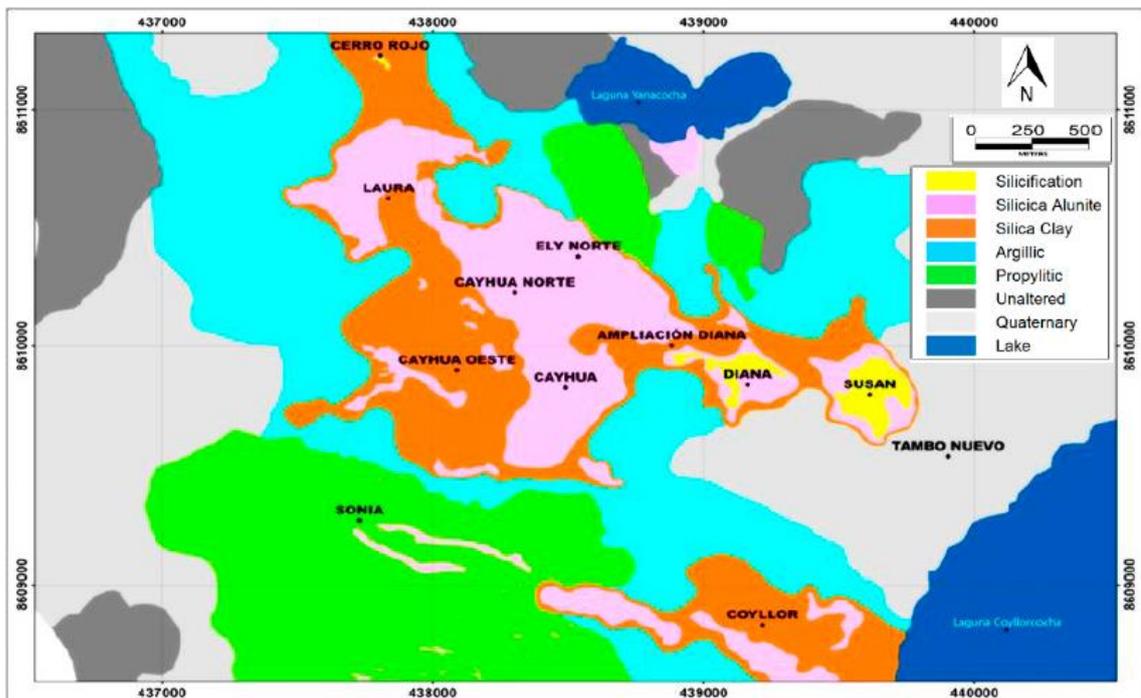
En el Sector mineralizado de Corihuarmi, los elementos constituyentes de la roca original, tales como Al, K, Na, S y otros han sido completamente lixiviados por las soluciones hipógenas residuales ácidas del sistema hidrotermal convectivo de origen freato-magmático y como resultado del enfriamiento progresivo y neutralización de estas soluciones existen reemplazamientos masivos de roca (pervasiva alteración) conformando cuerpos de sílice porosa residual y pipes de brechas de siliceo-alunita asociados a fracturas dominantes del sistema NW y WE y que finalmente constituyen la roca huésped de la mineralización aurífera diseminada.

Las facies de alteración y su zoneamiento observados hacen suponer que éstas se forman y desarrollan a temperaturas  $<300^{\circ}\text{C}$ , con un  $\text{pH } 2 < 3$  mientras que la actividad geotermal antigua ha canalizado los fluidos desde las estructuras alimentadoras (feeders)

del sistema tanto hacia arriba como hacia las partes externas percolando los fluidos lateralmente formando cubiertas de alteración mineralizadas.

El oro se encuentra asociado a la plata siendo el tamaño promedio de 4-6  $\mu$  y esta así mismo asociado a la pirita en inclusiones de 1-3  $\mu$  conjuntamente a la alunita (potásica) en menor proporción. La jarosita y pirita hipógenas casi siempre alteran a hematitas-limonitas y están en todos los ensambles presentes en el yacimiento y reconocidos por microscopía. El azufre nativo está presente en todo el sistema como pequeños aglomerados e impregnados junto a la alunita y el cuarzo. Al parecer, en este sistema epitermal de alta sulfuración también existe un zoneamiento lateral y vertical del ensamble mineralógico más o menos coincidente con el zoneamiento geoquímico encontrado, lo que representa una excelente guía de prospección (Minera IRL S.A., 2012, p. 8).

El plano de los principales cuerpos geológicos se encuentra en el Anexo C.



**Figura 16.** Principales cuerpos geológicos.

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

La mineralización más significativa está asociada con las áreas de Diana Expansion, Cayhua, Cayhua North, Scree Slope, Laura, Susan y Scree Slope Expansion (Figura 7.4),



que comprenden acantilados de sílice mineralizados remanentes. La capa silíceo tiene un espesor de 10m a 75m, y un promedio aproximado de 45m.

El zonamiento de alteración que presenta el yacimiento de afuera hacia dentro es el siguiente:

#### **Alteración propilítica, ensamble qtz-clor-(py):**

De coloración verde oscuro, está caracterizada por la aparición de alteraciones débiles de hidrólisis que conforman núcleos cloritizados de minerales máficos, también aparecen piritas diseminadas junto a sílice microgranular. Ocupa de manera irregular la periferia del yacimiento Corihuarmi (Minera IRL S.A., 2012, p. 8).

#### **Alteración argílica intermedia, ensamble qtz-ill.-mont (kao-py)**

Representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica, con un brusco cambio de coloración de la roca original hacia tonos claros (blanquecinos) debido a la presencia de arcillas (illita - montmorillonita, a veces caolinita - sericita) como producto principal de alteración hipógena de las plagioclasas. Los feldespatos potásicos están mayormente en la matriz pudiendo estar frescos o argilizados y son de menor granulometría. Los ferromagnesianos han podido formar piritas secundarias y luego óxidos de hierro; estos últimos, constituyen por lo general un halo marginal de coloración rojiza evidente (Minera IRL S.A., 2012, p. 9).

#### **Alteración argílica avanzada, ensamble qtz-aln-(kao)**

Es el tipo de alteración de mayor presencia en el yacimiento, envuelve los cuerpos de sílice residual (vuggy sílica) y aparece distribuida de manera difusa en lugares bastante alejados de los canales principales de circulación de fluidos. La alunita aparece como agregados aciculares y alteran moldes de fenos; también están como agregados pulverulentos de menor granulometría y en venillas, presentando colores blancos-amarillentos y rosados típicos (Minera IRL S.A., 2012, p. 9).

#### **Alteración de sílice residual (vuggy silica, ensamble sílice-aln)**

La conforma el cuerpo central del sistema epitermal de alta sulfuración, presentándose en el Tajo Susan y Diana como típicas rocas silicificadas muy porosas con bordes corroídos y cuyos vacíos son cavidades angulosas que han sido formadas por



actividad lixivante de los fluidos ácidos hidrotermales que actuaron de manera selectiva sobre los feldespatos, ferromagnesianos, pero sin poder destruir a los cristales del cuarzo.

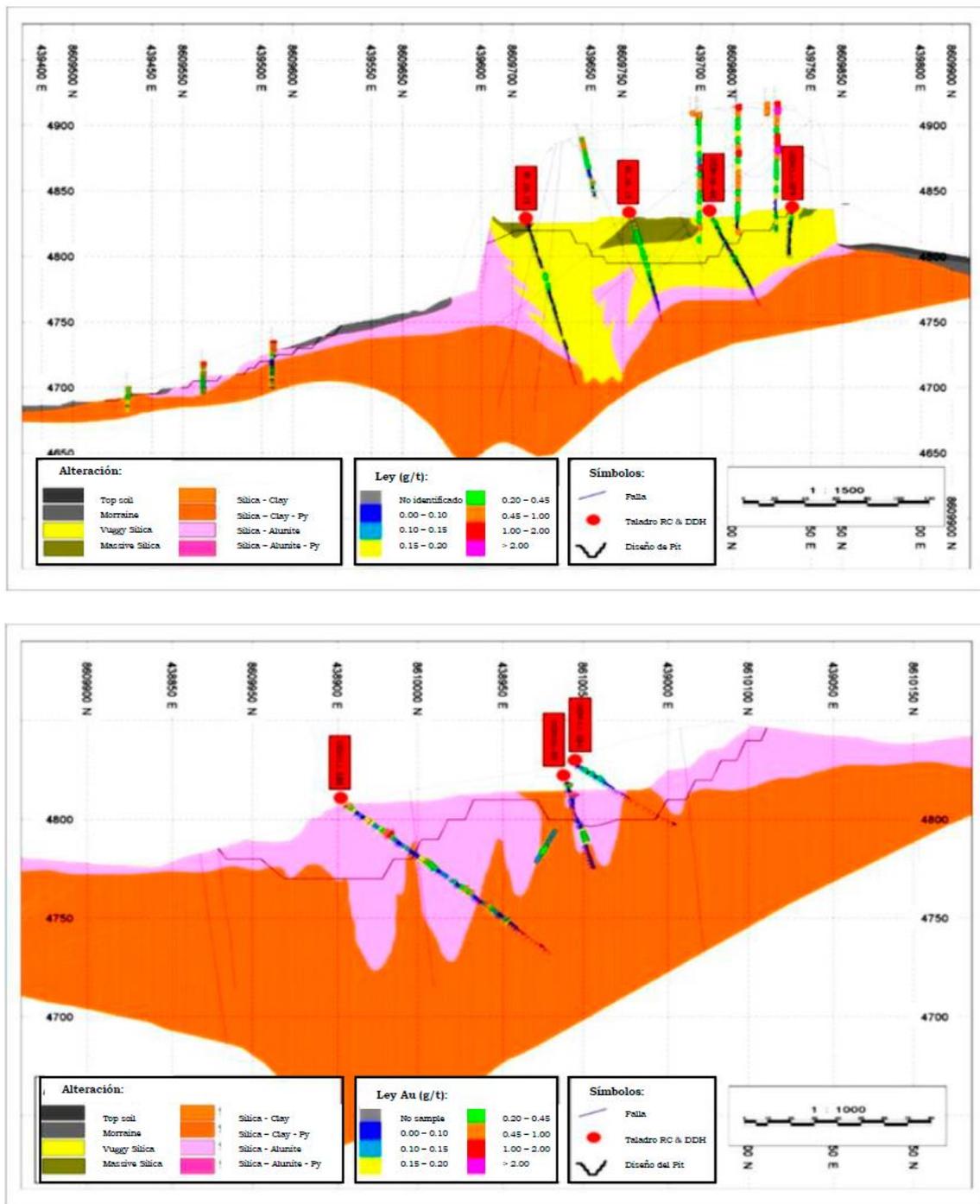
Es frecuente la presencia de cuarzo gris criptocristalino relleno de microfracturas y poros; al parecer este evento de silicificación tiene gran afinidad a precipitar Au.

Corihuarmi es un depósito Epitermal de Alta Sulfuración, con mineralización diseminada de Au y Ag. Hospedada dentro de una secuencia volcánica terciaria de composición andesítica - dacítica.

La mineralización en los tajos Susan y Diana está relacionada con la alta sulfuración epitermal y se interpreta que se han formado a una profundidad relativamente poco profunda. La mineralización está alojada en rocas volcánicas dacíticas y andesíticas, que han sido sometidos a alteración hidrotermal.

La mineralización de oro más importante en Corihuarmi se produce en dos afloramientos principales conocidas como Diana y Susan. Las dos zonas son separadas por aproximadamente por 175 m. La mineralización en ambas zonas está alojada en planos poco profundos de inmersión rocas silicificadas dacíticas y sílice vuggy junto con diversas brechas hidrotermales. El contenido de sílice dentro de las zonas mineralizadas es de 90% y la mineralización de oro está asociada principalmente a la zona de óxidos (Minera IRL S.A., 2012, p. 9).

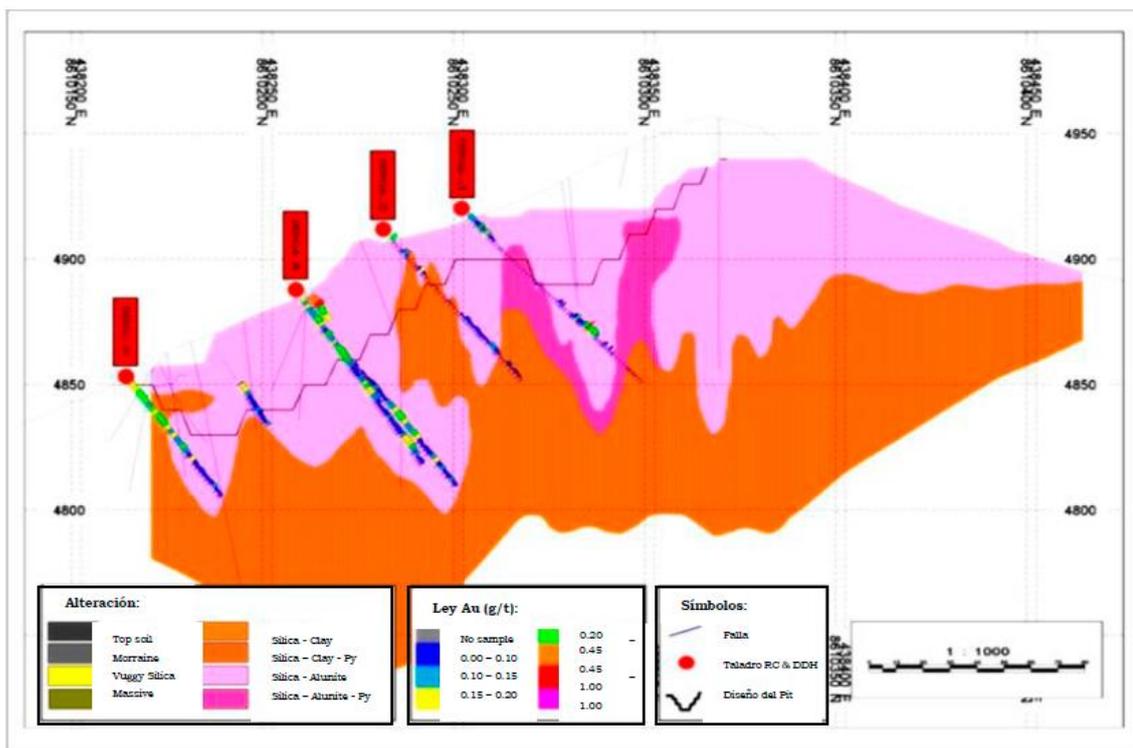
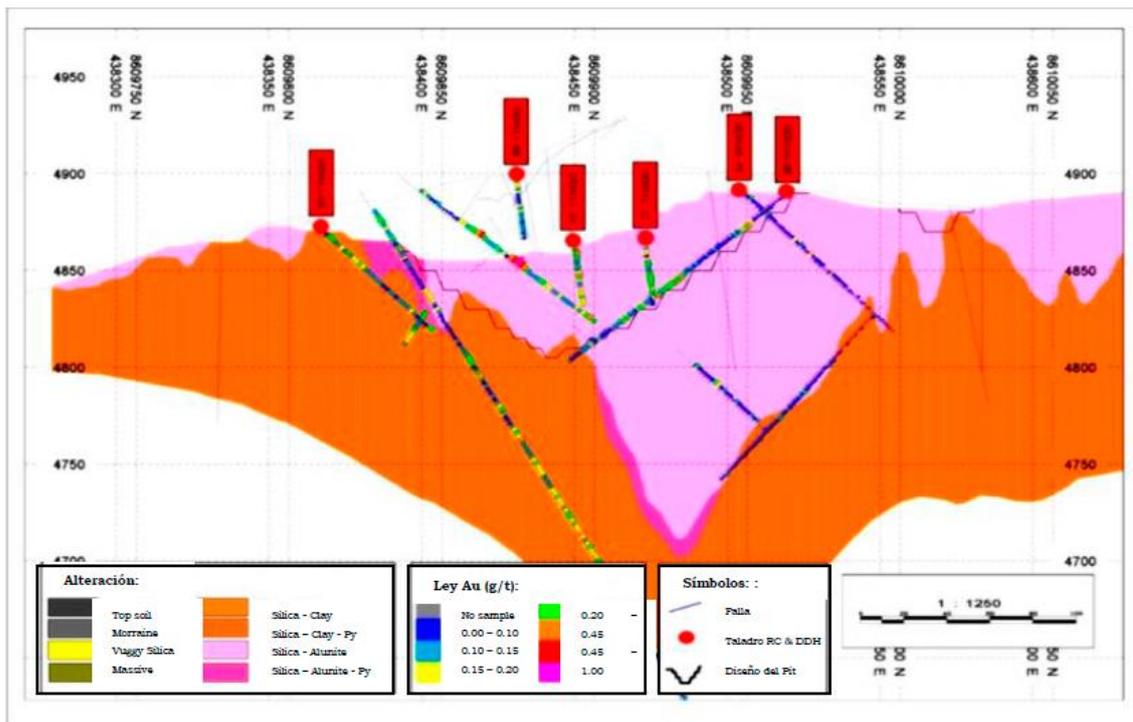
El plano de las secciones geológicas del tajo Suan y Diana se encuentra en el Anexo D.



**Figura 17.** Sección de la Zona Susan y Diana.

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

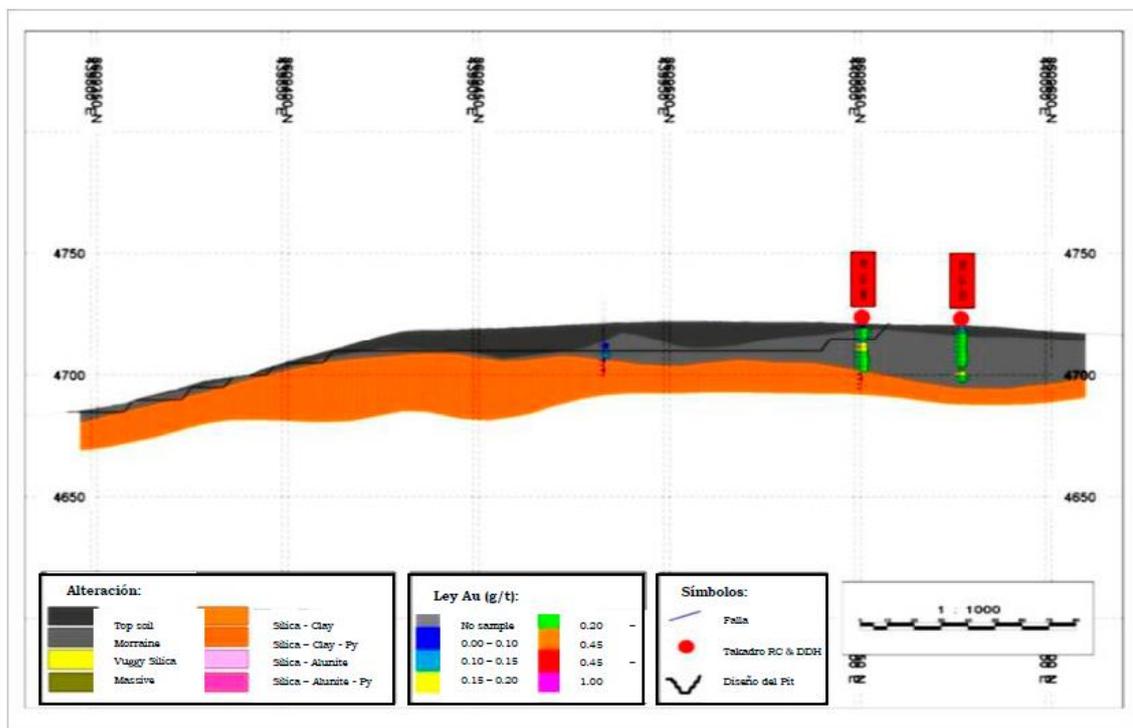
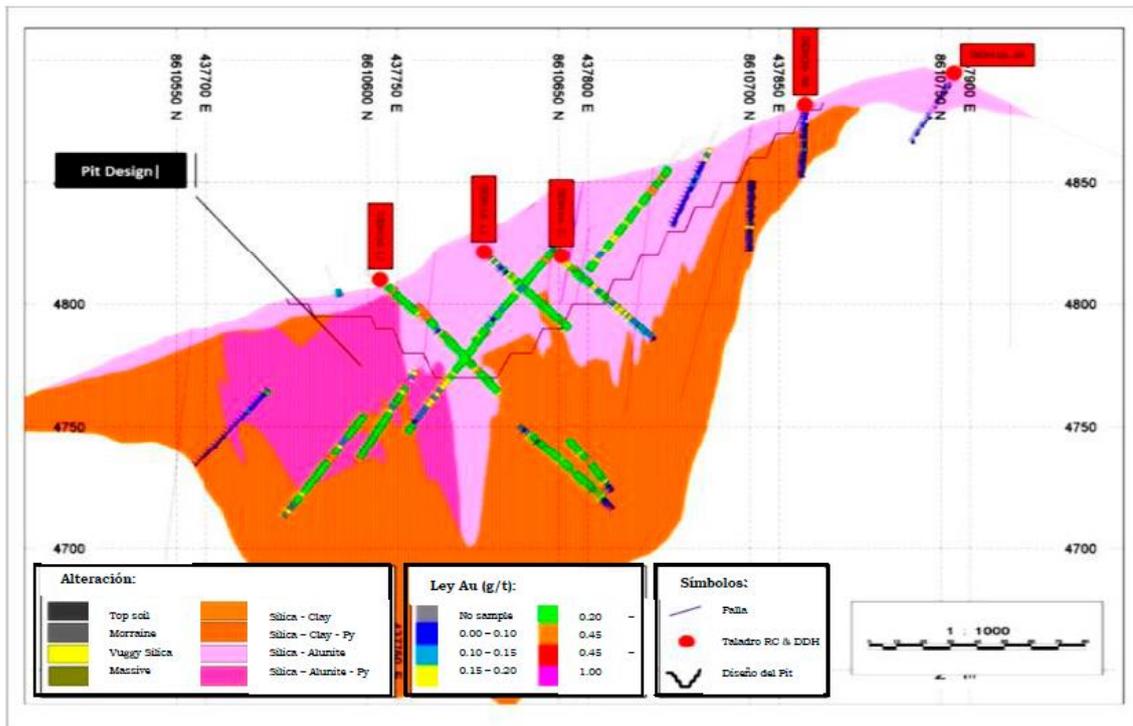
El plano de las secciones geológicas del tajo Cayhua y Cayhua Norte se encuentra en el Anexo E.



**Figura 18.** Sección de la Zona Cayhua y Cayhua Norte.

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

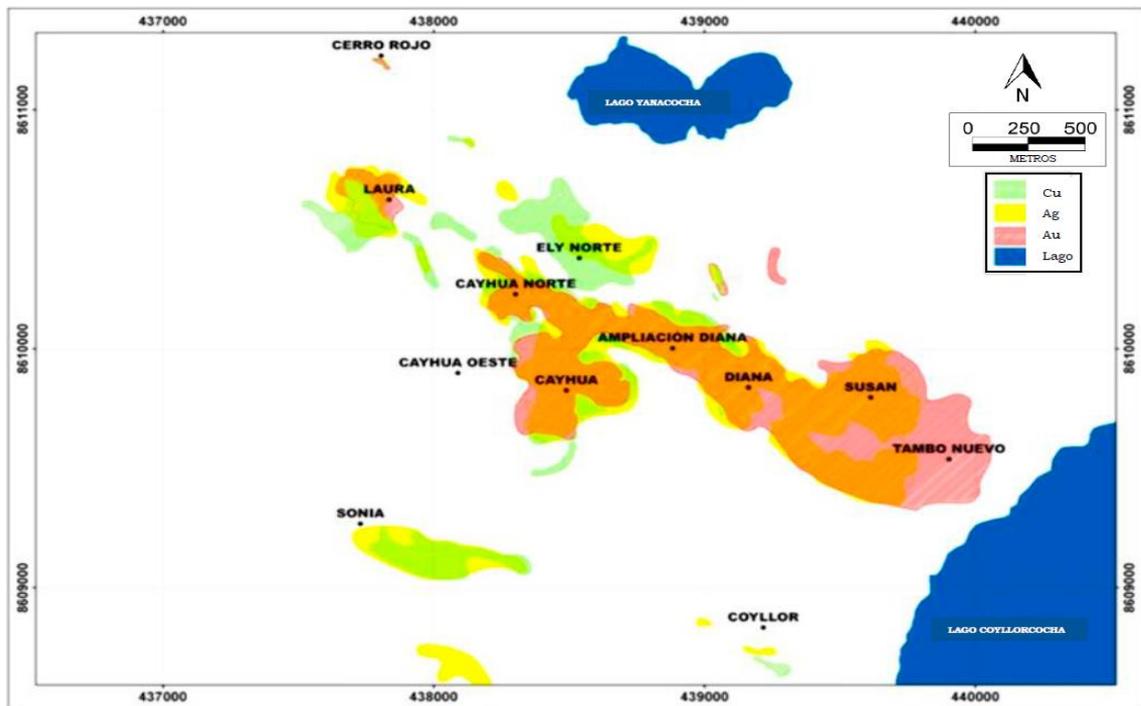
El plano de las secciones geológicas del tajío Laura y Extensión Scree Slope se encuentra en el Anexo F.



**Figura 19.** Sección de la Zona Laura y Extensión de Scree Slope.

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

El plano de la zonificación metalogénica se encuentra en el Anexo G.

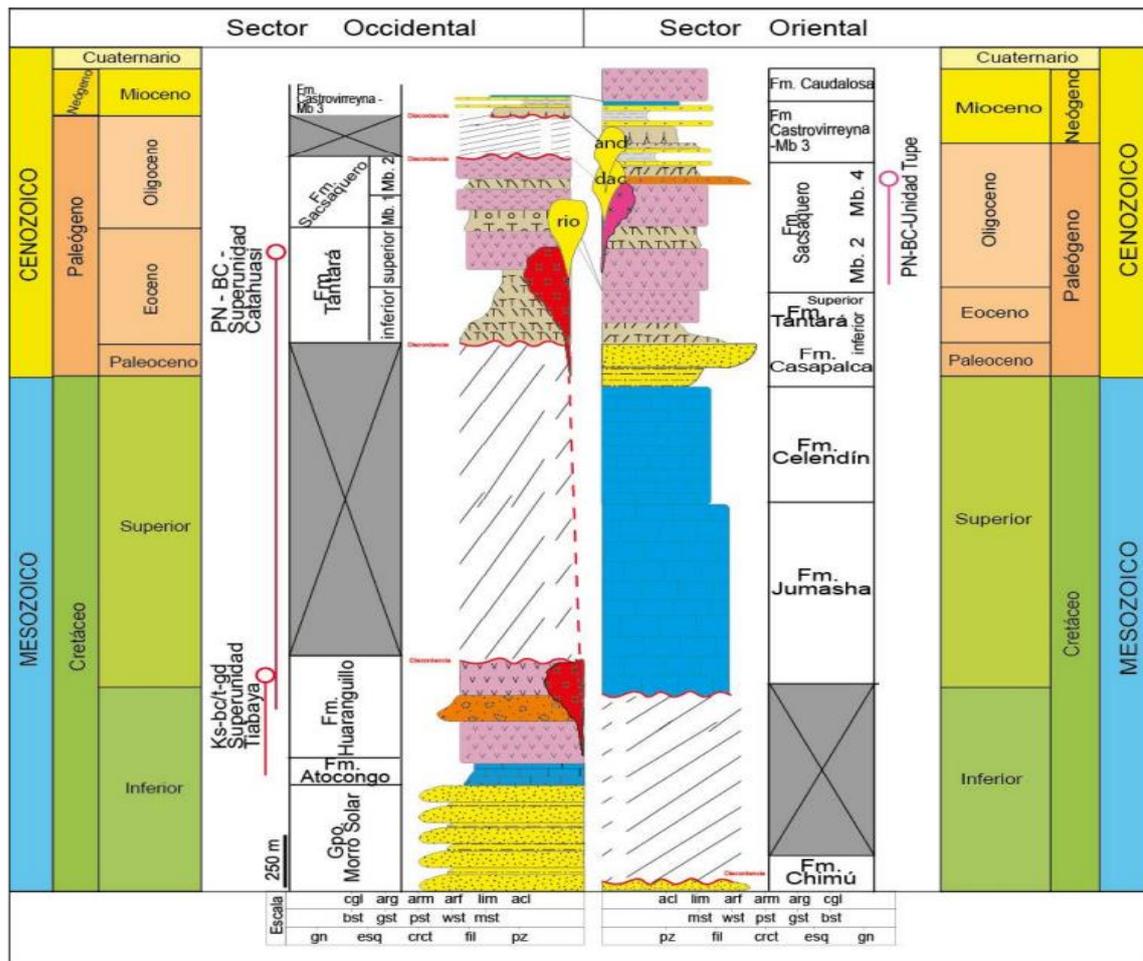


**Figura 20.** Principales cuerpos de zonificación metalogénica.

Fuente: Área de Geología de la Minera IRL.

#### 4.3.4. Estratigrafía.

Estratigráficamente, el yacimiento se encuentra emplazado en depósitos coluviales y rocas mesozoicas con una mínima distribución espacial menor al 10% de la zona costera conformados por los grupos Puente Piedra y Morro Solar, compuestos por fragmentos de rocas de diámetros variados con una matriz limo-arenosa. Debajo del coluvial, se encuentran suelos residuales, producto de la descomposición física y química de rocas volcánicas, los cuales cubren en discordancia a los grupos y formaciones de las rocas mesozoicas, dichas rocas volcánicas son de origen andesítico en las formaciones Tantará, Sacsacero de la edad Paleógena, Catrovirreyna y Caudalosa del Mioceno, estas secuencias de la roca volcánica las encontramos en un estado deposicional y composición, como basamento se encuentra rocas del tipo andesitas y piroclastos.



**Figura 21.** Columna estratigráfica del sector occidental y oriental del cuadrángulo 26I.

Fuente: INGEMMET, 2021.

#### 4.4. RESERVA DEL YACIMIENTO:

Basado únicamente en recursos minerales medidos e indicados, en un escenario conservador entre los años 2012 al 2017 se tiene un precio de oro de \$ 1250/Oz, se realizó un análisis de costo-beneficio para determinar el pit óptimo de diseño, a su vez se consideraron varios factores como: tipo de roca, grado de mineral, ángulo de pendiente y recuperación metalúrgica, esto fue realizada por el área de Planeamiento Mina de Minera IRL S.A.

Para la diferenciación de poblaciones de compósitos, el cálculo variográfico y la posterior estimación de leyes dentro del modelo de bloques se ha considerado los siguientes dominios de estimación:

- Argílico Avanzado (AA)



- Sílice Granular (SG)
- Sílice Vuggy (SV)

De acuerdo a las características del yacimiento se determinó que el tamaño del modelo de bloques sería 5m x 5m x 5m, con un azimuth de 40° en un modelo tridimensional rotado.

Se determinaron 7 yacimientos con reservas probadas y probables, como podemos observar en la siguiente tabla.

**Tabla 9:** Tajos de Depósitos de Reservas en la Unidad Minera Corihuarmi.

Unidad Minera	Tajos
Mina Corihuarmi	Tajo Susan
	Tajo Scree Slope
	Tajo Cayhua
	Tajo Ampliación Diana
	Tajo Laura
	Tajo Cayhua Norte
	Tajo A. Scree Slope

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 10:** Reserva de todo el yacimiento de la mina Corihuarmi.

Clasificación	Reservas		
	Mineral TM	Ley g/t	Onzas Au
Probado	9,918,907	0.29	91,244.41
Probable	1,010,363	0.24	7,683.59
<b>Probado y Probable</b>	<b>10,929,270</b>	<b>0.28</b>	<b>98,928.00</b>

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 11:** Resumen de las reservas de mineral de oro (probado y probable).

Precio	Tajo	Ley de corte (g/t Au)	Mineral TM	Ley de Au (g/t Au)	Onzas de Au	Desmorte TM	TOTAL TM	SR
1,250	Tajo Susan	0.111	2,375,304	0.253	19,312	522,665	2,897,969	0.240
	Tajo Scree Slope	0.097	309,324	0.290	2,888	221,252	530,576	0.759
	Tajo Cayhua	0.101	2,946,727	0.250	23,731	949,792	3,896,519	0.420
	Tajo Ampliación Diana	0.097	765,251	0.368	9,048	450,784	1,216,035	0.670
	Tajo Laura	0.099	1,688,670	0.205	11,145	300,257	1,988,927	0.210
	Tajo Cayhua Norte	0.099	1,727,274	0.412	22,866	1,582,578	3,309,852	0.950
	Tajo A. Scree Slope	0.105	1,116,720	0.277	9,938	707,183	1,823,903	1.021
	<b>TOTAL</b>			<b>10,929,270</b>	<b>0.282</b>	<b>98,928</b>	<b>4,734,511</b>	<b>15,663,781</b>

Fuente: Elaboración tesista.

Basándonos en la tabla anterior podemos concluir que se tiene 10'929,270 TM de mineral con una ley de 0.282 g/t de Au, el cual se estima que contenga 98,928 onzas de Au con un stripping ratio de 0.433.

#### 4.5. OPERACIONES UNITARIAS:

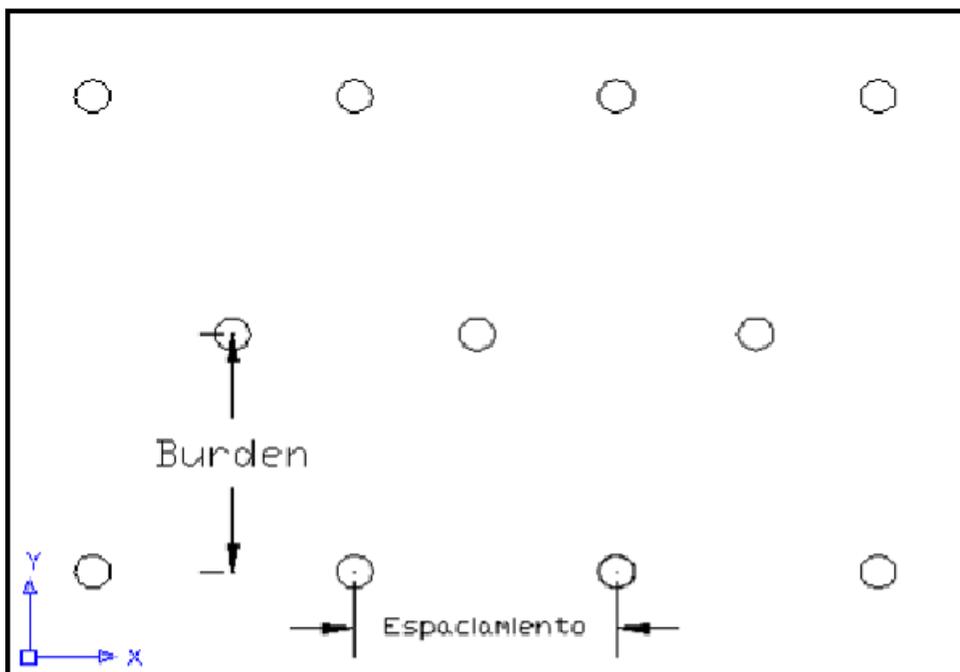
##### 4.5.1. Perforación.

La perforación se realiza con una perforadora Tamrock DX-800, utilizando taladros de 4" de diámetro. La profundidad de los taladros es de 5 m por banco y 0.5 m adicionales de sobre perforación. Se utiliza una malla de perforación triangular, de 2.8 metros x 2.8 metros en mineral y 3 metros x 3 metros en desmorte, se usa este tipo de malla para tener una mejor distribución energética del explosivo. Se llega a perforar aproximadamente 70 a 80 taladros por día (turnos día y noche).

**Tabla 12:** Parámetros técnicos de la malla de perforación en los distintos tajos.

Nombre de Tajo	Espaciamiento	Burden
Tajo Susan	2.8	2.43
Tajo Cayhua Norte	4	3.46
Tajo Cayhua	4	3.46
Tajo Diana	4	3.46
Tajo Ampliación Diana	4	3.46
Tajo Laura	4	3.46
Tajo Scree Slope	4	3.46
Tajo Ampliación Scree Slope	4	3.46

Fuente: Elaboración Tesista.



**Figura 22.** Malla de perforación triangular equilátera.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 23.** Equipo de perforación en la Mina Corihuarmi.

Fuente: Elaboración tesista.

#### **4.5.2. Voladura.**

Para el diseño de malla y una simulación de voladura se tiene que tomar en cuenta tanto las variables controlables como las no controlables, en la mina Corihuarmi aún se hace la detonación con iniciadores pirotécnicos, es decir la secuencia de detonación será la siguiente: Mecha de seguridad, cordón detonante, fulminante N°08, Booster, ANFO y emulsiones encartuchadas, los proyectos a volarse se realizan al medio día y en promedio contienen de 150 a 250 taladros.

#### **4.5.3. Carguío y Acarreo.**

El carguío del material de Mina se realiza mediante excavadoras CAT-336 DL. Mientras que el carguío de Chancadora al Pad se realiza mediante un cargador frontal CAT-966H, esta actividad se realiza en dos carriles, el tiempo promedio de carguío por volquete es de 2.5 minutos.

El transporte de material en la operación se realiza con Volquetes Mercedes Benz Actros de 17 m<sup>3</sup>. El circuito de transporte se realiza en 2 tramos: El primero es del Tajo a la chancadora (del tajo Diana a la Chancadora son 2 km; y desde el tajo Susan al mismo

destino, 2.5km). El segundo es desde la Chancadora al Pad de Lixiviación, con un recorrido de 0.7 km. Se cuenta con una flota de 13 volquetes para estos circuitos de producción, el estado de las vías es uno de los factores predominantes para una optimización en el transporte, manteniendo el ancho adecuado que es de 8 metros, la gradiente máxima en las rampas de 10%, el número adecuado de volquetes en la flota permite el continuo flujo de éstos y no haya tiempos de espera por parte del equipo de carguío.



**Figura 24.** Volquete Mercedes Benz Actros.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 25.** Carguío de Mineral.

Fuente: Elaboración tesista.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **5.1. IMPLEMENTANDO UN MUESTREO GEOLÓGICO SHIP SAMPLING PARA MEDIR LA VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA.**

Para un mejor entendimiento de las propiedades físicas de la roca de los distintos tajos de la mina Corihuarmi, se implementó el muestreo geológico ship sampling, para lo cual la extracción de la muestra se realizó de manera discontinua obteniendo fragmentos que sean representativas de nuestra estructura, de esta manera pudimos detectar las anomalías existentes en nuestro macizo rocoso, como se muestra a continuación:

##### **5.1.1. Muestreo ship sampling en los tajos de la mina Corihuarmi.**

###### **5.1.1.1. Herramientas y recursos.**

Para el desarrollo del muestreo ship sampling se desarrolló con las siguientes herramientas.

Herramientas	Descripción	Herramientas	Descripción
	Picota, usada para la extracción del material de la superficie.		Talónario de muestreo, usada para la identificación y descripción de la
	Barretas, usada para extraer el material de la roca.		GPS, usada para la ubicación de los puntos a muestrear.
	Bolsa geológica, usada para el almacenamiento de nuestra muestra.		Regla pie de rey, usada para la medición de fragmentos.
	Tamiz, usada para cribar nuestra muestra, de esta manera obtener fragmentos representativos.		Cinta métrica, usada para las distintas mediciones realizadas.
	Pala, usada para colocar el material encima del tamiz.		

**Figura 26.** Herramientas para el muestreo ship sampling.

Fuente: Elaboración tesista.

#### 5.1.1.2. Descripción del proceso.

Para realizar el muestreo geológico ship sampling se hace lo siguiente:

- Primeramente, se realiza una malla aleatoria para evitar sesgos de cualquier tipo, dicha malla tendrá que ser plasmada en un plano para su posterior ubicación en campo.
- En seguida nos dirigimos a campo para realizar la toma de muestras con la ayuda de un GPS y a su vez evaluar a accesibilidad de estos puntos, si no es posible acceder a ellos su usa una ubicación cercana accesible.
- Con la ayuda de la picota retiramos la posible contaminación existente en la superficie, de esta manera evitar posibles errores, como a su vez facilitar la extracción de la muestra.
- Una vez que veamos el afloramiento del macizo rocoso se hace el uso de la picota o barretilla para la extracción de fragmentos representativos de la zona, la cantidad a muestrear debe de ser aproximadamente 17 cm de base



con 15cm de alto, esto para mantener una adecuada uniformidad en las muestras.

- Todo el material por muestrear se encontrará en el piso por lo cual con la ayuda de la pala podremos recoger para su posterior tamizado.
- Con la ayuda del tamiz podremos seleccionar los fragmentos adecuados para su posterior análisis en laboratorio.
- Una vez que tengamos las muestras a evaluar, estos son depositados en bolsas geológicas para poder llevarlas al laboratorio.
- Se realiza la respectiva identificación con el talonario de muestreo, donde se encontrará toda la información relevante para el estudio.
- En laboratorio se realiza la prueba de resistencia a la compresión con platinas, el cual clasificará la resistencia de la roca mediante el uso de platinas.
- Finalmente tendremos un reporte de los resultados de la clasificación en cada punto muestreado, el cual nos servirá para poder plasmarlo en un modelo de bloques.

#### ***5.1.1.2. Procedimiento.***

El procedimiento se realiza con la misma metodología en los tajos Cayhua, Cayhua Norte, Laura, Susan, Diana y Scree Slope:

- Primeramente, se hace la ubicación de los puntos a muestrear con la ayuda de un GPS, como a su vez se evalúa su accesibilidad.
- Enseguida se realiza la limpieza de la capa superficial para facilitar la extracción de fragmentos a muestrear.
- Después se realiza la extracción de los fragmentos representativos para su futura evaluación en laboratorio.
- Finalmente conservamos las muestras en una bolsa geológica para ser llevadas a su análisis respectivo.

A continuación, observaremos el procedimiento realizado mediante figuras:



**Figura 27.** Ubicación de los puntos a muestrear.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 28.** Limpieza y extracción con el uso de una picota.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 29.** Extracción de los fragmentos a muestrear.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 30.** Conservación en bolsas geológicas.

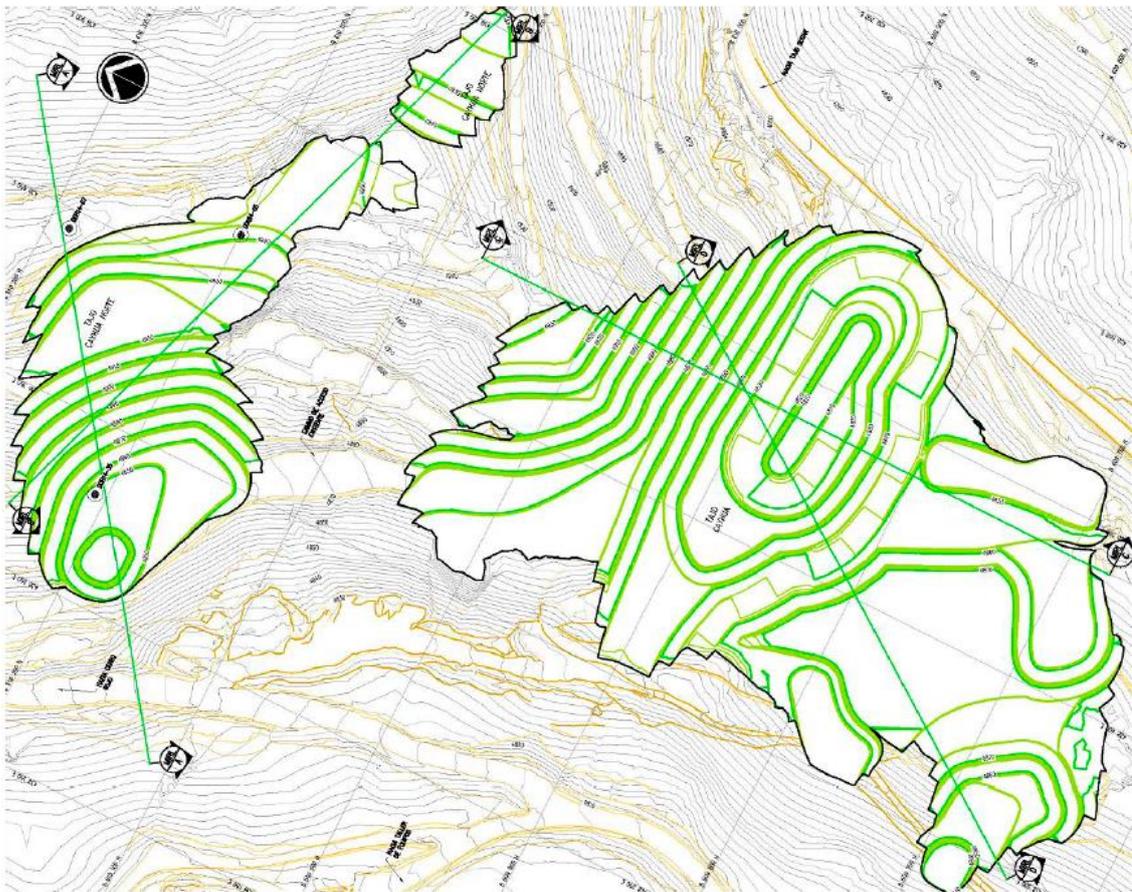
Fuente: Elaboración tesista.

## 5.1.2. Variabilidad de las propiedades físicas de la roca en los tajos de la mina

### Corihuarmi.

#### 5.1.2.1. Medición en el tajo Cayhua.

El tajo Cayhua se ubica en las coordenadas 8 510 000 N y 438 500 E, considerando dichas coordenadas como el punto intermedio de los dos tajos, también podemos ubicarlo mediante la visualización comprendida entre el tajo Laura y el tajo Diana, podemos observar una vista de los tajos en la siguiente imagen.



**Figura 31.** Vista de los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

Fuente: Elaboración tesista.

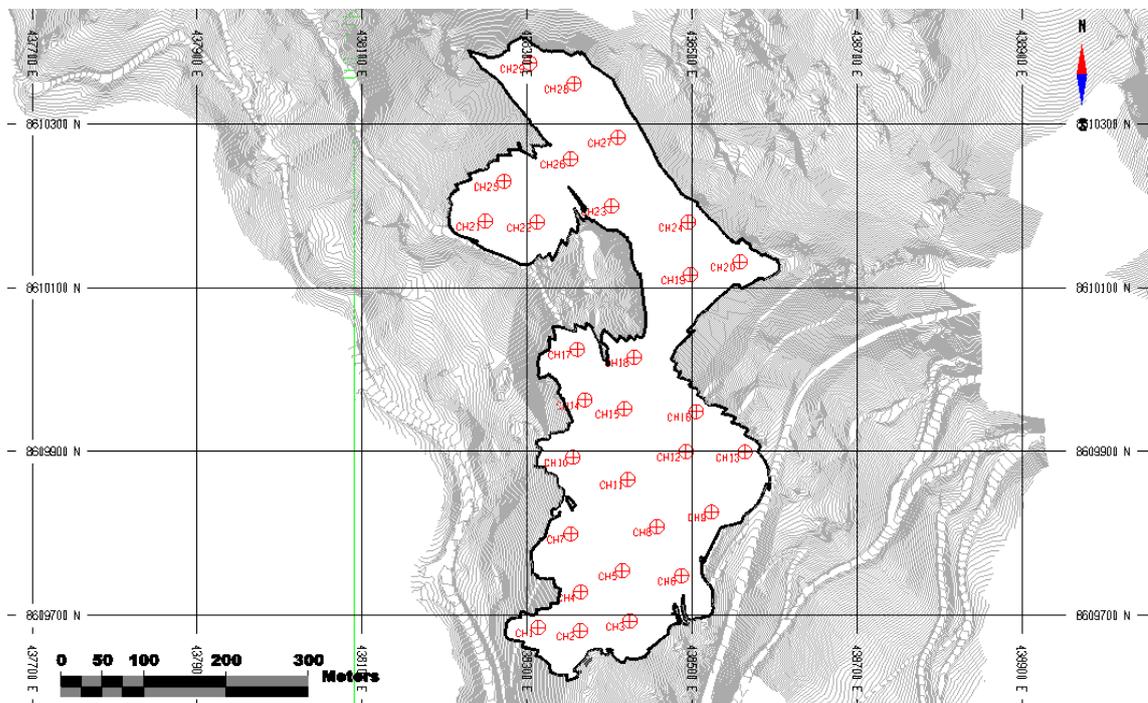
#### 5.1.2.1.1. Geología en el Tajo Cayhua.

En la parte superior se encuentra una zona de rocas piroclásticas rica en cristales de composición dacítica y en la parte inferior encontramos una zona de rocas piroclásticas

rica en cristales de composición andesítica. Las fallas se encuentran en la orientación Noreste de los cuales algunas se encuentran relacionadas a la ocurrencia de brechas, su mineralogía en su mayoría se encuentra representada por sílice alunita y sílice vuggy, respecto a su estratigrafía podemos decir que se encuentra emplazado sobre depósitos coluviales con rocas de una matriz limo-arenosa, y debajo del coluvial podemos encontrar suelos residuales las cuales son producto de la descomposición física y química de las rocas volcánicas.

#### 5.1.2.1.2. Toma de muestras del Tajo Cayhua.

Se realizó un total de 29 muestras aleatorias en los tajos Cayhua y Cayhua Norte.



**Figura 32.** Muestreo de los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

Fuente: Elaboración tesista.

A continuación, podremos observar el resultado mediante la prueba de comprensión con platinas en los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

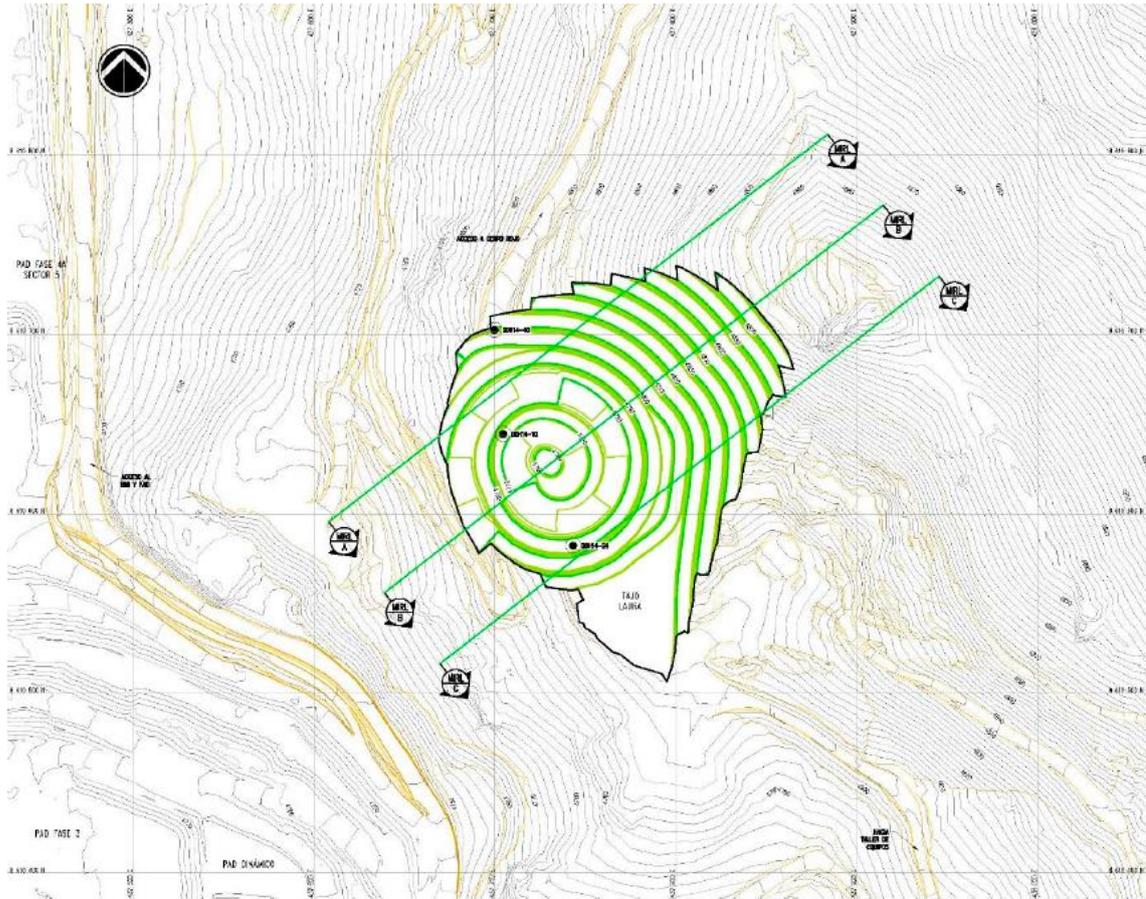
**Tabla 13:** Muestreo de Compresión con Platinas en los Tajos Cayhua y Cayhua Norte.

Muestras de los tajos Cayhua y Cayhua Norte				
ID	Coordenadas (WGS84)		Material	UCS
	Este	Norte		
CH1	438314	8609685	Tobas piroclásticas	75
CH2	438365	8609681	Tobas piroclásticas	75
CH3	438425	8609693	Tobas piroclásticas	75
CH4	438365	8609728	Tobas piroclásticas	75
CH5	438416	8609755	Tobas piroclásticas	75
CH6	438487	8609748	Tobas andecíticas	70
CH7	438353	8609799	Tobas piroclásticas	75
CH8	438458	8609808	Tobas andecíticas	70
CH9	438524	8609826	Tobas andecíticas	70
CH10	438356	8609893	Tobas piroclásticas	75
CH11	438422	8609866	Tobas andecíticas	70
CH12	438493	8609900	Tobas andecíticas	70
CH13	438564	8609899	Tobas andecíticas	70
CH14	438370	8609963	Tobas piroclásticas	75
CH15	438418	8609952	Tobas andecíticas	70
CH16	438505	8609949	Tobas andecíticas	70
CH17	438361	8610025	Tobas piroclásticas	75
CH18	438430	8610015	Tobas andecíticas	70
CH19	438498	8610116	Tobas dacíticas	60
CH20	438558	8610131	Tobas dacíticas	60
CH21	438249	8610181	Sílice Alunita	73
CH22	438312	8610180	Sílice Alunita	73
CH23	438403	8610200	Tobas dacíticas	60
CH24	438496	8610180	Tobas dacíticas	60
CH25	438272	8610230	Sílice Alunita	73
CH26	438353	8610257	Tobas dacíticas	60
CH27	438410	8610283	Tobas dacíticas	60
CH28	438357	8610349	Tobas dacíticas	60
CH29	438304	8610374	Tobas dacíticas	60

Fuente: Elaboración Tesista.

### 5.1.2.2. Medición en el tajo Laura.

El tajo Cayhua se ubica en las coordenadas 8 510 650 N y 437 900 E, considerando dichas coordenadas como el punto intermedio del tajo Laura, también podemos ubicarlo mediante la visualización comprendida al extremo Oeste de los tajos Cayhua Norte y Cayhua Oeste, podemos observar una vista del tajo en la siguiente imagen.



**Figura 33.** Vista del tajo Laura.

Fuente: Elaboración tesista.

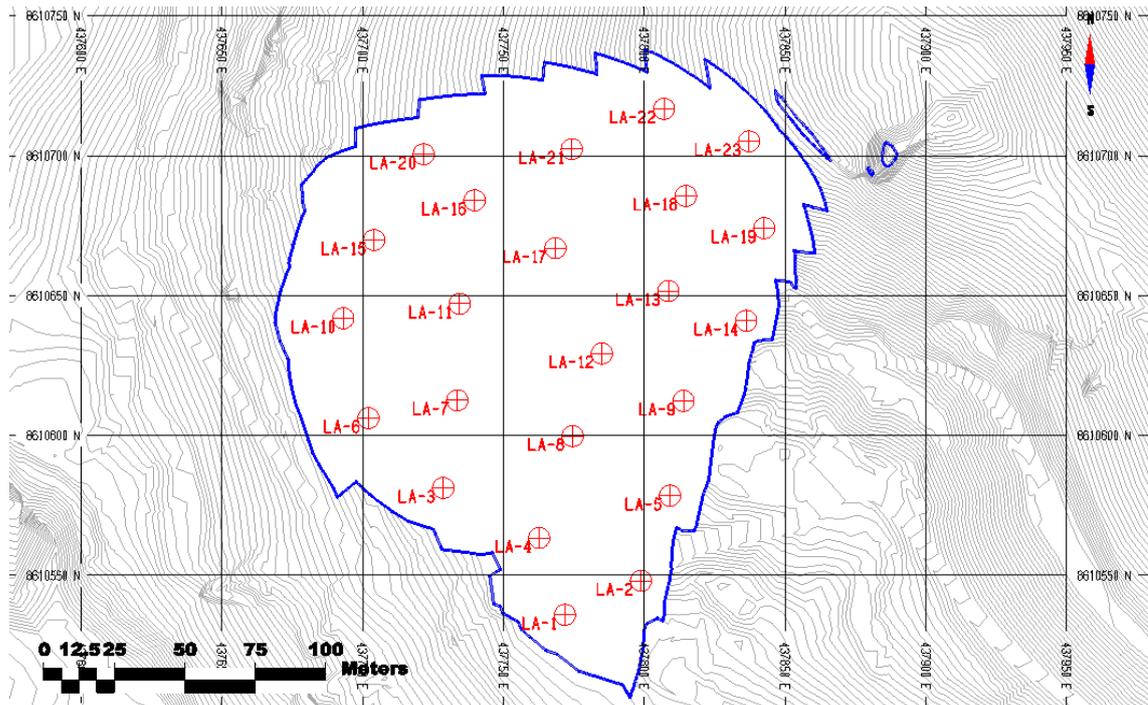
#### 5.1.2.2.1. Geología en el Tajo Laura.

En la parte superior se encuentra una zona de tobas de cristales de composición dacítica con tobas de ceniza intercaladas y en la parte inferior encontramos una zona de rocas piroclásticas de composición andesítica. Las fallas se encuentran en la orientación Noroeste-Sureste con buzamientos que tienen una variación entre  $70^\circ$  y  $85^\circ$  con una extensión mayor a 50 m, dichas fallas controlan la ocurrencia de cuerpos silicificados y pequeños cuerpos de brecha hidrotermal, su mineralogía en su mayoría se encuentra representada por una alteración argílica avanzada, sílice alunita, zonas pequeñas de sílice vuggy, en la parte central encontramos una mineralización la cual posee texturas patchy y oquerosas respectivamente, rodeando a la anterior zona encontramos una zona de alteración grada a un ensamble con sílice clay y a su vez con una gran presencia de pirita, respecto a su estratigrafía podemos decir que se encuentra emplazado sobre depósitos

coluviales con rocas de una matriz limo-arenosa, y debajo del coluvial podemos encontrar suelos residuales las cuales son producto de la descomposición física y química de las rocas volcánicas.

#### 5.1.2.2.2. Toma de muestras del Tajo Laura.

Se realizó un total de 23 muestras aleatorias



**Figura 34.** Muestreo del tajo Laura.

Fuente: Elaboración tesista.

A continuación, podremos observar el resultado mediante la prueba de comprensión con platinas en el tajo Laura.

**Tabla 14:** Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Laura.

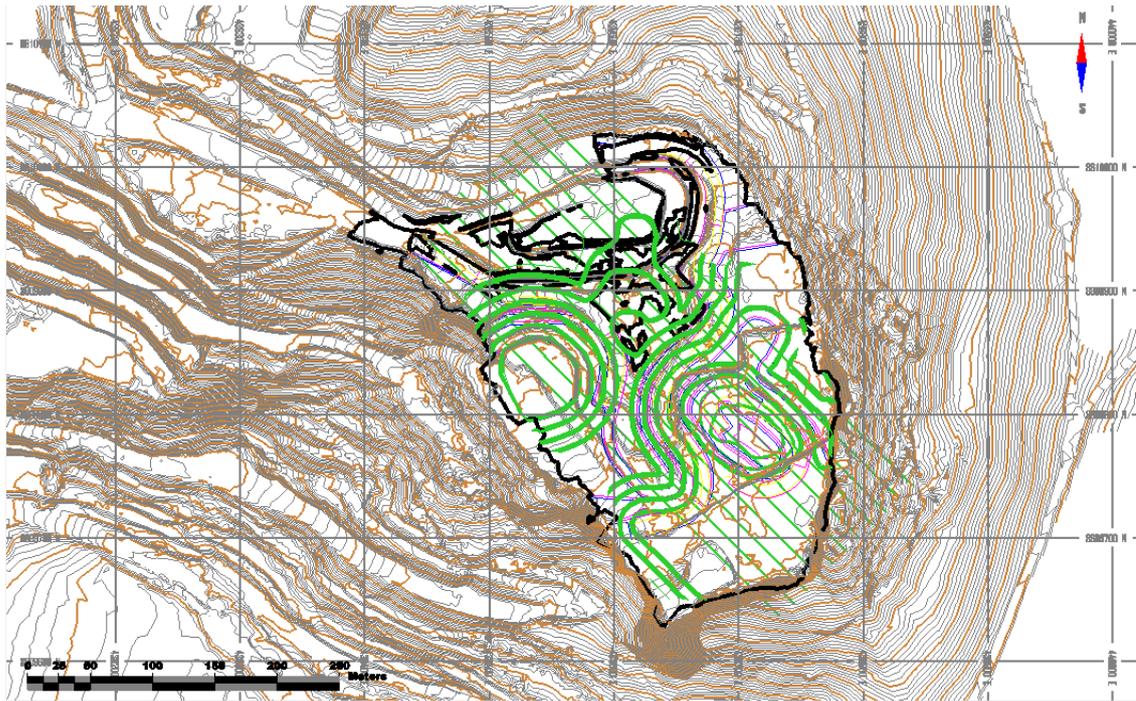
**Muestras del tajo Laura**

ID	Coordenadas (WGS84)		Material	UCS
	Este	Norte		
LA-1	437772	8610536	Sílice Alunita	74
LA-2	437799	8610548	Sílice Alunita	74
LA-3	437729	8610581	Sílice Alunita	74
LA-4	437763	8610563	Sílice Alunita	74
LA-5	437809	8610578	Roca Sulfurosa	60
LA-6	437702	8610606	Sílice Alunita	74
LA-7	437734	8610613	Sílice Alunita	74
LA-8	437775	8610600	Roca Sulfurosa	60
LA-9	437814	8610612	Roca Sulfurosa	60
LA-10	437693	8610642	Sílice Alunita	74
LA-11	437734	8610647	Sílice Alunita	74
LA-12	437785	8610629	Roca Sulfurosa	60
LA-13	437809	8610652	Roca Sulfurosa	60
LA-14	437836	8610641	Roca Sulfurosa	60
LA-15	437704	8610670	Sílice Alunita	74
LA-16	437740	8610684	Sílice Alunita	74
LA-17	437768	8610667	Sílice Alunita	74
LA-18	437815	8610686	Sílice Alunita	74
LA-19	437843	8610674	Sílice Alunita	74
LA-20	437722	8610701	Sílice Alunita	74
LA-21	437774	8610702	Sílice Alunita	74
LA-22	437807	8610717	Sílice Alunita	74
LA-23	437837	8610705	Sílice Alunita	74

Fuente: Elaboración Tesista.

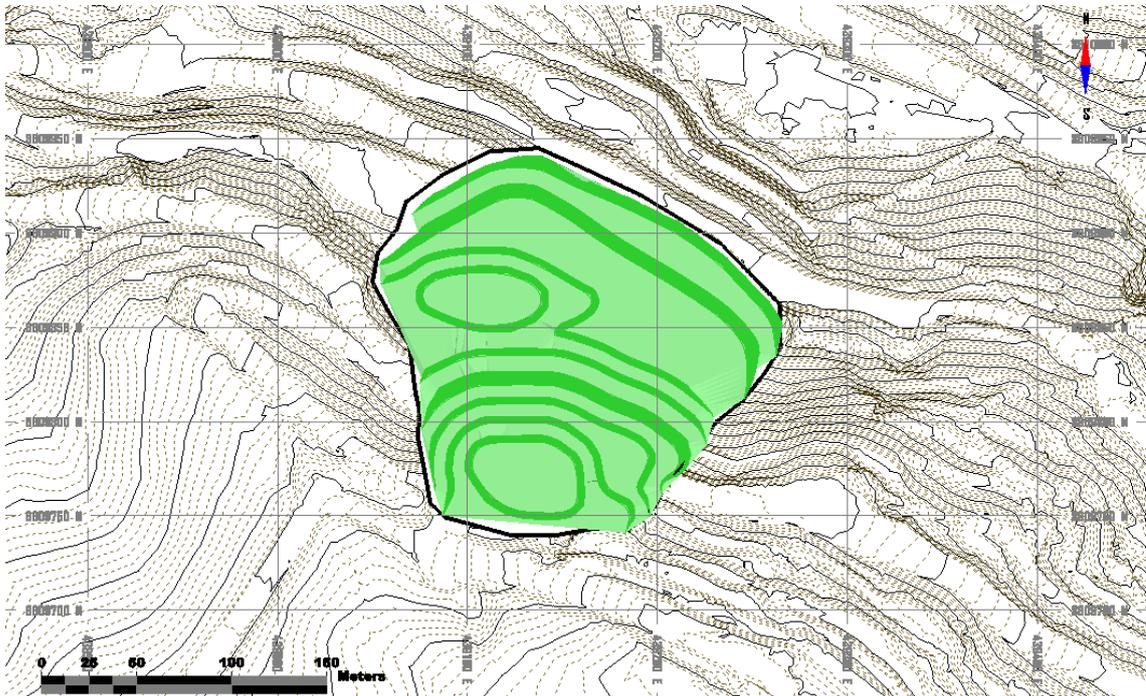
**5.1.2.3. Medición en el tajo Susan, Diana y Scree Slope.**

Los tajos Susan, Diana y Scree Slope se ubica en las coordenadas 8 509 850 N 439 500 E, 8 509 900 N 439 100 E y 8 510 000 N 438 500 E respectivamente, considerando dichas coordenadas como el punto intermedio de cada uno de los tajos, también podemos ubicar el tajo Susan al extremo Este de los tajos, el tajo Diana entre medio de los tajos Cayhua y Susan y el tajo Scree Slope al extremo Sureste de los tajos, podemos observar una vista de los tajos en las siguientes imágenes.



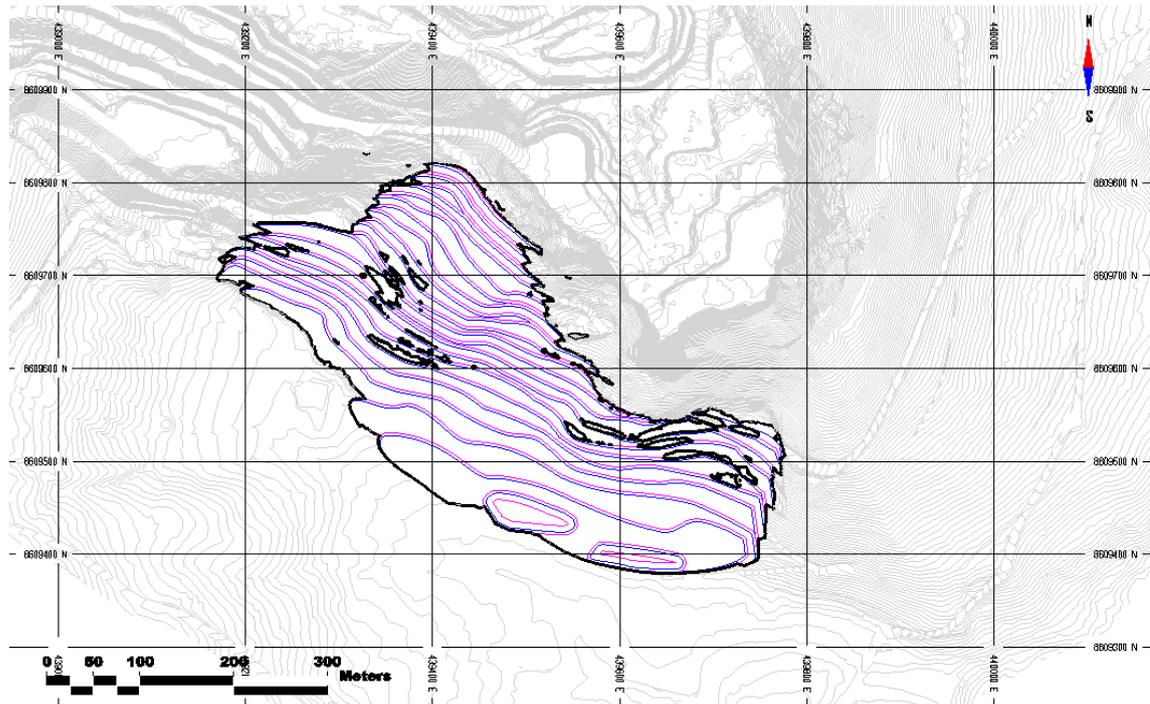
**Figura 35.** Vista del tajo Susan.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 36.** Vista del tajo Diana.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 37.** Vista del tajío Scree Slope.

Fuente: Elaboración tesista.

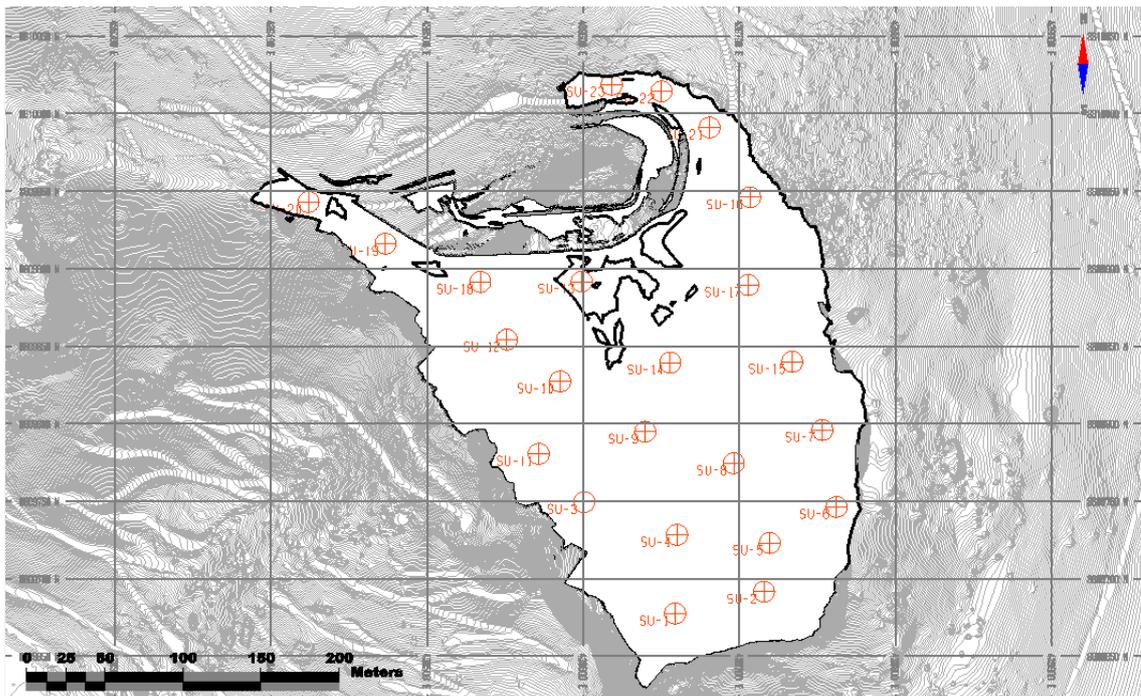
#### 5.1.2.1.1. Geología en los tajos Susan, Diana y Scree Slope.

El depósito está compuesto por rocas volcánicas intermedia y ácidas, con afloramientos de secuencias andesíticas estériles y secuencias dacíticas y riódacíticas mineralizadas, las características topográficas notables están comúnmente en rocas volcánicas, hidrotermalmente alteradas por fluidos de composición silicosa, dado la presencia de sílice cavernosa o masiva. Estos afloramientos silicosos son la base de las zonas hidrotermales de alteración, rodeados por un halo de alteración Argílica. Se identificó solamente pequeñas partes de alteración Propilítica. Los principales depósitos de oro se encuentran en los tajos Susan y Diana y estos se encuentran emplazados por una sílice masiva o dacitas silicificadas, en ambos tajos, las cubiertas con leyes mayores a 0,4g/t de Au tiene de 15 m a 50 m de espesor, con orientación SE, las mejores leyes se encuentran en la parte superior, la oxidación parece ser completa en la zona mineralizada y la matriz silicosa cavernosa se caracteriza por los óxidos de hierro remanentes, a veces intensos, generalmente dando a la roca una textura porosa excepto en áreas con sílice masivo. Respecto a su litología podemos decir que principalmente afloran derrames volcánicos andesíticos-dacíticos y flujos de brechas volcánicas, donde se evidencian una

intensa alteración hidrotermal, reconociéndose las siguientes alteraciones: silicificación, argílica avanzada, argílica y propilítica. Asimismo, gran parte del área se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios de origen glacial y coluvial.

#### 5.1.2.1.2. Toma de muestras de los tajos Susan, Diana y Scree Slope.

A continuación



**Figura 38.** Muestreo del tajo Susan.

Fuente: Elaboración tesista.

A continuación, podremos observar el resultado mediante la prueba de compresión con platinas en el tajo Susan.

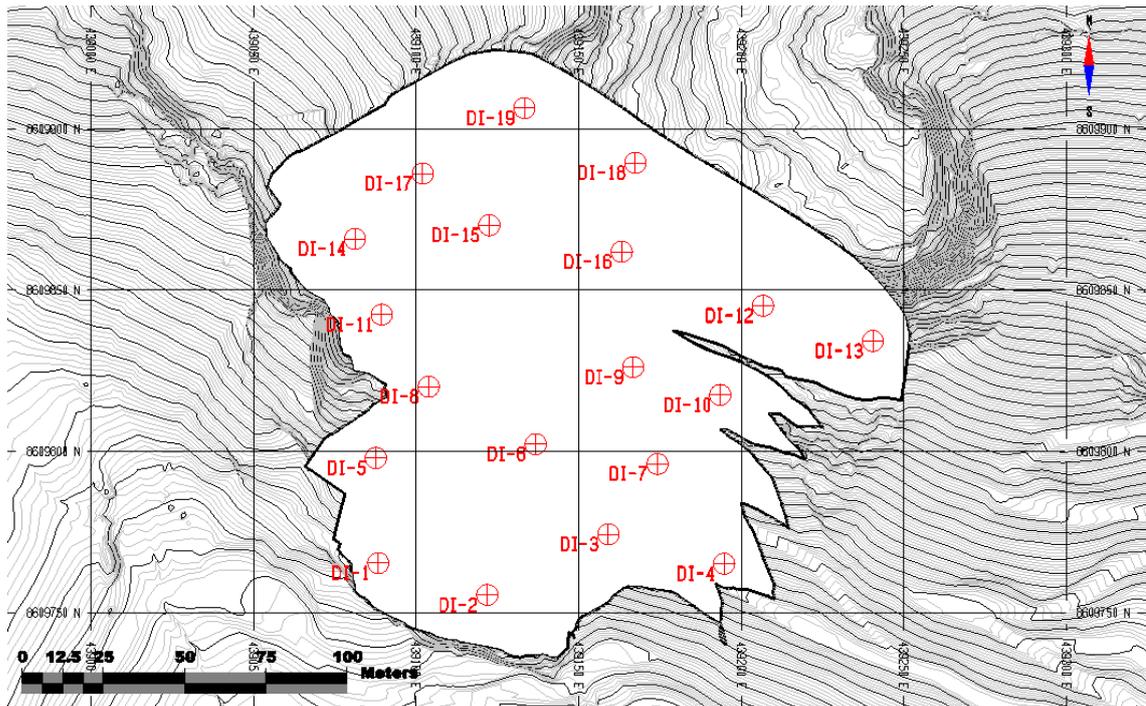
**Tabla 15:** Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Laura.



### Muestras del tajo Susan

ID	Coordenadas (WGS84)		Material	UCS
	Este	Norte		
SU-1	439658.83	8609677.5	Sílice Vuggy	40
SU-2	439715.73	8609691.59	Sílice Vuggy	40
SU-3	439600.64	8609749.4	Sílice Vuggy	30
SU-4	439660.06	8609728.28	Sílice Masiva	40
SU-5	439719.48	8609723	Sílice Vuggy	40
SU-6	439762.17	8609746.32	Sílice Masiva	40
SU-7	439753.07	8609795.89	Sílice Masiva	40
SU-8	439696.41	8609774.43	Sílice Masiva	40
SU-9	439639.74	8609794.79	Sílice Masiva	30
SU-10	439585.27	8609827.25	Sílice Vuggy	40
SU-11	439571.52	8609780.48	Sílice Vuggy	30
SU-12	439551.16	8609854.2	Sílice Vuggy	40
SU-13	439599.03	8609891.62	Sílice Vuggy	40
SU-14	439655.69	8609839.35	Sílice Masiva	30
SU-15	439733.82	8609839.9	Sílice Masiva	40
SU-16	439706.87	8609945.99	Sílice Vuggy	40
SU-17	439705.76	8609889.42	Sílice Masiva	40
SU-18	439534.13	8609891.41	Sílice Vuggy	40
SU-19	439473.39	8609916.06	Sílice Vuggy	51
SU-20	439424.09	8609942.9	Sílice Vuggy	51
SU-21	439680.91	8609990.93	Sílice Vuggy	51
SU-22	439650.15	8610014.33	Sílice Vuggy	51
SU-23	439618.27	8610018.65	Sílice Vuggy	51

Fuente: Elaboración Tesista.



**Figura 39.** Muestreo del tajo Diana.

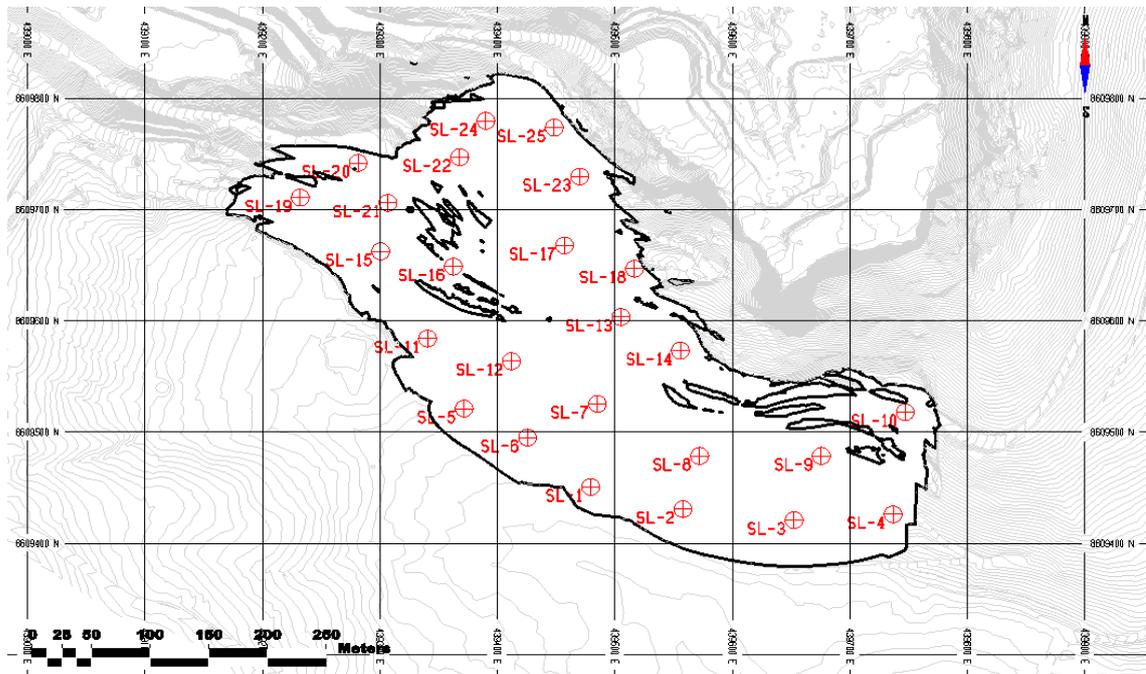
Fuente: Elaboración tesista.

A continuación, podremos observar el resultado mediante la prueba de comprensión con platinas en el tajo Diana.

**Tabla 16:** Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Diana.

<b>Muestras del tajo Diana</b>				
ID	Coordenadas (WGS84)		Material	UCS
	Este	Norte		
DI-1	439088	8609765	Cuarzo Caolín	43
DI-2	439122	8609755	Cuarzo Caolín	43
DI-3	439159	8609774	Argílico	41
DI-4	439195	8609765	Argílico	41
DI-5	439088	8609798	Cuarzo Caolín	43
DI-6	439137	8609802	Argílico	41
DI-7	439174	8609796	Argílico	41
DI-8	439104	8609820	Cuarzo Caolín	43
DI-9	439167	8609826	Argílico	41
DI-10	439194	8609817	Argílico	41
DI-11	439089	8609842	Cuarzo Caolín	43
DI-12	439207	8609845	Argílico	41
DI-13	439240	8609834	Argílico	41
DI-14	439081	8609866	Cuarzo Caolín	43
DI-15	439122	8609870	Cuarzo Caolín	43
DI-16	439163	8609862	Cuarzo Caolín	43
DI-17	439102	8609886	Cuarzo Caolín	43
DI-18	439167	8609889	Cuarzo Caolín	43
DI-19	439133	8609906	Cuarzo Caolín	43

Fuente: Elaboración Tesista.



**Figura 40.** Muestreo del tajo Scree Slope.

Fuente: Elaboración tesista.

A continuación, podremos observar el resultado mediante la prueba de comprensión con platinas en el tajo Scree Slope.

**Tabla 17:** Muestreo de Compresión con Platinas en el Tajo Scree Slope.

ID	Coordenadas (WGS84)		Material	UCS
	Este	Norte		
SL-1	439479	8609451	Sílice Alunita	55
SL-2	439558	8609431	Sílice Alunita	40
SL-3	439652	8609421	Sílice Alunita	40
SL-4	439737	8609426	Sílice Alunita	40
SL-5	439372	8609521	Sílice Alunita	55
SL-6	439426	8609495	Sílice Alunita	55
SL-7	439485	8609525	Sílice Alunita	55
SL-8	439572	8609478	Sílice Alunita	40
SL-9	439676	8609478	Sílice Alunita	40
SL-10	439747	8609518	Sílice Alunita	40
SL-11	439340	8609584	Argílico Py	55
SL-12	439412	8609564	Sílice Alunita	55
SL-13	439505	8609603	Arcilla Sílica	40
SL-14	439556	8609573	Arcilla Sílica	40
SL-15	439301	8609662	Argílico Py	70
SL-16	439362	8609649	Argílico Py	55
SL-17	439457	8609668	Arcilla Sílica	40
SL-18	439517	8609647	Arcilla Sílica	40
SL-19	439232	8609711	Argílico Py	70
SL-20	439281	8609742	Argílico Py	70
SL-21	439307	8609706	Argílico Py	70
SL-22	439368	8609747	Argílico Py	55
SL-23	439470	8609730	Arcilla Sílica	55
SL-24	439390	8609780	Argílico Py	55
SL-25	439448	8609774	Argílico Py	55

Fuente: Elaboración Tesista.

#### **5.1.2.1.2. Análisis en laboratorio de las muestras.**

El análisis se realizó mediante la clasificación de RMR de Bieniawski

Tipo de Roca	Clasificación RMR de la Masa Rocosa	ID	Rango RMR	UCS (MPa)
I	Muy Buena A	1	91- 100	> 250
	Muy Buena B	2	81 - 90	100 - 250
II	Buena A	3	71 - 80	90 - 100
	Buena B	4	61 - 70	70 - 90
III	Regular A	5	51 - 60	50 - 60
	Regular B	6	41 - 50	35 - 50
IV	Mala A	7	31 - 40	25 - 35
	Mala B	8	21 - 30	10 - 25
V	Muy Mala	9	< 21	1 - 5

**Figura 41.** Clasificación RMR y UCS del macizo rocoso.

Fuente: Elaboración tesista.

Como podemos observar en la imagen, los resultados nos dan una serie de valores los cuales describen la calidad del macizo rocoso.

- **Buena B (RMR: 61-70).** Estructura rocosa de origen volcánico a sub-volcánico, caracterizada por su textura porfirítica, coloración grisácea con tonalidades amarillentas por presencia de óxidos (limonita, goethita, hematita). Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “70-90 MPa”.
- **Regular A (RMR: 51-60).** Estructura rocosa de origen volcánico a sub-volcánico, caracterizada por su textura porfirítica, coloración grisácea con tonalidades amarillentas por presencia de óxidos (limonita, goethita, hematita). Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-60); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “50-70 MPa”.
- **Regular B (RMR: 41-50).** Estructura rocosa de origen volcánico a sub-volcánico, caracterizada por su textura porfirítica, coloración grisácea con tonalidades amarillentas por presencia de óxidos (limonita, goethita, hematita). Estructuralmente se tipifica como un material fracturado a muy



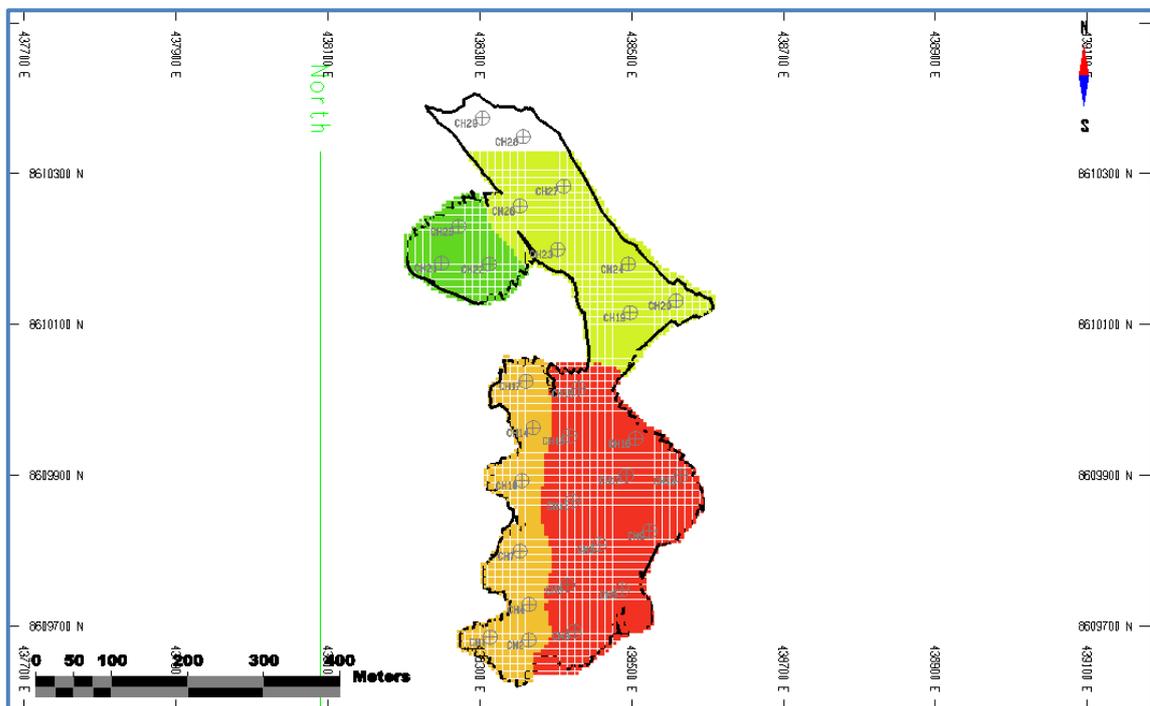
fracturado (RQD: 35-50); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “35-50 MPa”.

- **Mala A (RMR: 31-40).** Estructura rocosa de origen volcánico a sub-volcánico, caracterizada por su textura porfirítica, coloración grisácea con tonalidades amarillentas por presencia de óxidos (limonita, goethita, hematita). Estructuralmente se tipifica como un material muy fracturado a intensamente fracturado (RQD: 25-35); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “25-35 MPa”.
- **Mala B (RMR: 21-30).** Estructura rocosa de origen volcánico a sub-volcánico, caracterizada por su textura porfirítica, coloración grisácea con tonalidades amarillentas por presencia de óxidos (limonita, goethita, hematita). Estructuralmente se tipifica como un material intensamente fracturado (RQD: 15-25); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “10-25 MPa”.
- **Muy Mala (RMR: <21).** Rocas de origen volcánico a sub-volcánico completamente alteradas, caracterizadas por su coloración amarillenta-rojiza debido a la amplia exposición de óxidos (limonita, goethita, hematita) intercaladas con suelos residuales de coloración gris-azulada producto de la generación de arcillas por desintegración de los feldespatos y plagioclasas que constituían la estructura rocosa matriz. Estructuralmente se tipifica como un material intensamente fracturado a descompuesto (RQD: <15), donde ya no se aprecia el arreglo estructural; presentan una resistencia a la compresión simple variable entre “1-5 MPa” de acuerdo con los índices de dureza sugeridos por la “I.S.R.M.”. Se trata de un dominio geomecánico totalmente diaclazado, muy alterado a descompuesto de baja a nula resistencia a compresión.

## 5.2. CONSTRUYENDO UN MODELO DE BLOQUES GEOTÉCNICO DE CORTO PLAZO PARA REDUCIR LA FRAGMENTACIÓN.

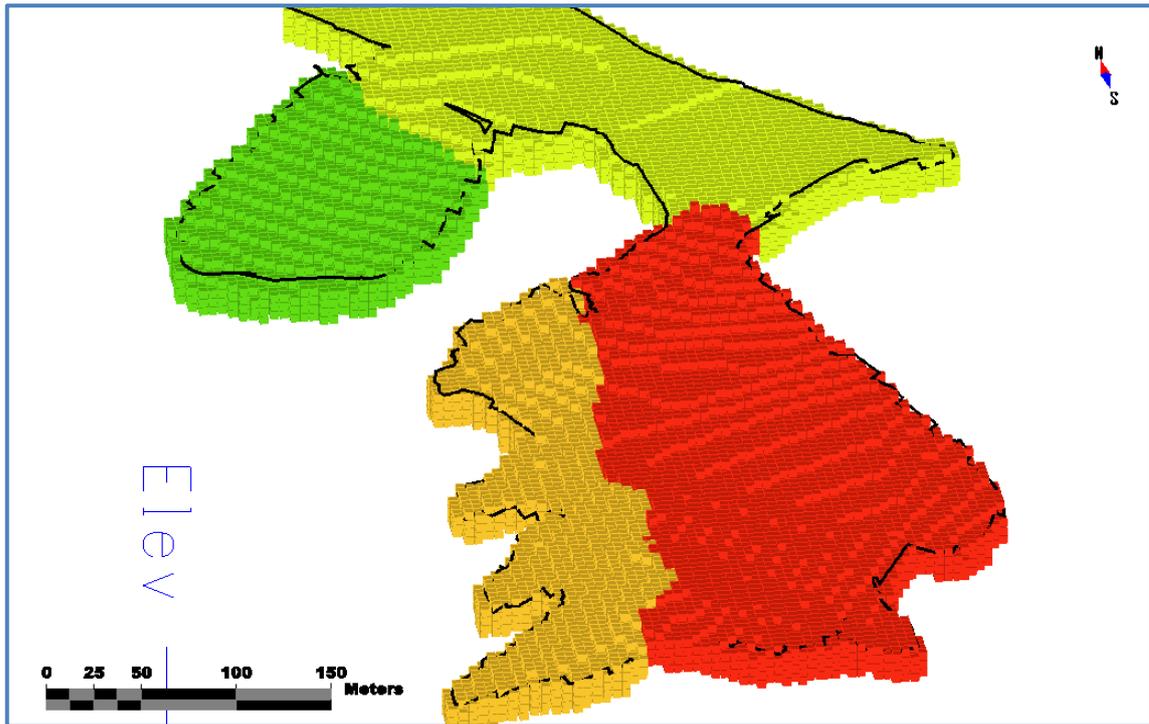
### 5.2.1. Diseño del modelo de bloques geotécnico.

El diseño de bloques se creó a partir de la resistencia a la compresión uniaxial (UCS) para cada uno de los tajos, todas las muestras fueron llevadas al laboratorio geomecánico para poder realizar dicho ensayo y posteriormente clasificarlas y zonificarlas de acuerdo a la dureza en cada punto, de esta manera poder crear los bloques necesarios para las distintas zonas, se usó la metodología del polígono más cercano para delimitar y diferenciar las zonas, teniendo en cuenta que el banco es de 5 metros, en el estudio para futuros proyectos se decidió estimar para 3 bancos, es decir para 15 metros de profundidad, esto con el fin de establecer la rentabilidad del estudio, para la clasificación por colores se tomó en cuenta la clasificación RMR y UCS de acuerdo a la dureza de la roca.



**Figura 42.** Vista top del modelo de bloques por dureza en los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

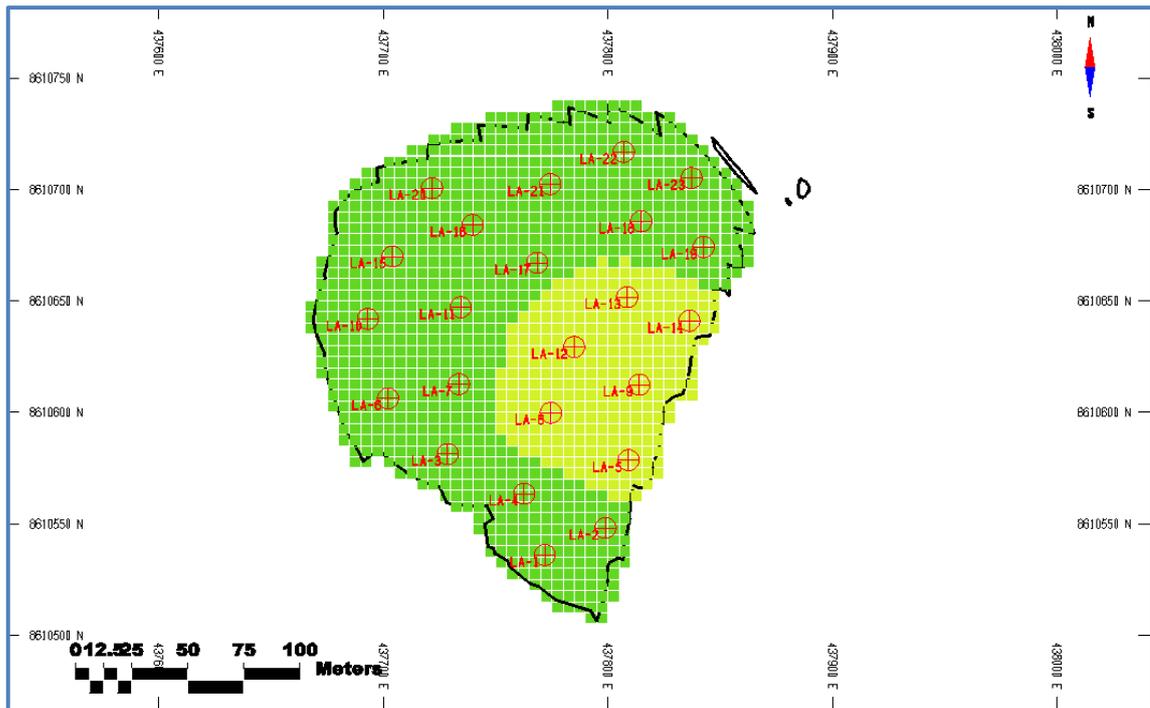
Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 43.** Modelo de bloques por dureza en los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

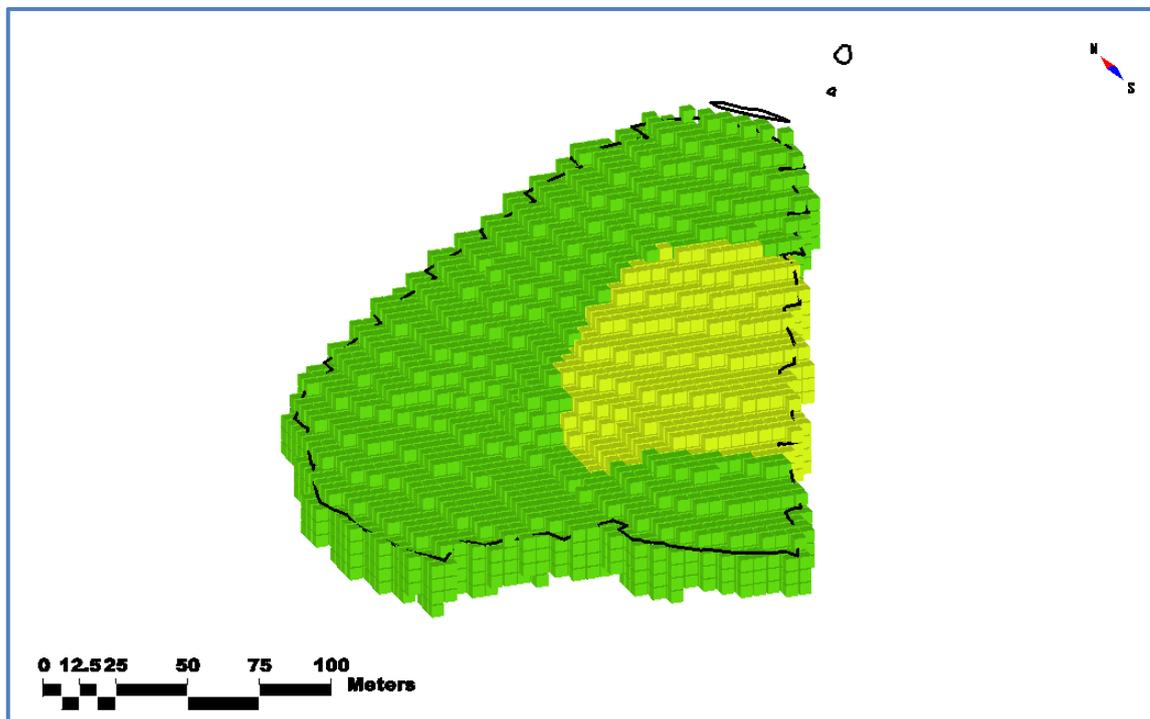
Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 42 y 43 podemos observar que en los tajos Cayhua y Cayhua Norte hay presencia de 3 tipos de rocas, los cuales son: II, III y IV. Como también existen 4 clasificaciones de dureza de rocas, las cuales son: Buena B (bloques de color verde claro), Regular A (bloques de color amarillo), Regular B (bloques de color naranja) y Mala A (bloques de color rojo). De los cuales la roca Mala A (bloques de color rojo) abarca una mayor extensión del tajo Cayhua, y la roca Regular A (bloques de color amarillo) abarca una mayor extensión en el tajo Cayhua Norte.



**Figura 44.** Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Laura.

Fuente: Elaboración tesista.

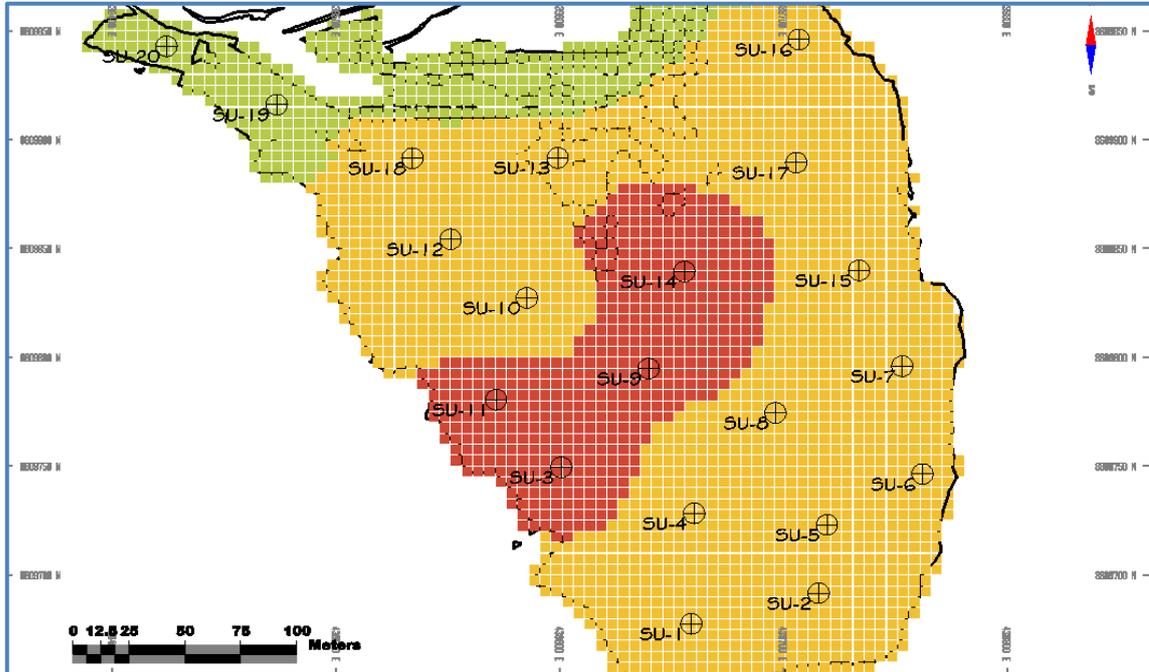


**Figura 45.** Modelo de bloques por dureza en el tajo Laura.

Fuente: Elaboración tesista.

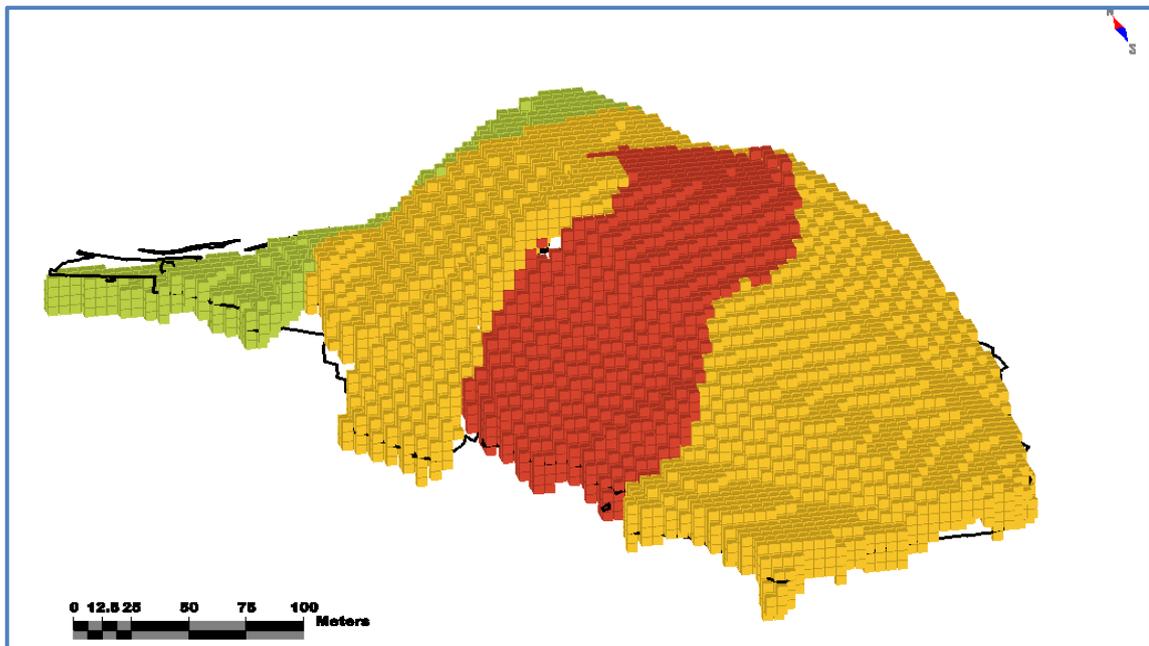
En la figura 44 y 45 podemos observar que en el tajo Laura hay presencia de 2 tipos de rocas, los cuales son: II y III. Como también existen 2 clasificaciones de dureza de

rocas, las cuales son: Buena B (bloques de color verde claro) y Regular A (bloques de color amarillo). De los cuales la roca Buena B (bloques de color verde claro) abarca una mayor extensión del tajo Laura.



**Figura 46.** Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Susan.

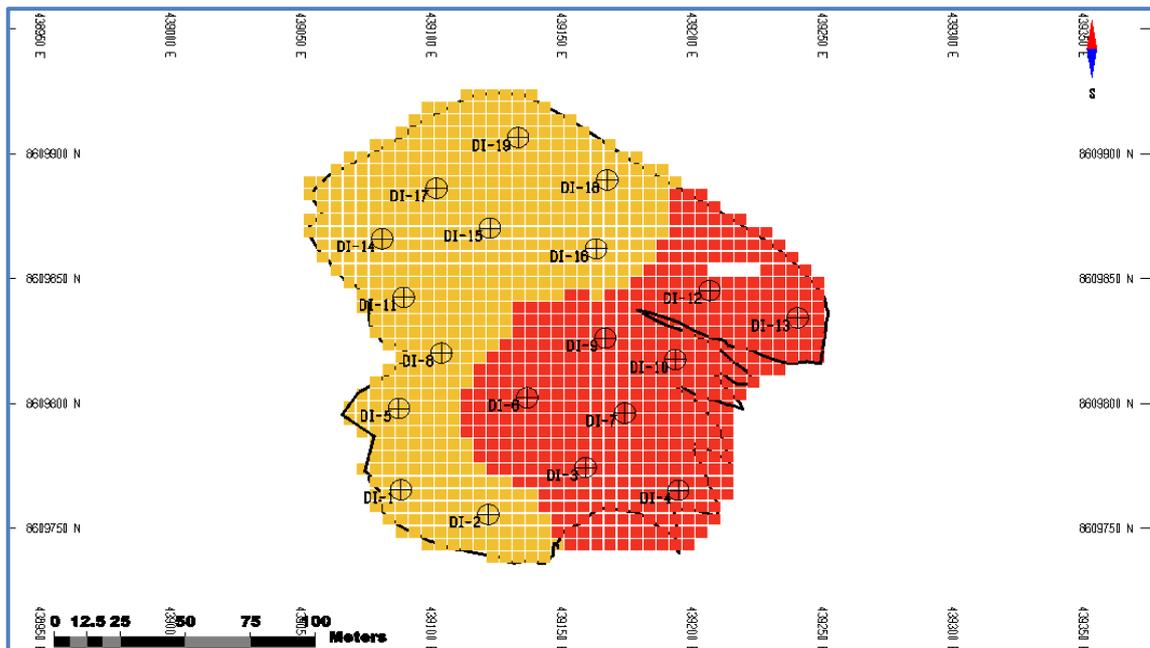
Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 47.** Modelo de bloques por dureza en el tajo Susan.

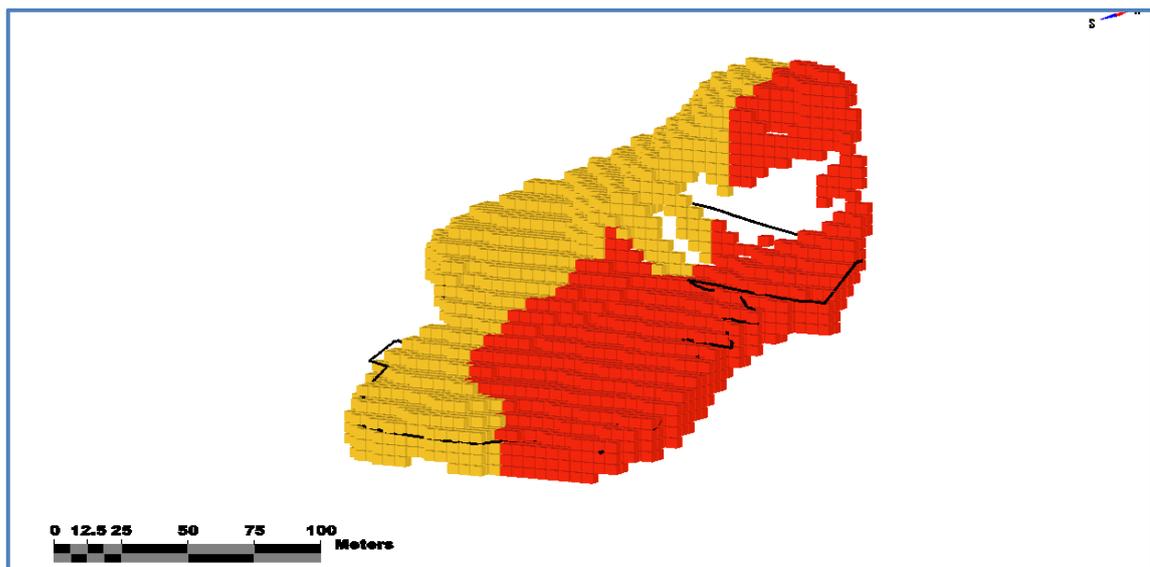
Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 46 y 47 podemos observar que en el tajo Susan hay presencia de 2 tipos de rocas, los cuales son: III y IV. Como también existen 3 clasificaciones de dureza de rocas, las cuales son: Regular A (bloques de color amarillo), Regular B (bloques de color naranja) y Mala A (bloques de color rojo). De los cuales la roca Regular B (bloques de color naranja) abarca una mayor extensión del tajo Susan.



**Figura 48.** Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Diana.

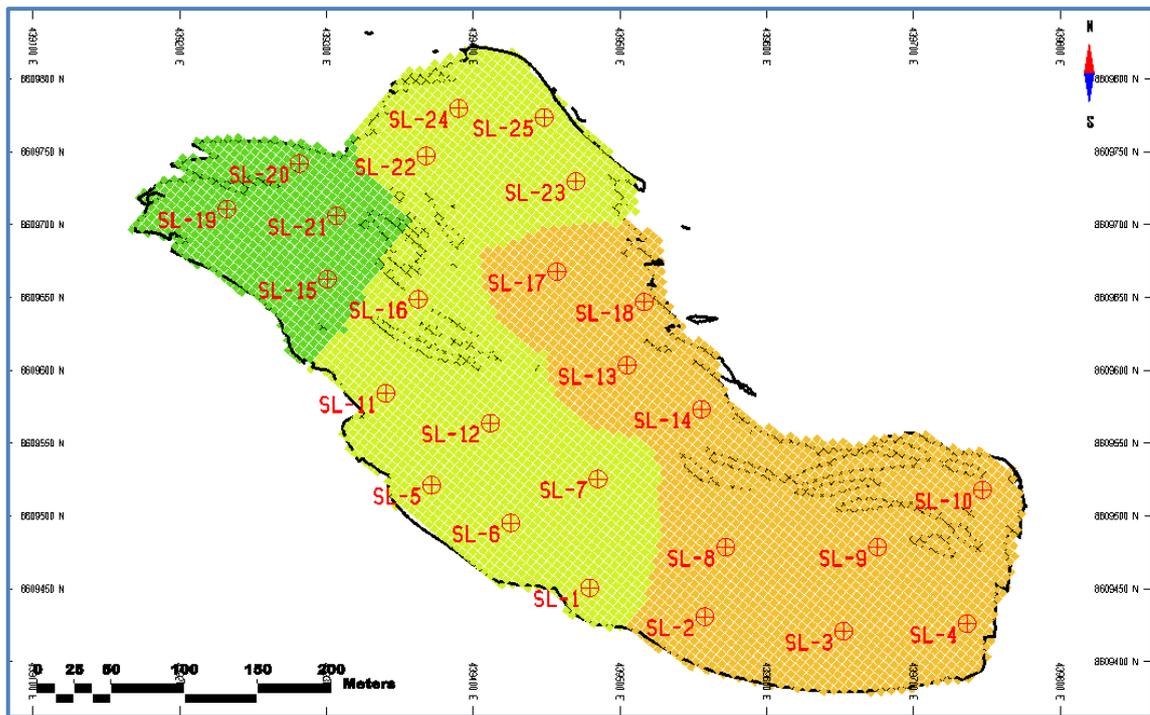
Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 49.** Modelo de bloques por dureza en el tajo Diana.

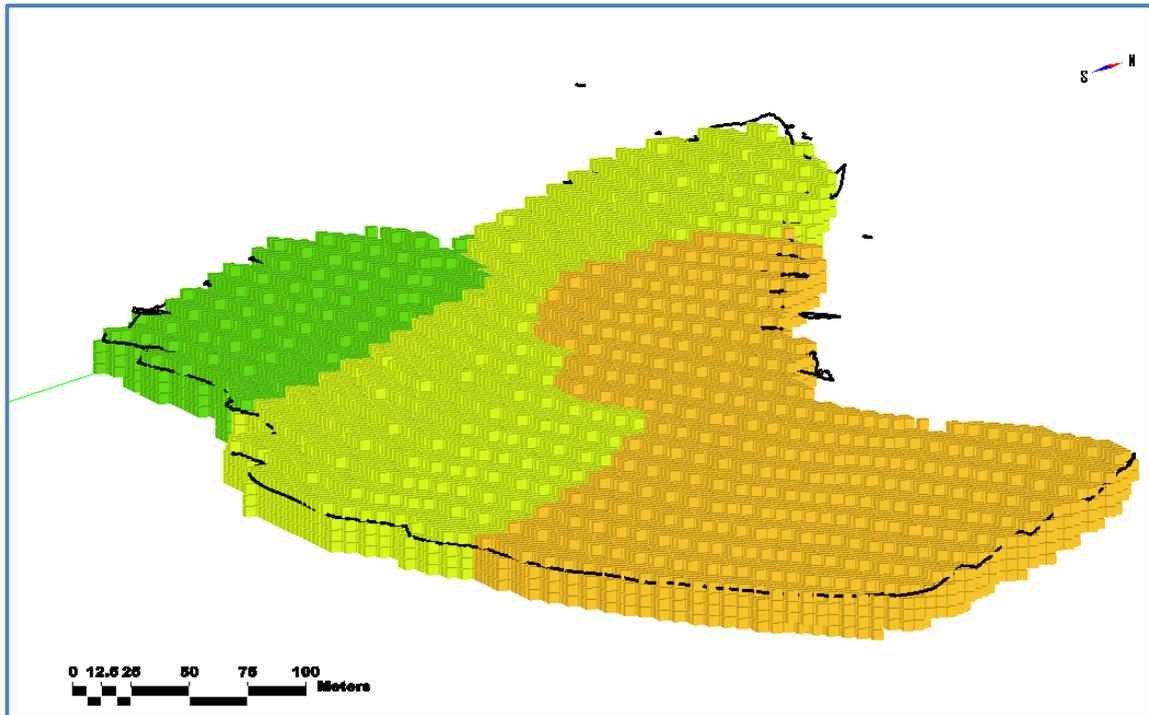
Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 48 y 49 podemos observar que en el tajo Diana hay presencia de 2 tipos de rocas, los cuales son: III y IV. Como también existen 2 clasificaciones de dureza de rocas, las cuales son: Regular B (bloques de color naranja) y Mala A (bloques de color rojo). De los cuales la roca Regular B (bloques de color naranja) abarca una mayor extensión del tajo Diana.



**Figura 50.** Vista top del modelo de bloques por dureza en el tajo Scree Slope

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 51.** Modelo de bloques por dureza en el tajo Scree Slope.

Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 50 y 51 podemos observar que en el tajo Scree Slope hay presencia de 2 tipos de rocas, los cuales son: II y III. Como también existen 3 clasificaciones de dureza de rocas, las cuales son: Buena B (bloques de color verde claro), Regular A (bloques de color amarillo) y Regular B (bloques de color naranja). De los cuales la roca Regular B (bloques de color naranja) abarca una mayor extensión del tajo Scree Slope.

### 5.2.2. Rediseño de la malla de perforación y voladura.

Para el diseño de la malla de perforación y voladura se tomó en cuenta la teoría de R. Ash, ya que esta toma los valores característicos y prácticos para el cálculo del Burden: Constante de roca ( $K_b$ ) y Diámetro de taladro ( $D$ ).

La constante de roca dependerá de la clasificación del macizo rocoso, la densidad y su dureza, por lo cual el estudio ship sampling se adecua perfectamente para su desarrollo.

El tipo de malla varía para cada zona del tajo dependiendo de su dureza ya que es directamente proporcional al Burden y Espaciamiento, pero para los distintos tajos se tomó un promedio de acuerdo a la extensión de cada uno de estos, como se muestra a continuación.

**Tabla 18:** UCS promedio de los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

<b>Tajo Cayhua y Cayhua Norte</b>			
<b>Tipo de Roca</b>	<b>Extensión (m2)</b>	<b>Participación</b>	<b>UCS (MPa)</b>
Buena B	13,771	10%	73
Regular A	46,545	33%	60
Regular B	27,717	19%	47
Mala A	54,898	38%	35
<b>TOTAL</b>	<b>142,931</b>	<b>100%</b>	<b>49.13</b>

Fuente: Elaboración Tesista.

**Tabla 19:** UCS promedio del tajo Laura.

<b>Tajo Laura</b>			
<b>Tipo de Roca</b>	<b>Extensión</b>	<b>Participación</b>	<b>UCS (MPa)</b>
Buena B	22,899	76%	74
Regular A	7,382	24%	60
<b>TOTAL</b>	<b>30,281</b>	<b>100%</b>	<b>70.59</b>

Fuente: Elaboración Tesista.

**Tabla 20:** UCS promedio del tajo Susan.

<b>Tajo Susan</b>			
<b>Tipo de Roca</b>	<b>Extensión</b>	<b>Participación</b>	<b>UCS (MPa)</b>
Regular A	14,178	20%	51
Regular B	50,798	70%	40
Mala A	7,104	10%	30
<b>TOTAL</b>	<b>72,080</b>	<b>100%</b>	<b>41.18</b>

Fuente: Elaboración Tesista.

**Tabla 21:** UCS promedio del tajo Diana.

<b>Tajo Diana</b>			
<b>Tipo de Roca</b>	<b>Extensión</b>	<b>Participación</b>	<b>UCS (MPa)</b>
Regular B	13,137	50%	43
Mala A	12,981	50%	34
<b>TOTAL</b>	<b>26,118</b>	<b>100%</b>	<b>38.53</b>

Fuente: Elaboración Tesista.

**Tabla 22:** UCS promedio del tajo Scree Slope.

<b>Tajo Scree Slope</b>			
<b>Tipo de Roca</b>	<b>Extensión</b>	<b>Participación</b>	<b>UCS (MPa)</b>
Buena B	17,023	13%	70
Regular A	53,840	42%	55
Regular B	57,295	45%	40
<b>TOTAL</b>	<b>128,159</b>	<b>100%</b>	<b>50.29</b>

Fuente: Elaboración Tesista.

De las anteriores tablas podemos decir lo siguiente:



- Los Tajos Cayhua y Cayhua Norte tienen un UCS promedio de 49.13 MPa, considerando dicho valor podemos decir que es una roca de tipo III, y una clasificación de Regular B.
- El tajo Laura tiene un UCS promedio de 70.59 MPa, considerando dicho valor podemos decir que es una roca de tipo II, y una clasificación de Buena B.
- El tajo Susan tiene un UCS promedio de 41.18 MPa, considerando dicho valor podemos decir que es una roca de tipo III, y una clasificación de Regular B.
- El tajo Diana tiene un UCS promedio de 38.53 MPa, considerando dicho valor podemos decir que es una roca de tipo III, y una clasificación de Regular B.
- El tajo Scree Slope tiene un UCS promedio de 50.29 MPa, considerando dicho valor podemos decir que es una roca de tipo III, y una clasificación de Regular A.

Por lo cual para mejorar la fragmentación se realizó un nuevo diseño de malla promedio estándar el cual será referencia para realizar cambios dependiendo del tipo de dureza, para este nuevo diseño se tomó en cuenta el formulismo de R. Ash para el cálculo del Burden (B), a partir de ello se calculó otras variables para el diseño de carguío, tanto para los taladros de producción como los taladros de amortiguación, los cálculos se muestran a continuación.

**Tabla 23:** Cálculo del Burden según R. Ash.

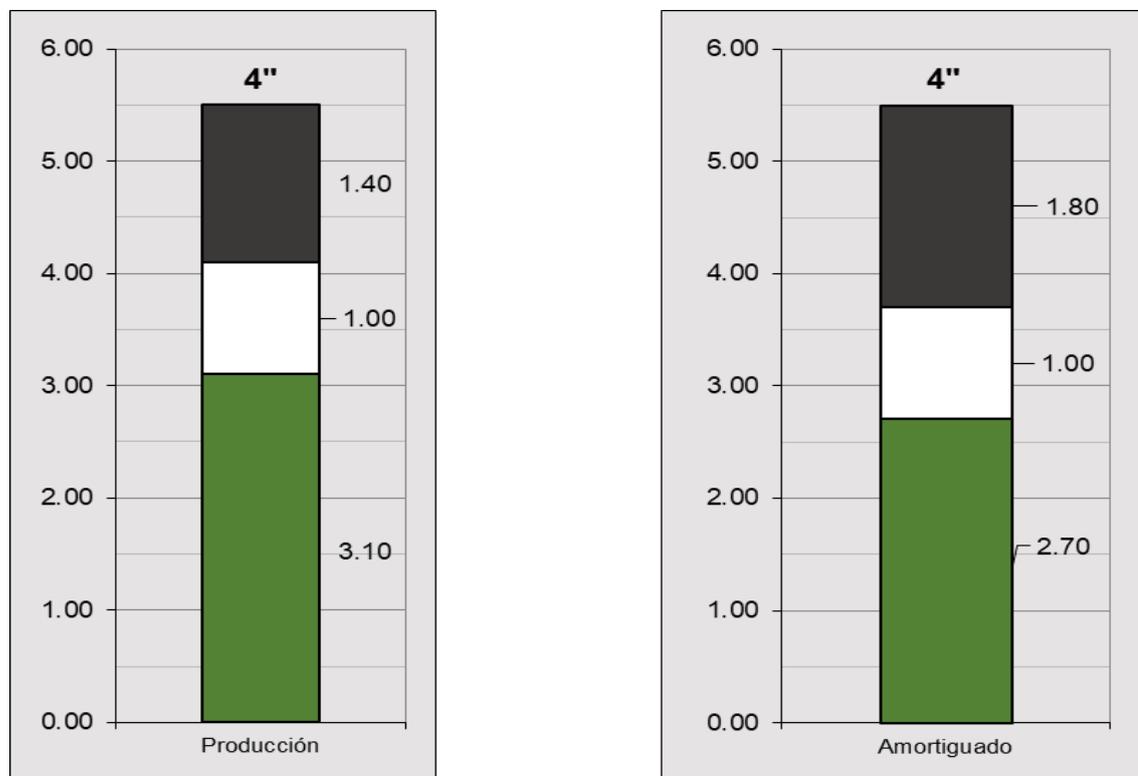
<b>Burden según R. Ash</b>	
Constante de roca (Kb)	30
Diámetro de taladro (pulg)	4
Burden (m)	3.00

Fuente: Elaboración Tesista.

**Tabla 24:** Diseño de carga estándar promedio.

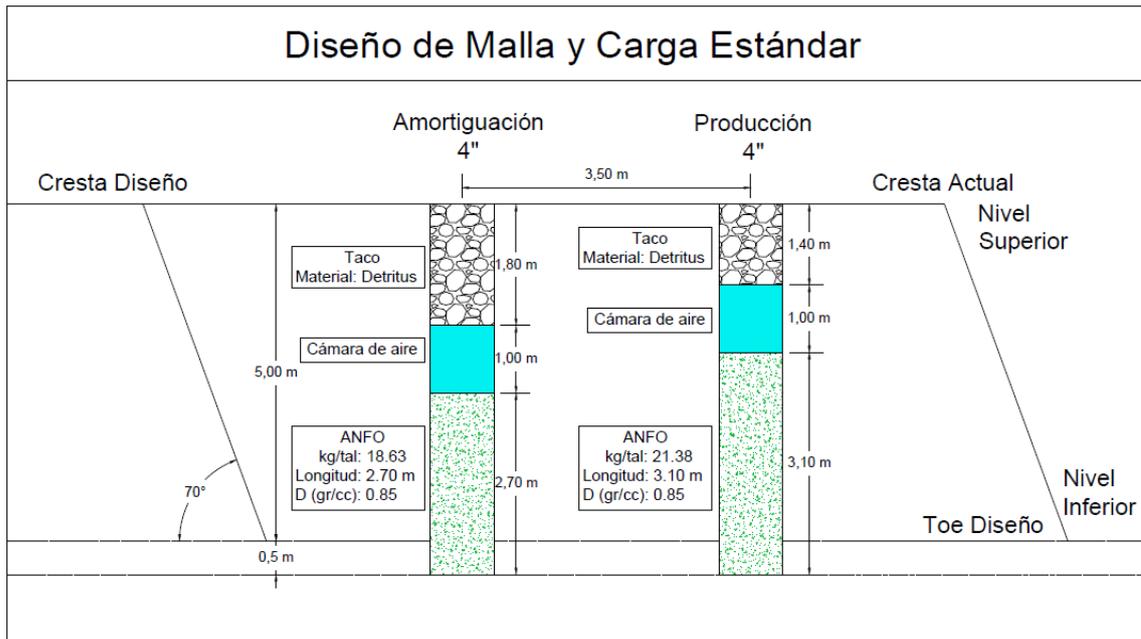
<b>Diseño de Carga Estándar</b>		
<b>Parámetros de perforación</b>	<b>Producción</b>	<b>Amortiguado</b>
Dureza de Roca	Media	Media
Tipo de Malla	Cuadrada	Cuadrada
Densidad de Roca (ton/m <sup>3</sup> )	2.24	2.24
Burden (m)	3.00	3.00
Espaciamiento (m)	3.00	3.00
Altura de Banco (m)	5.00	5.00
Sobreperforación (m)	0.50	0.50
Profundidad de Taladro (m)	5.50	5.50
Diámetros de Taladro (pulg)	4	4
<b>Parámetros de Voladura</b>		
Densidad del Explosivo (gr/cc)	0.85	0.85
Carga Lineal (kg/m)	6.90	6.90
Cantidad de Explosivo (kg)	21.38	18.63
Taco (m)	1.40	1.80
Cámara de Aire (m)	1.00	1.00
Longitud de Carga (m)	3.10	2.70
Valor SD	1.00	1.21
Toneladas por Taladro (Ton/tal)	100.80	100.80
Factor de Carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.475	0.414
Factor de Potencia (kg/ton)	0.212	0.185

Fuente: Elaboración Tesista.



**Figura 52.** Diseño de Carga estándar promedio.

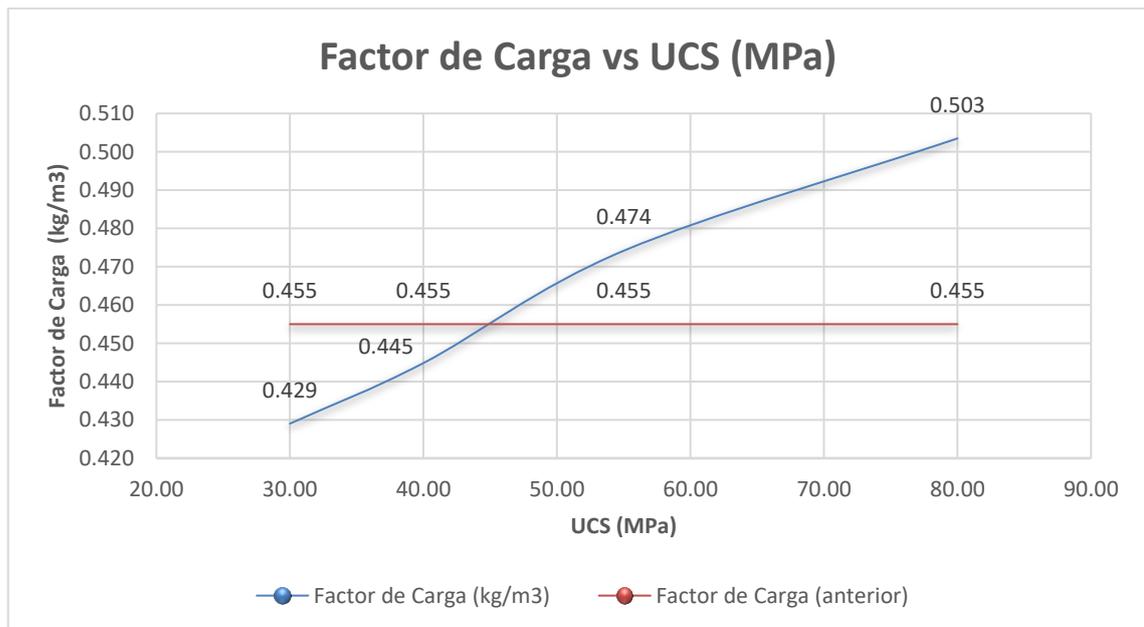
Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 53.** Diseño de malla y carga estándar promedio.

Fuente: Elaboración tesista.

A partir de este diseño se harán modificaciones en la longitud de carga, por ende, se verá afectado el factor de carga y el factor de potencia, ello dependerá de la dureza de la roca en cada zona, ya que en la mina Corihuarmi encontramos presencia de cuatro clasificaciones de roca las cuales son: Buena B, Regular A, Regular B y Mala A.



**Figura 54.** Variación del factor de carga de acuerdo a la dureza de la roca.

Fuente: Elaboración tesista.

### 5.2.3. Aplicación del diseño en los distintos tajos.

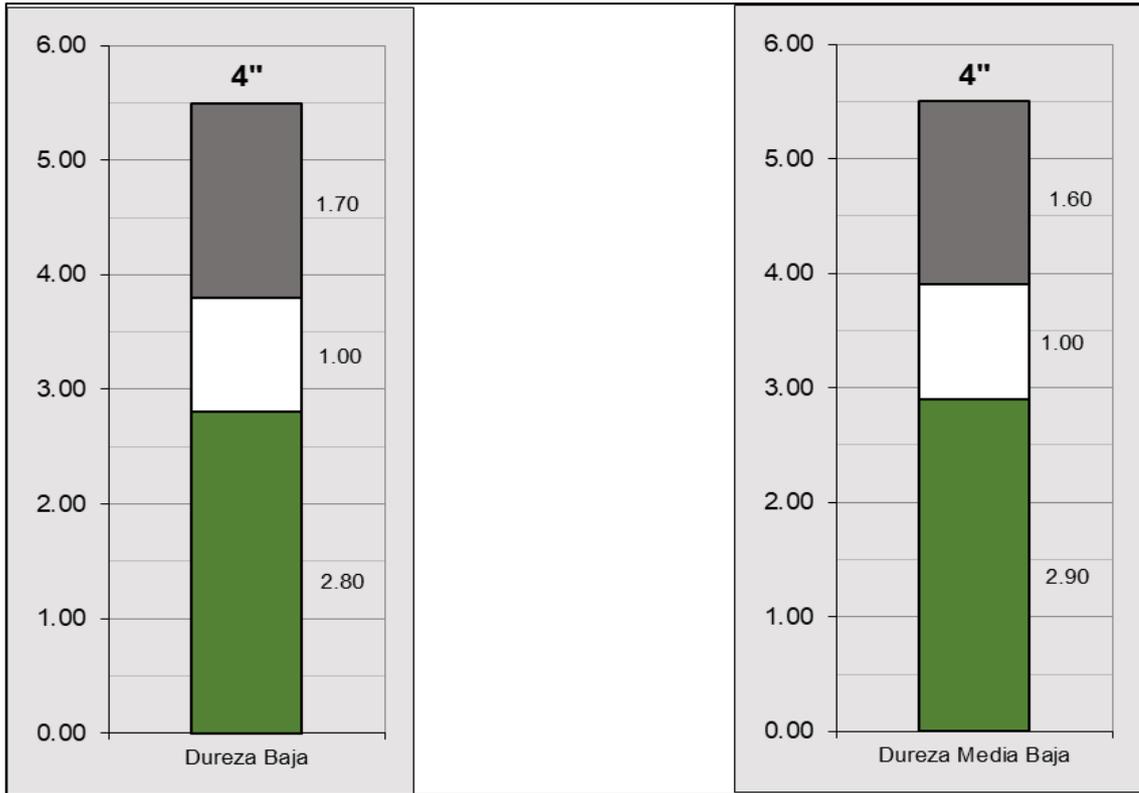
Cada tajo tiene diferentes durezas por lo que en zonas donde exista intersección de dichas durezas la longitud de carga tendrá cierta variación. Para dar en cuenta la diferenciación del factor de carga por durezas de roca, se tomaron proyectos que contengan dichas características. En los diferentes tajos se tuvieron proyectos en los que se tomó en cuenta el diseño de malla estándar, pero con variación del factor de carga, para desarrollar ello se diseñó la malla en el software Mineplan de acuerdo a los Budgets de planeamiento a corto plazo, a continuación, se exportó al software JK Simblast para el análisis de voladura.

#### 5.2.3.1 Tajo Cayhua y Cayhua Norte.



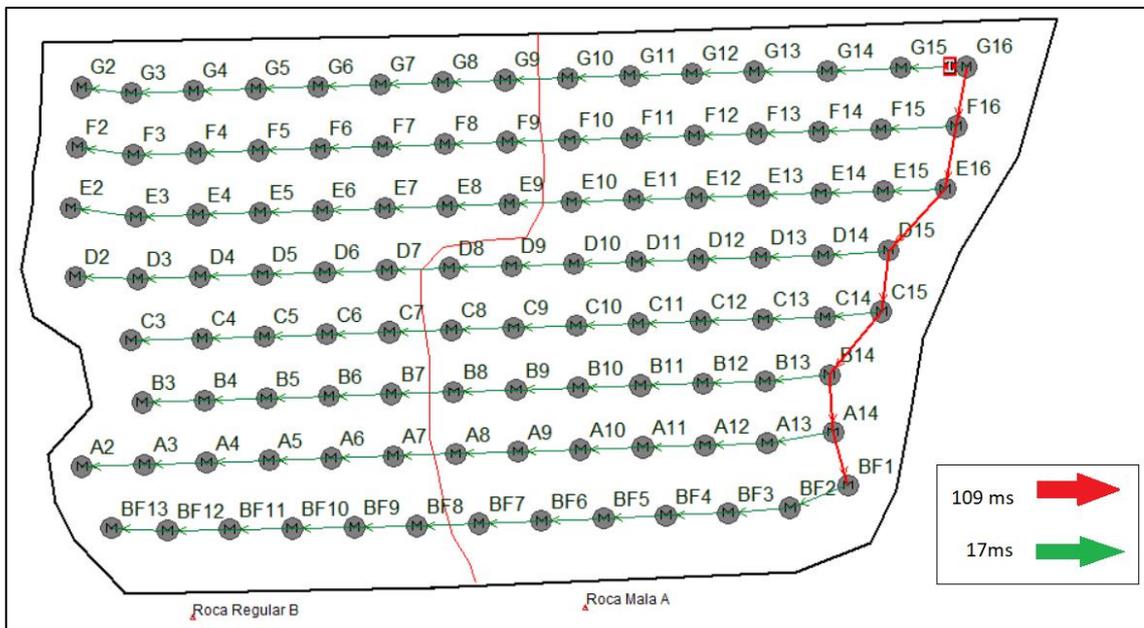
Figura 55. Proyecto 4880 – 113.

Fuente: Elaboración tesista.



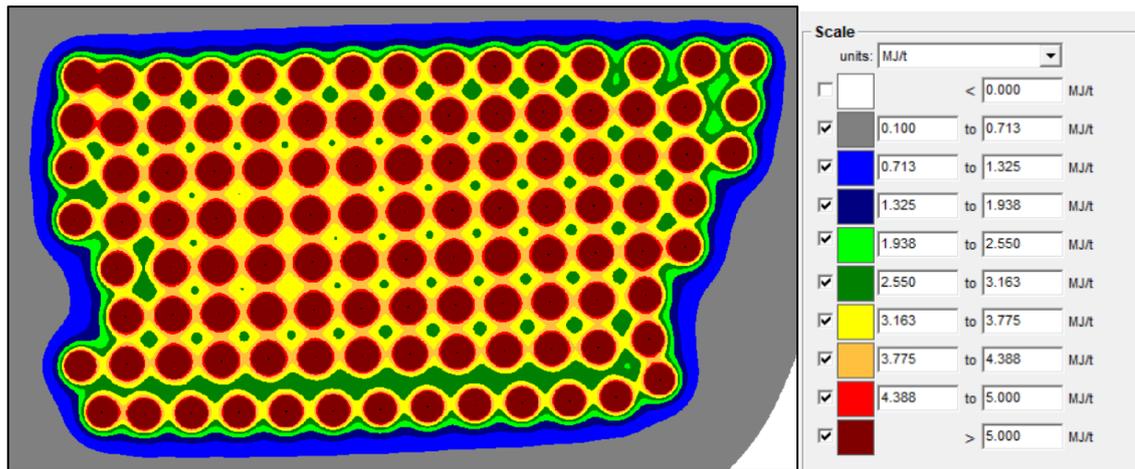
**Figura 56.** Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular B y Mala A.

Fuente: Elaboración tesista.



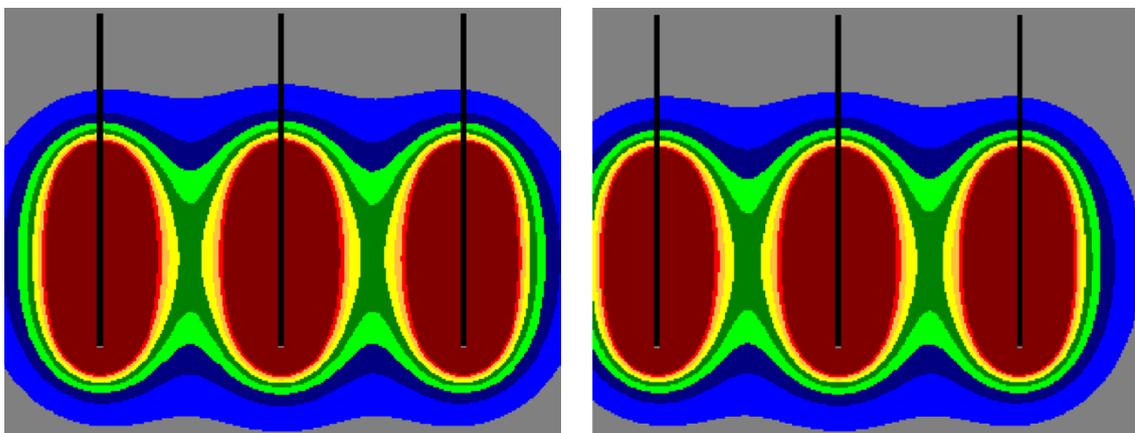
**Figura 57.** Secuencia de salida tipo echelon.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 58.** Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.

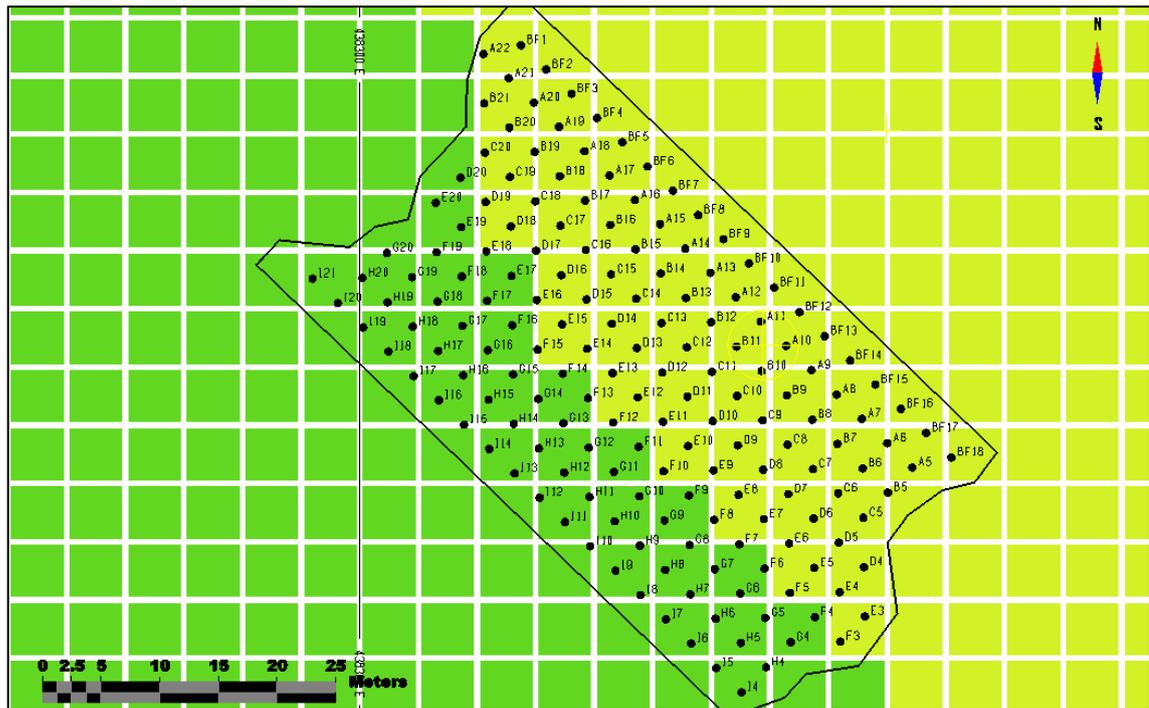
Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 59.** Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna.

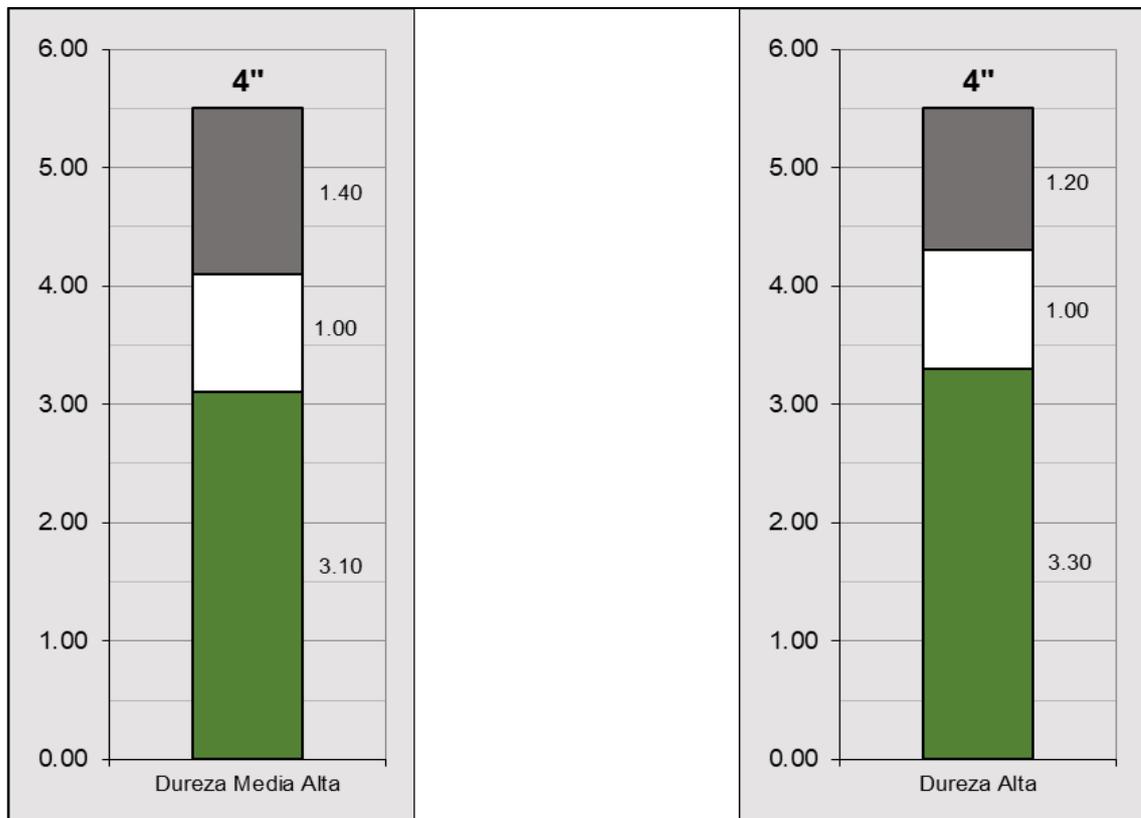
Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 55 y 59 podemos observar que la figura de la izquierda pertenece a la roca Regular B (bloques de color naranja) y el de la derecha a la roca Mala A (bloques de color rojo), por ello también se observa una pequeña diferencia en la longitud de su distribución energética.



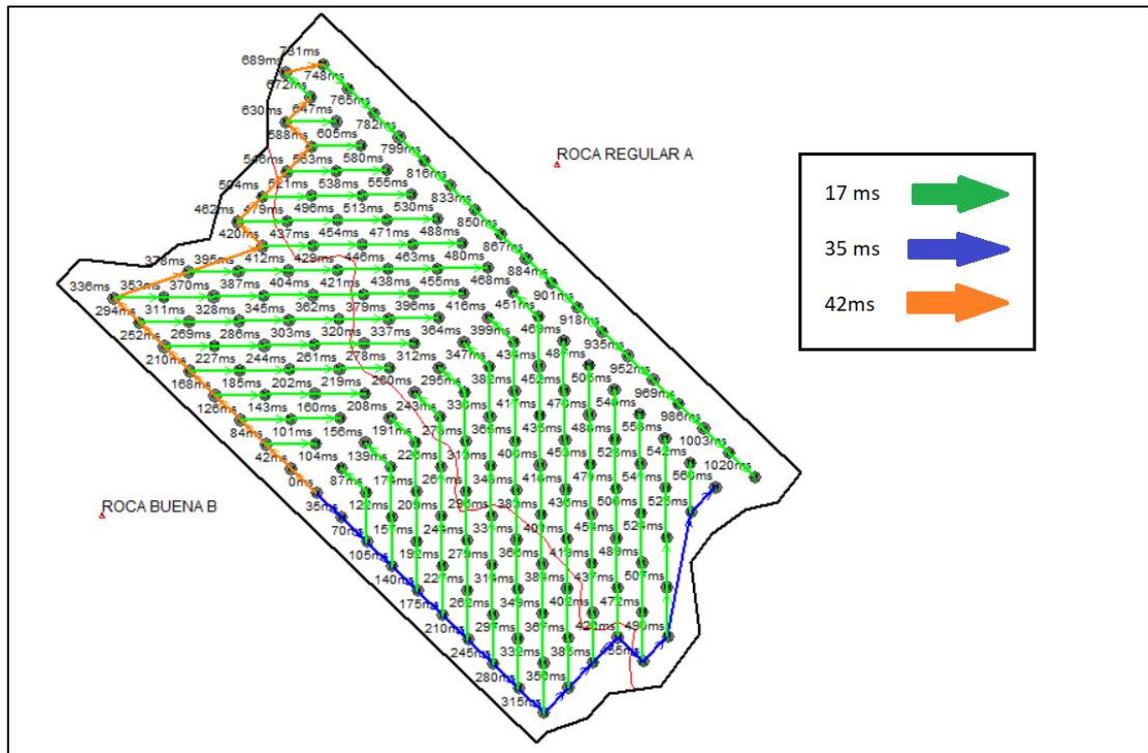
**Figura 60.** Proyecto 4920 – 075.

Fuente: Elaboración tesista.



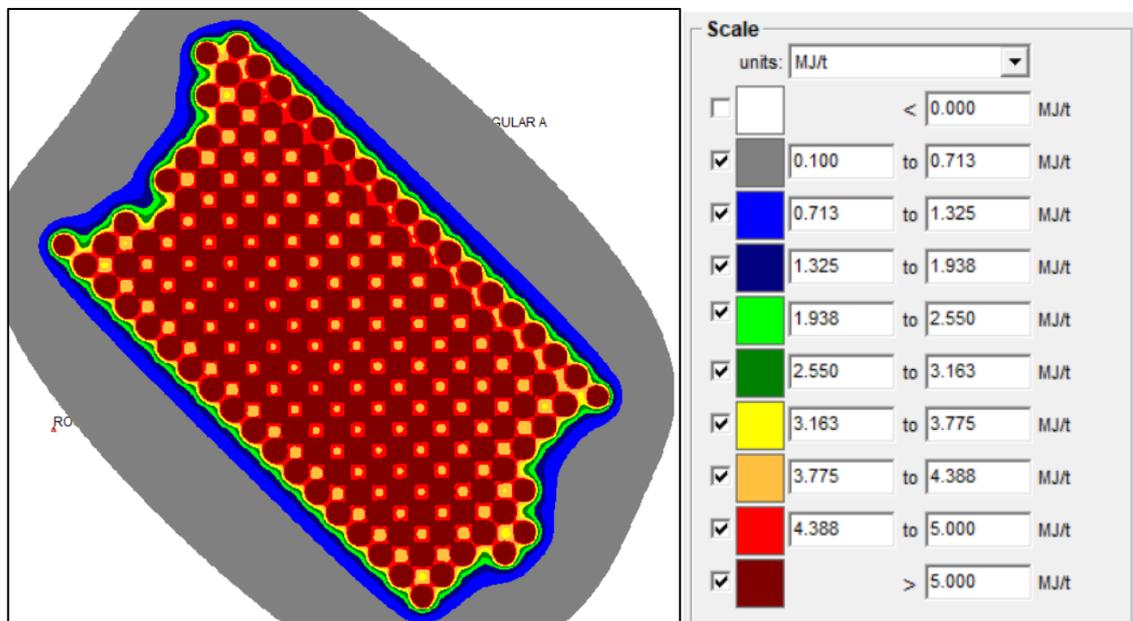
**Figura 61.** Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular A y Buena B.

Fuente: Elaboración tesista.



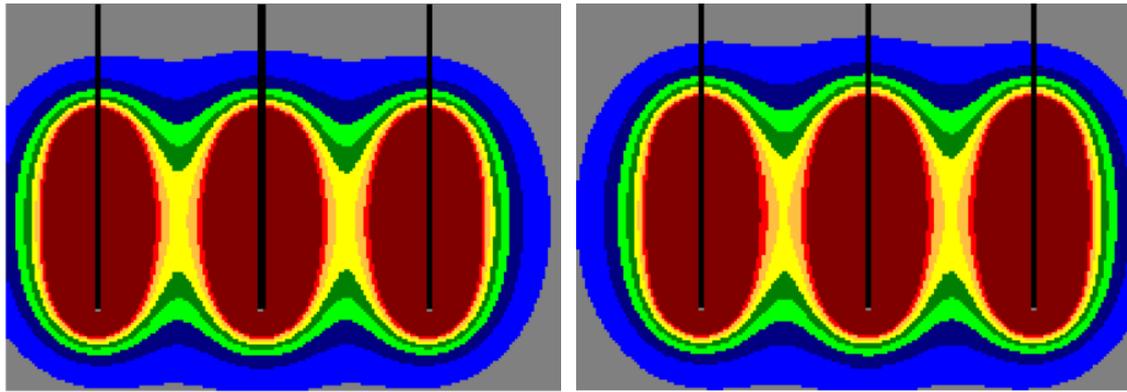
**Figura 62.** Secuencia de salida tipo trapecoidal.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 63.** Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.

Fuente: Elaboración tesista.

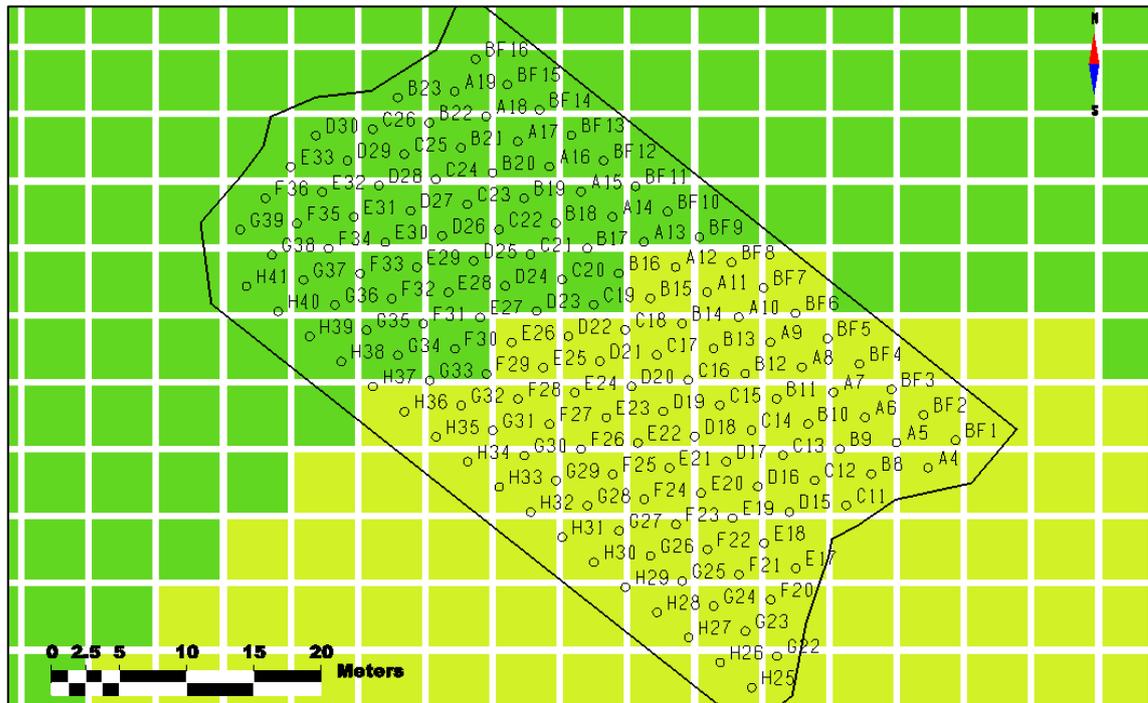


**Figura 64.** Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna.

Fuente: Elaboración tesista.

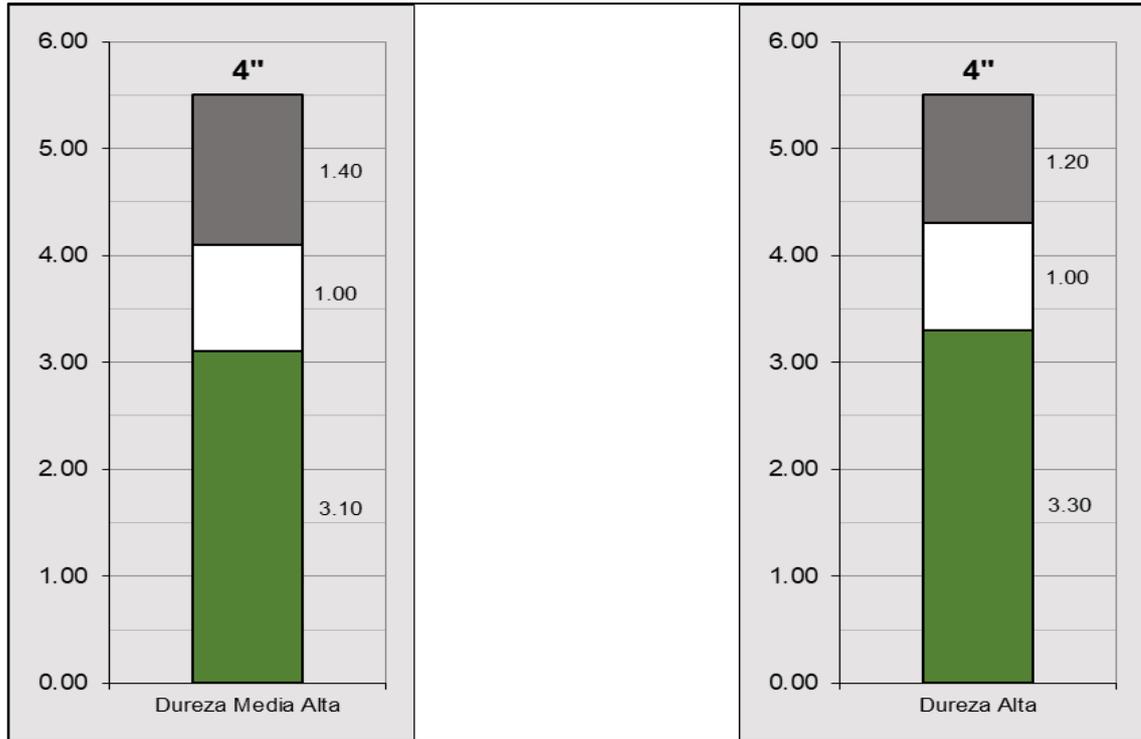
En la figura 60 y 64 podemos observar que la figura de la izquierda pertenece a la roca Regular A (bloques de color amarillo) y el de la derecha a la roca Buena B (bloques de color verde claro), por ello también se observa una pequeña diferencia en la longitud de su distribución energética.

### 5.2.3.2. Tajo Laura.



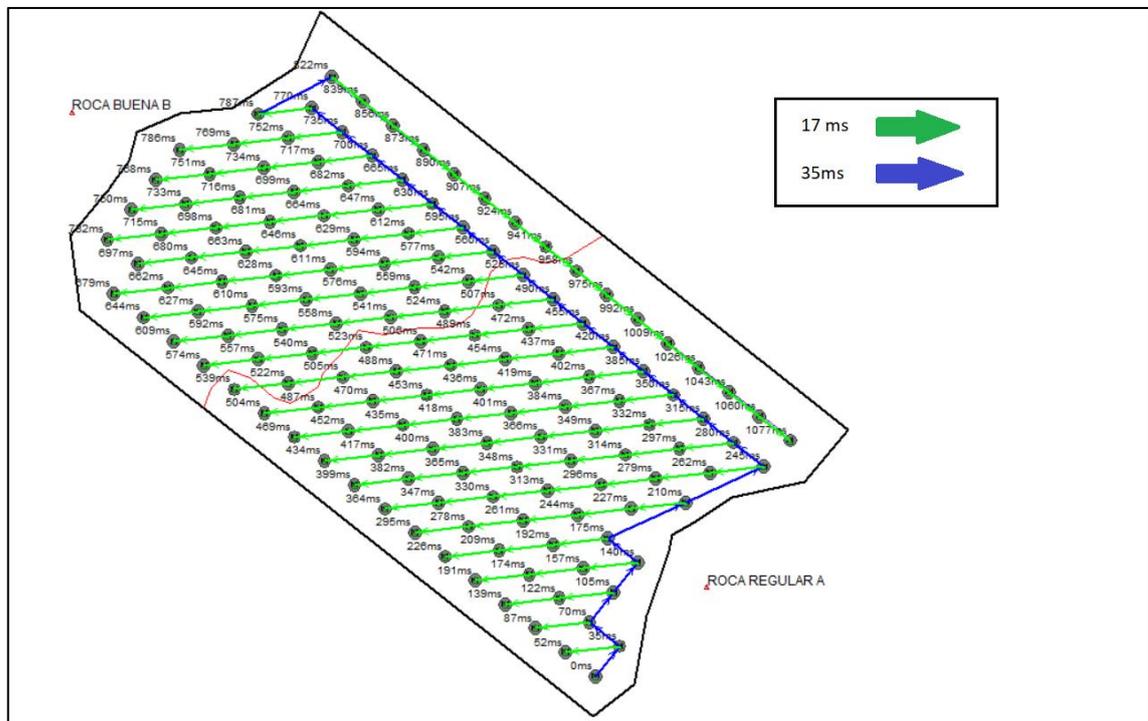
**Figura 65.** Proyecto 4840 – 132.

Fuente: Elaboración tesista.



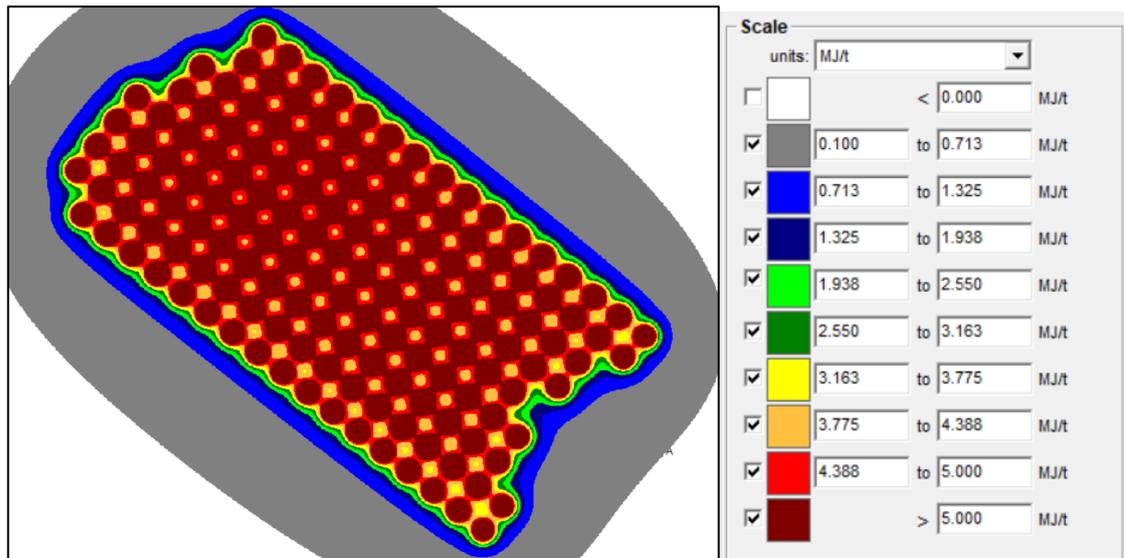
**Figura 66.** Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular A y Buena B.

Fuente: Elaboración tesista.



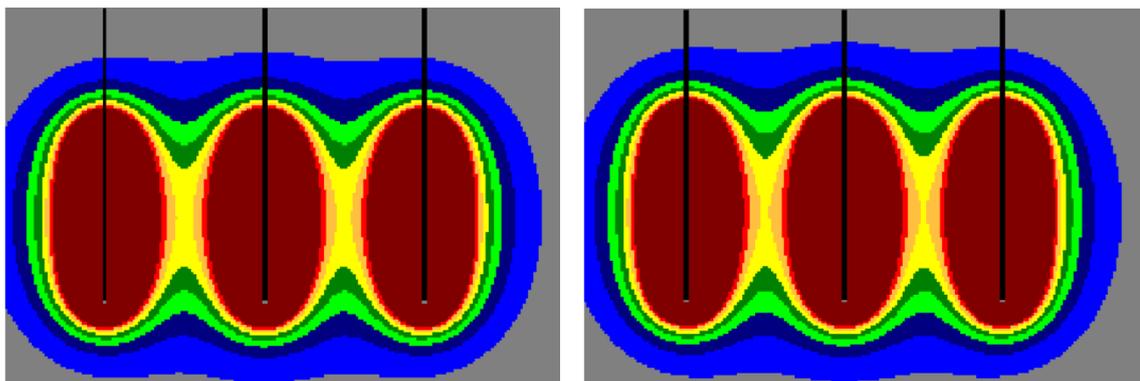
**Figura 67.** Secuencia de salida tipo diagonales cortas.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 68.** Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 69.** Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna.

Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 65 y 69 podemos observar que la figura de la izquierda pertenece a la roca Regular A (bloques de color amarillo) y el de la derecha a la roca Buena B (bloques de color verde claro), por ello también se observa una pequeña diferencia en la longitud de su distribución energética.

### 5.2.3.3. Tajo Susan.

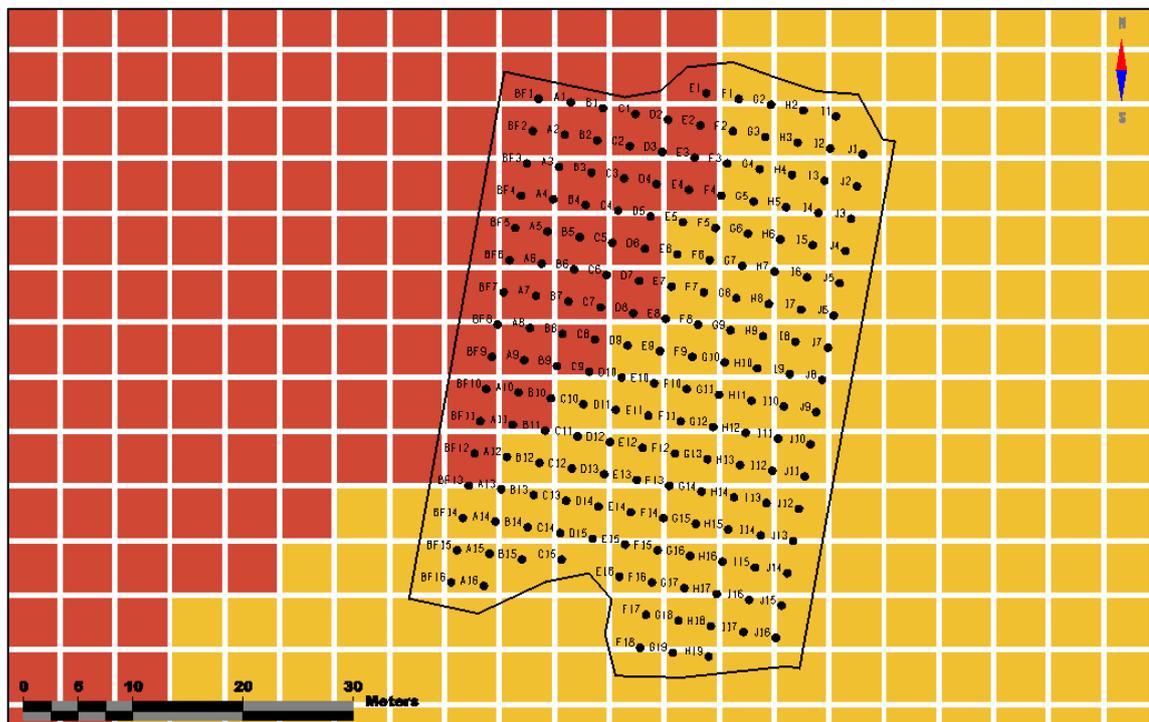


Figura 70. Proyecto 4860 – 102.

Fuente: Elaboración tesista.

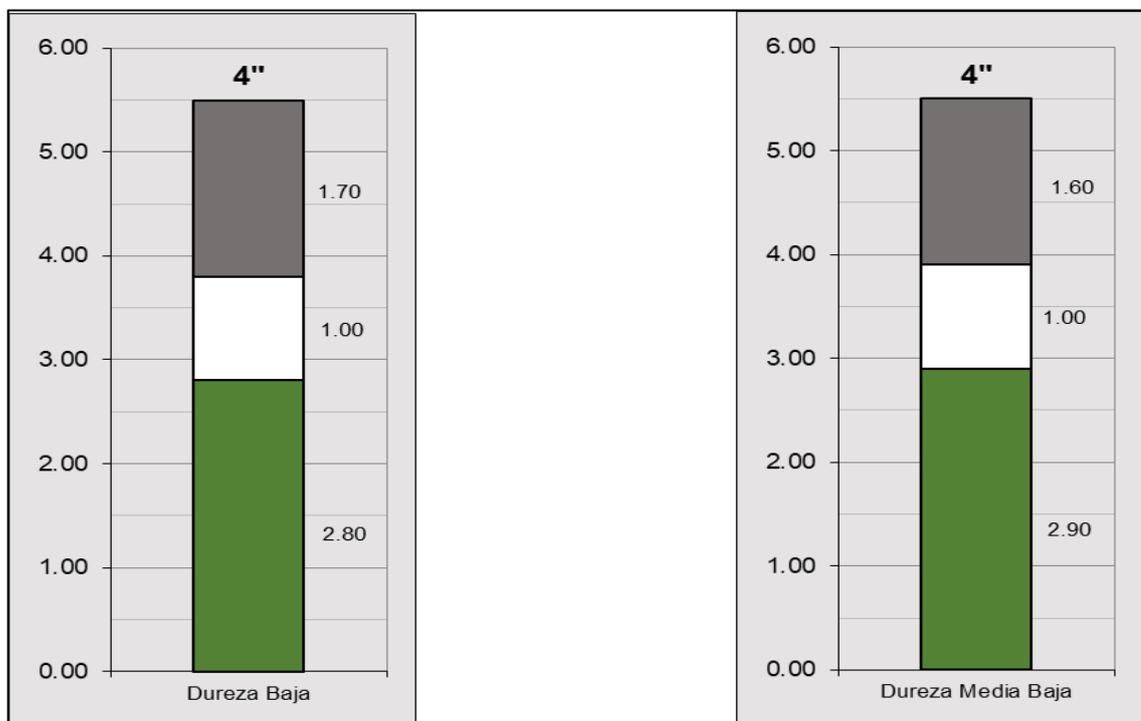
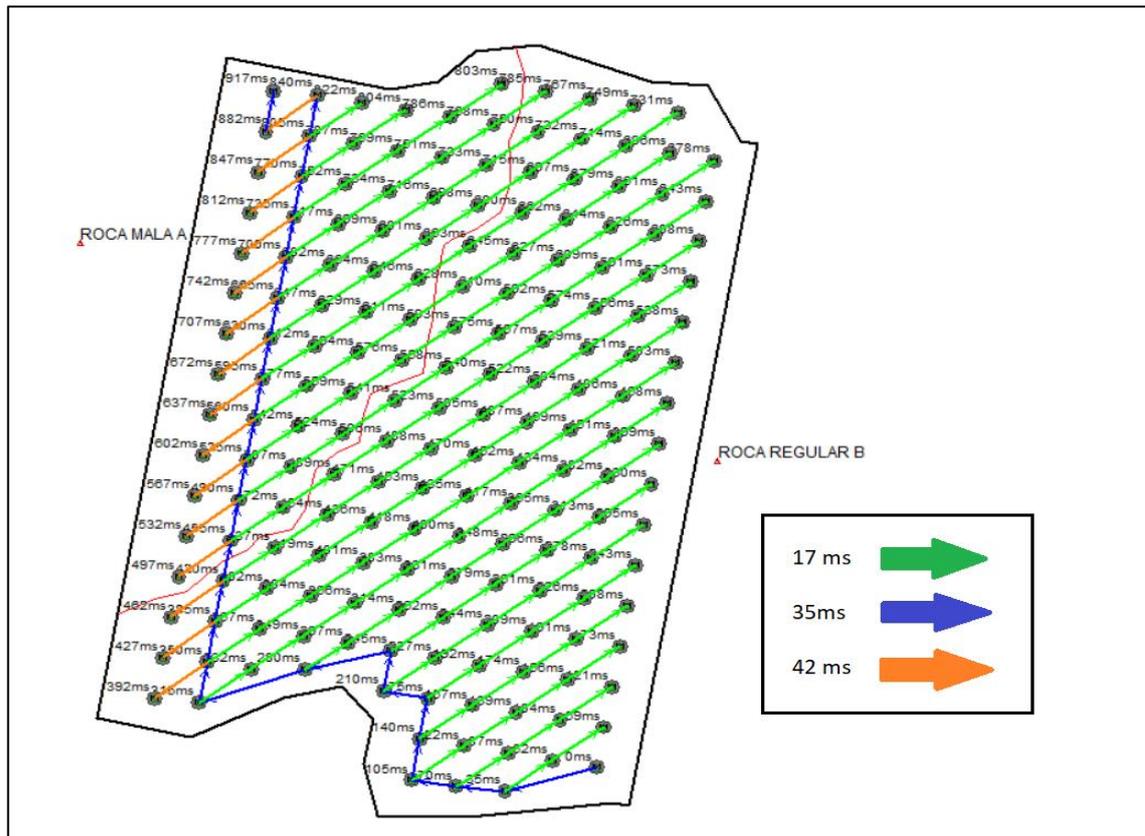


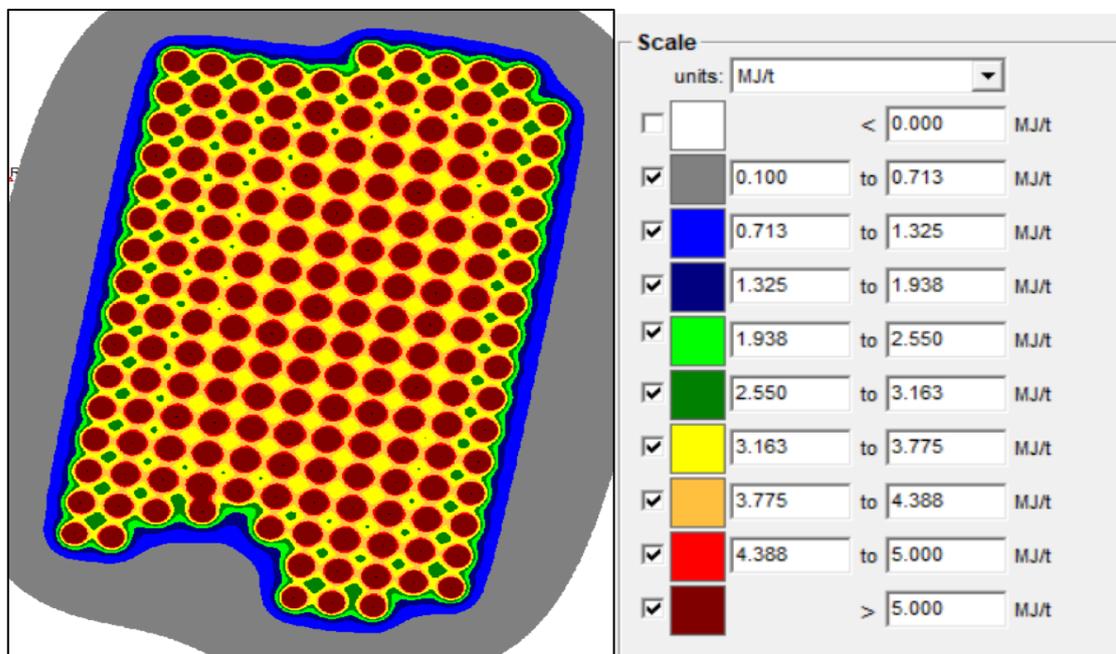
Figura 71. Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular B y Mala A.

Fuente: Elaboración tesista.



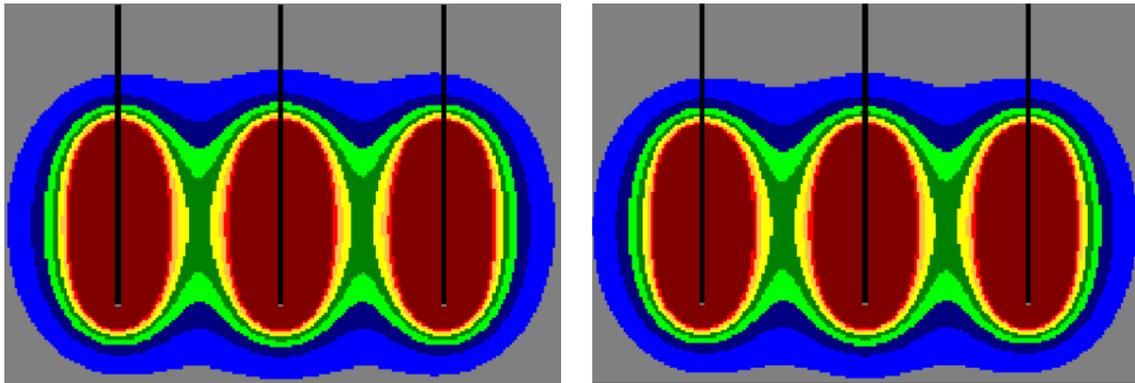
**Figura 72.** Secuencia de salida tipo diagonales largas.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 73.** Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.

Fuente: Elaboración tesista.

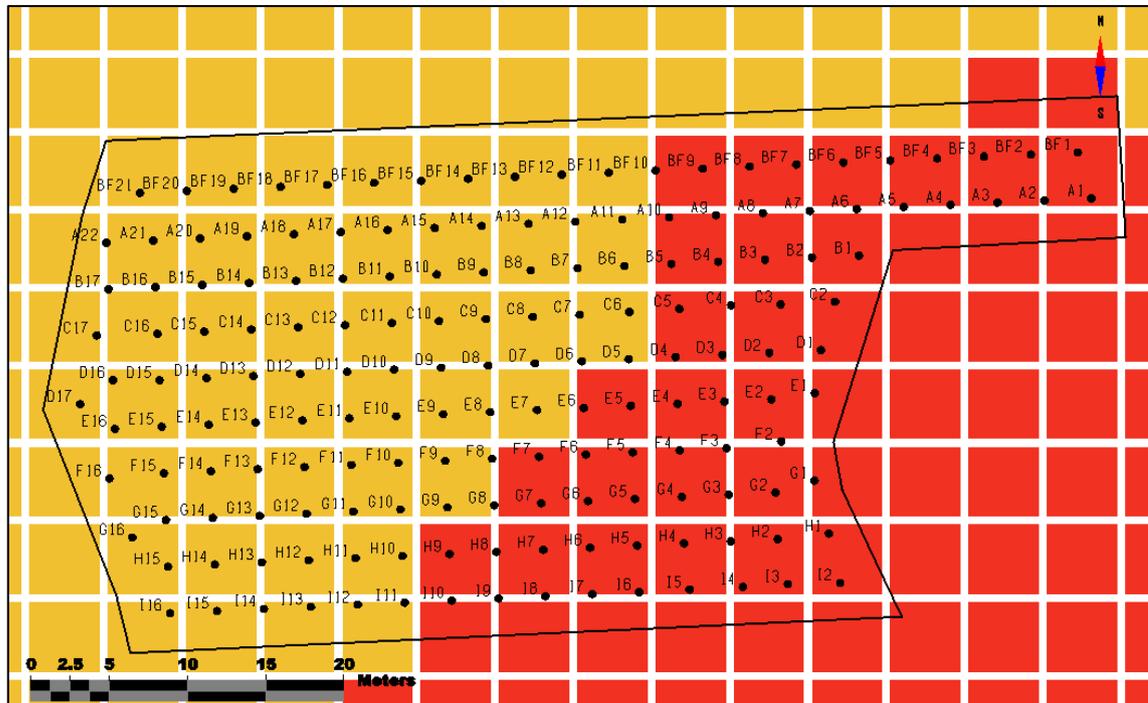


**Figura 74.** Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna.

Fuente: Elaboración tesista.

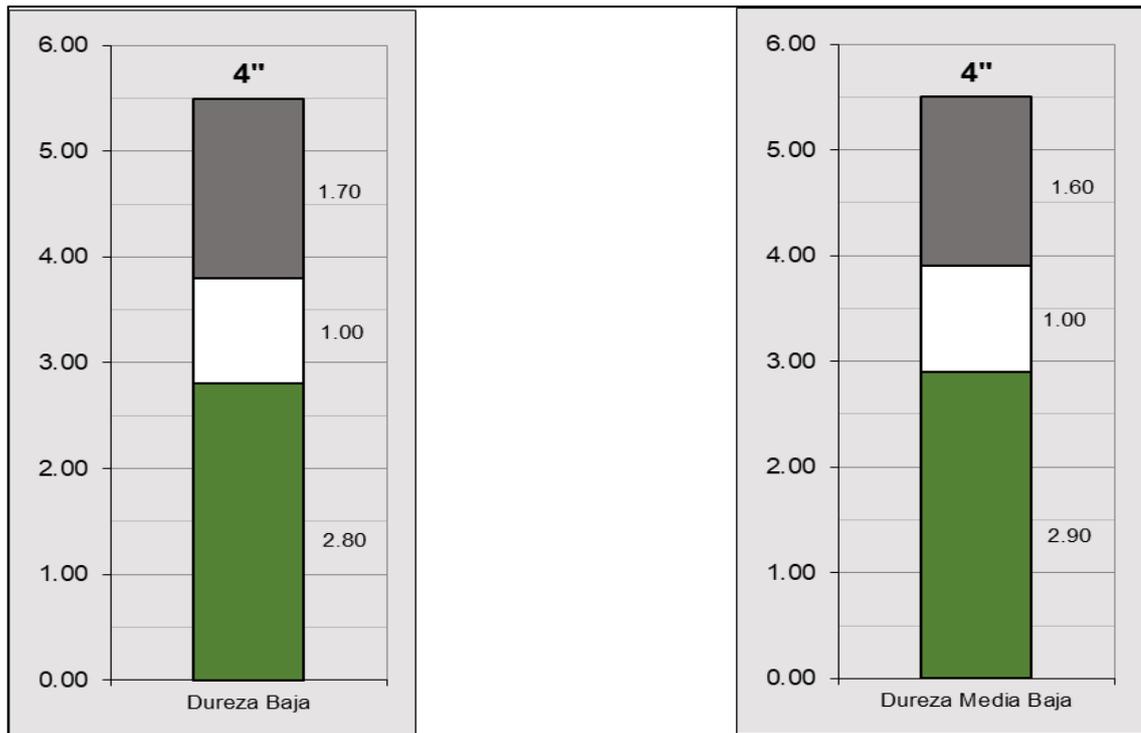
En la figura 70 y 74 podemos observar que la figura de la izquierda pertenece a la roca Regular B (bloques de color naranja) y el de la derecha a la roca Mala A (bloques de color rojo), por ello también se observa una pequeña diferencia en la longitud de su distribución energética.

#### 5.2.3.4. Tajo Diana.



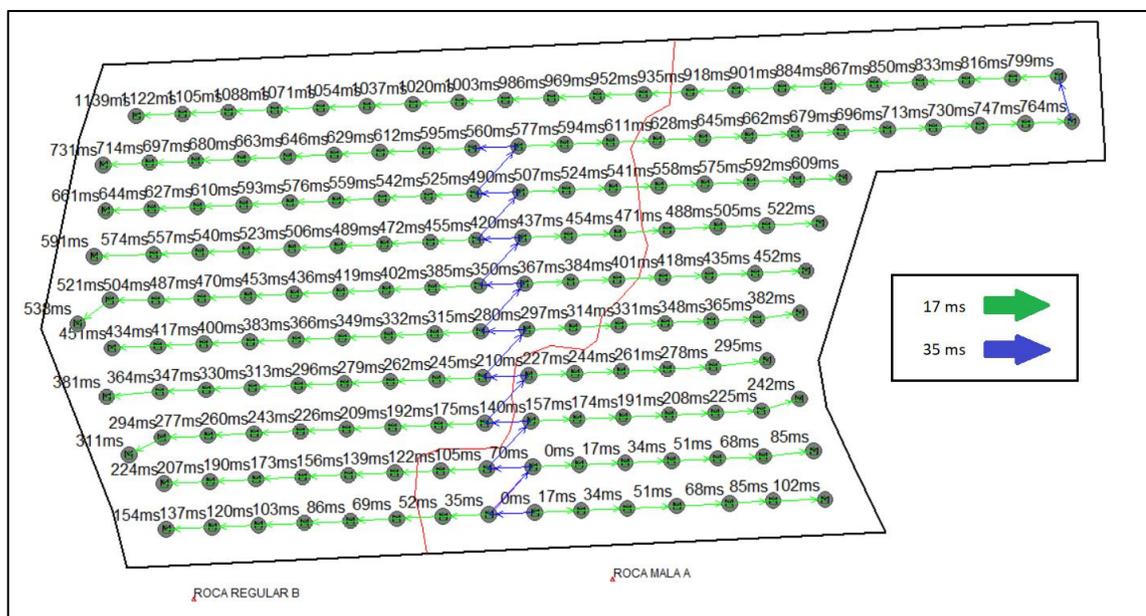
**Figura 75.** Proyecto 4775 – 084.

Fuente: Elaboración tesista.



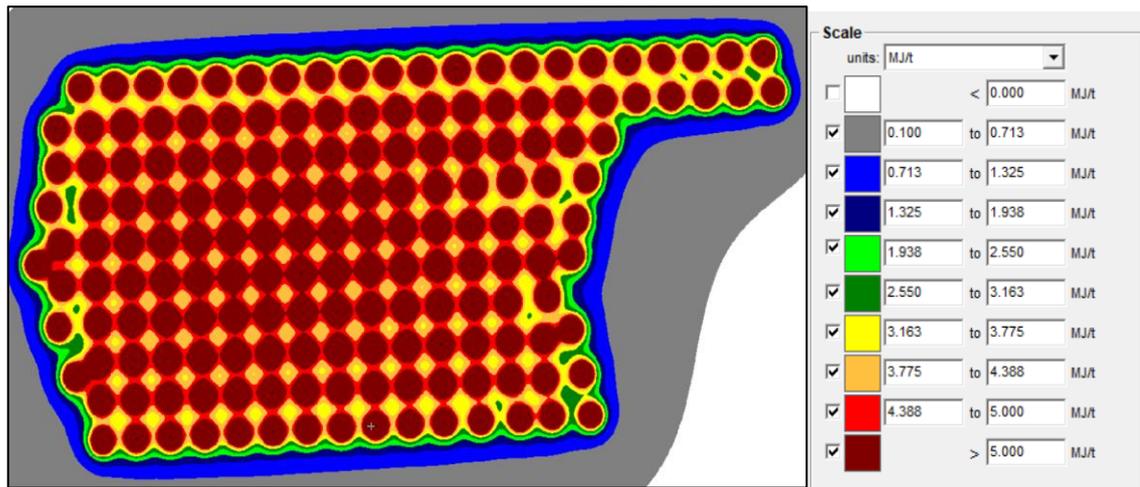
**Figura 76.** Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular B y Mala A.

Fuente: Elaboración tesista.



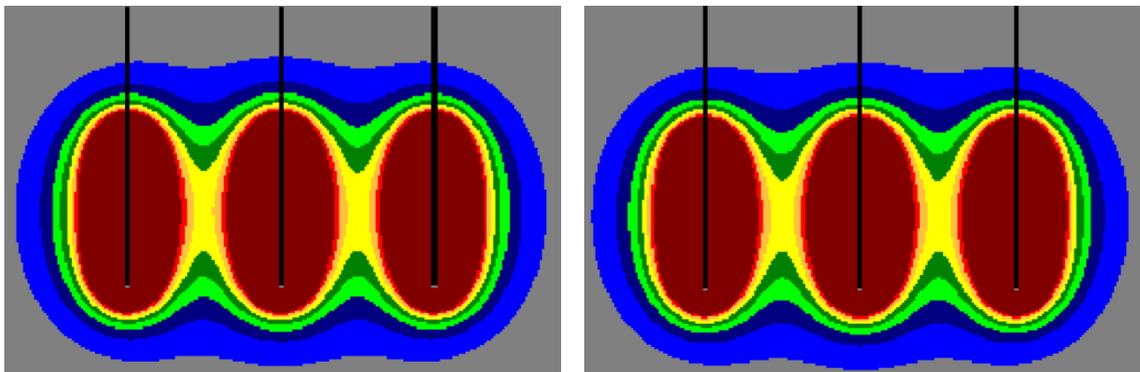
**Figura 77.** Secuencia de salida tipo v.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 78.** Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.

Fuente: Elaboración tesista.

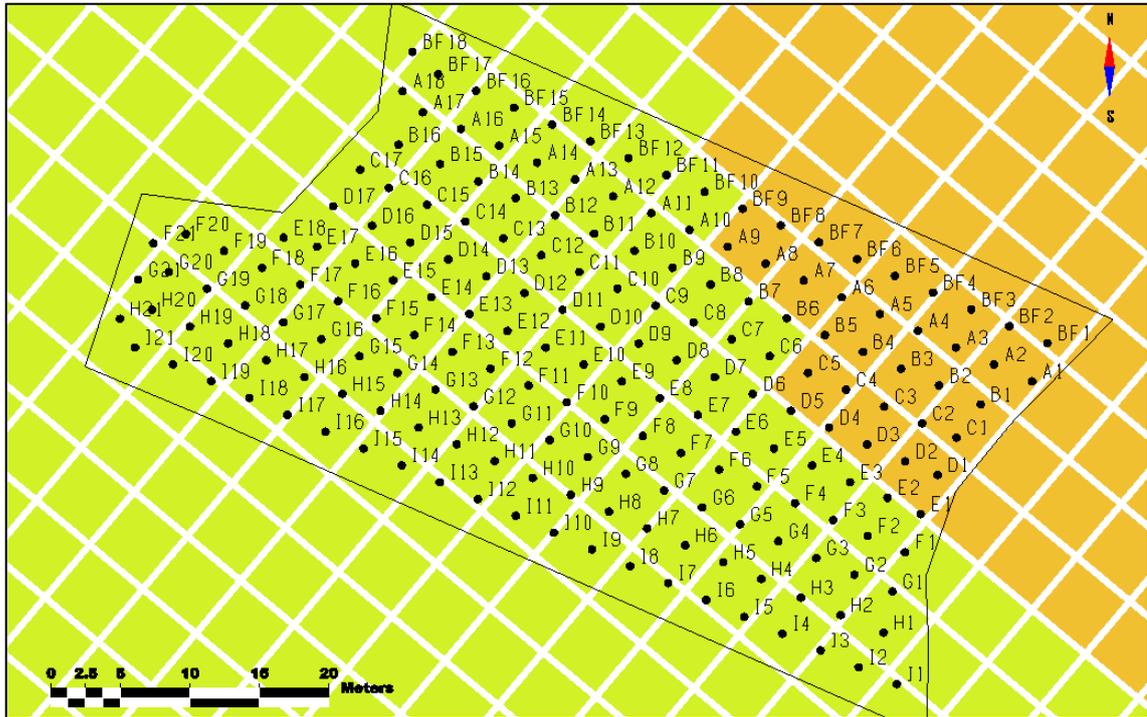


**Figura 79:** Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna.

Fuente: Elaboración tesista.

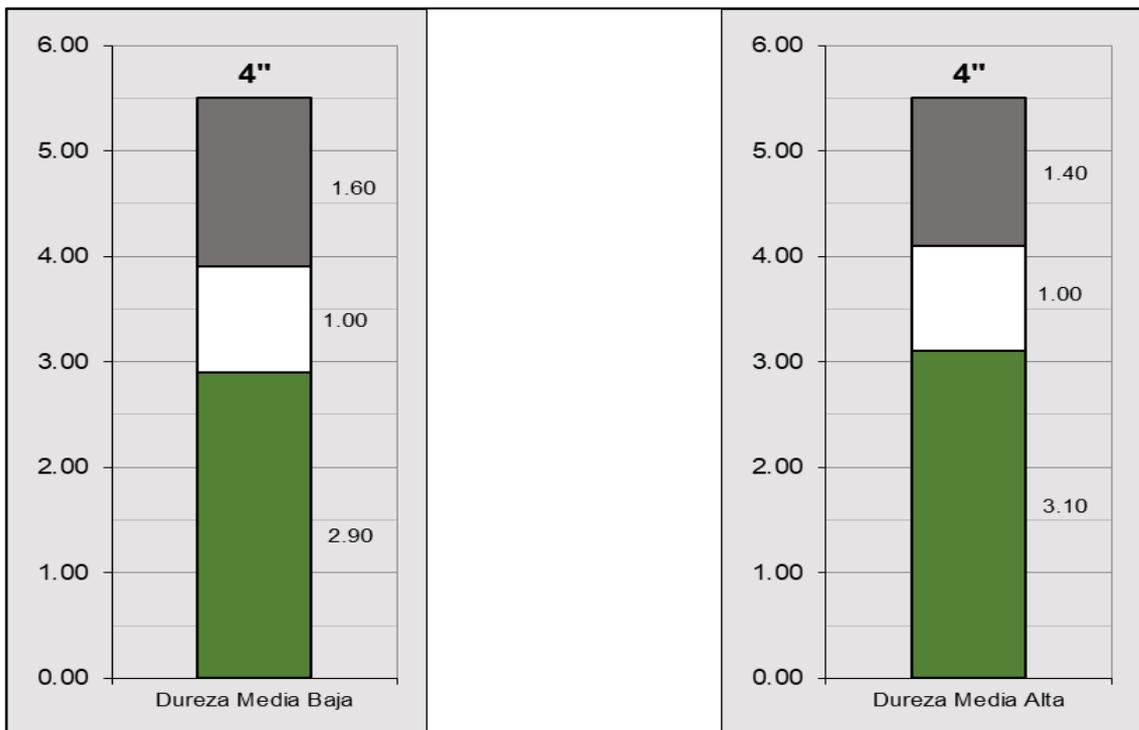
En la figura 75 y 79 podemos observar que la figura de la izquierda pertenece a la roca Regular B (bloques de color naranja) y el de la derecha a la roca Mala A (bloques de color rojo), por ello también se observa una pequeña diferencia en la longitud de su distribución energética.

### 5.2.3.5. Tajo Scree Slope.



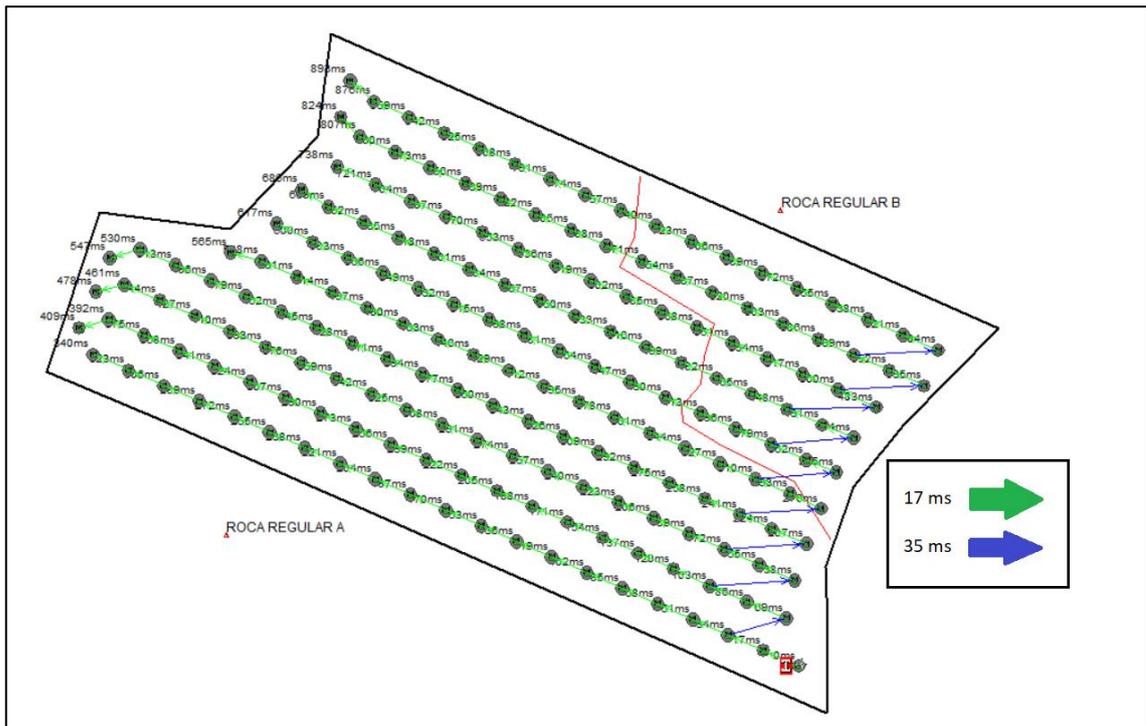
**Figura 80.** Proyecto 4715 – 034.

Fuente: Elaboración tesista.



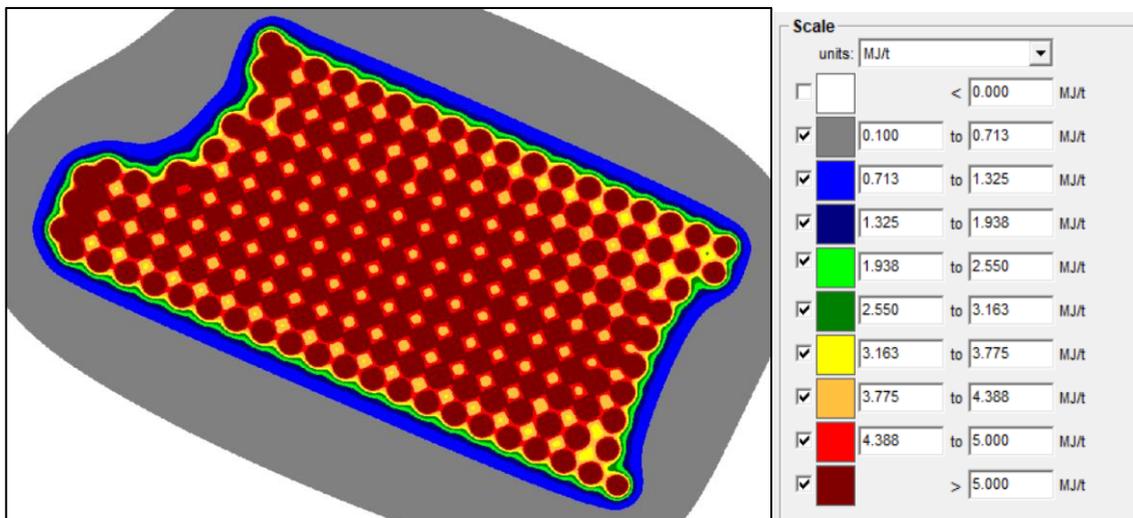
**Figura 81.** Diseño de carga para rocas con la clasificación de Regular A y Regular B.

Fuente: Elaboración tesista.



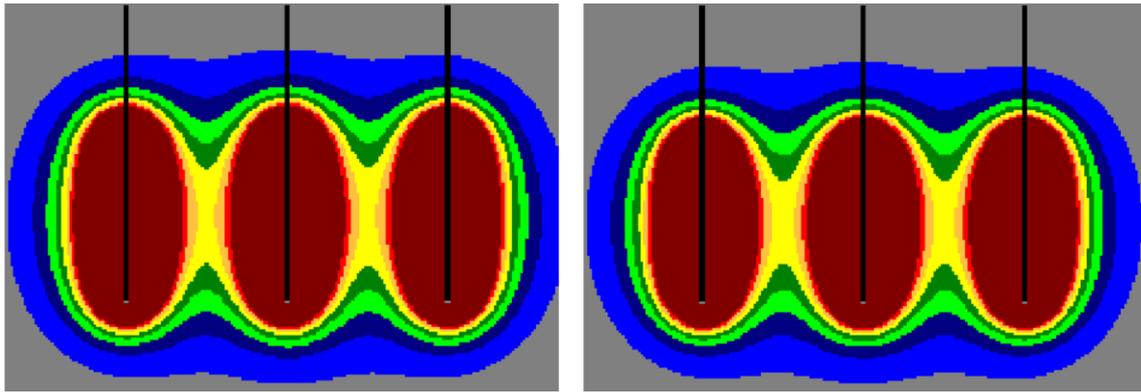
**Figura 82.** Secuencia de salida tipo echelon modificado.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 83.** Distribución energética del explosivo a nivel intermedio vista planta.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 84.** Distribución energética del explosivo a lo largo de la columna.

Fuente: Elaboración tesista.

En la figura 80 y 84 podemos observar que la figura de la izquierda pertenece a la roca Regular A (bloques de color amarillo) y el de la derecha a la roca Regular B (bloques de color naranja), por ello también se observa una pequeña diferencia en la longitud de su distribución energética.

### **5.3. EVALUANDO LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL CON EL SOFTWARE SPLIT DESKTOP PARA MEDIR EL P80.**

La evaluación de la fragmentación se realizó para cada proyecto de los diferentes tajos como se muestra a continuación.

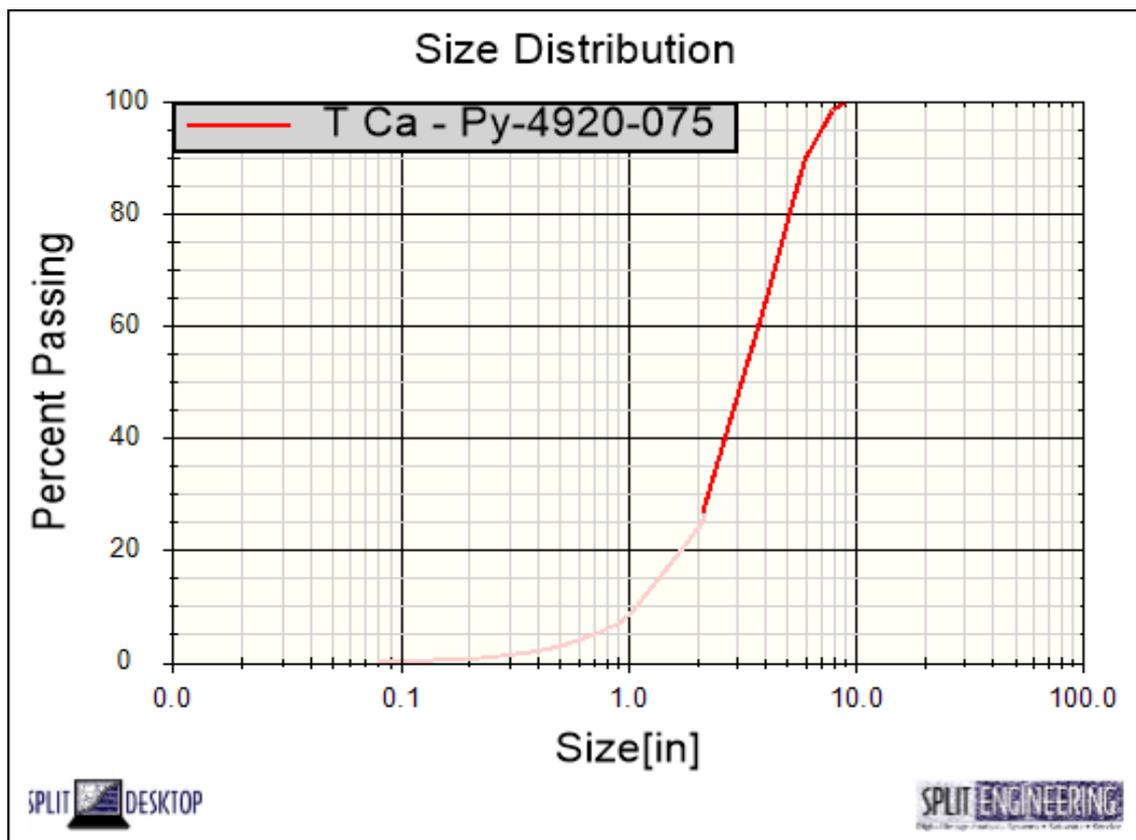
#### **5.3.1. Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Cayhua.**

En el tajo Cayhua se realizó un diseño de malla con 110 taladros cargados con un diferente factor de carga por las diferentes durezas de la zona, 52 taladros con un factor de carga de 0.445 kg/m<sup>3</sup> para una roca Regular B con un UCS de 40 MPa, y 58 taladros con un factor de carga de 0.429 kg/m<sup>3</sup> para una roca Mala A con un UCS de 30 MPa, la fragmentación y el análisis de la curva granulométrica la observaremos en las siguientes imágenes:



**Figura 85.** Fragmentación del tajo Cayhua – Py – 4880 – 113.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 86.** Curva granulométrica del tajo Cayhua – Py – 4880 – 113.

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 25:** Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4880 – 113 del tajo Cayhua.

Size[cm]	Tajo Cayhua	
	Size[in]	% Passing
38.10	15.00	100,00
25.40	10.00	100,00
20.32	8.00	98,59
15.24	6.00	91,15
10.16	4.00	69,30
5.08	2.00	34,57
2.54	1.00	17,14
1.91	0.75	12,81
1.27	0.50	8,50
0.97	0.38	6,35
0.64	0.25	4,21
0.48	0.19	3,14
0.20	0.08	1,31

Fuente: Elaboración Tesista.

De la figura 86 y la tabla 25, acerca del proyecto 4880 – 113 del tajo Cayhua podemos deducir lo siguiente:

- 1) El P50 o X50 en el monitoreo es igual a 2.9” o 7.36 cm.
- 2) El P80 en el monitoreo mediante el software Split Desktop es igual a 4.77” o 12.12 cm.
- 3) Los fragmentos menores a 1”, representan el 17.14%, la cual es un exceso de finos.
- 4) Los fragmentos menores 25 cm, según el monitoreo realizado representan el 100%, esto quiere decir que no hay ninguna presencia de bolonería.

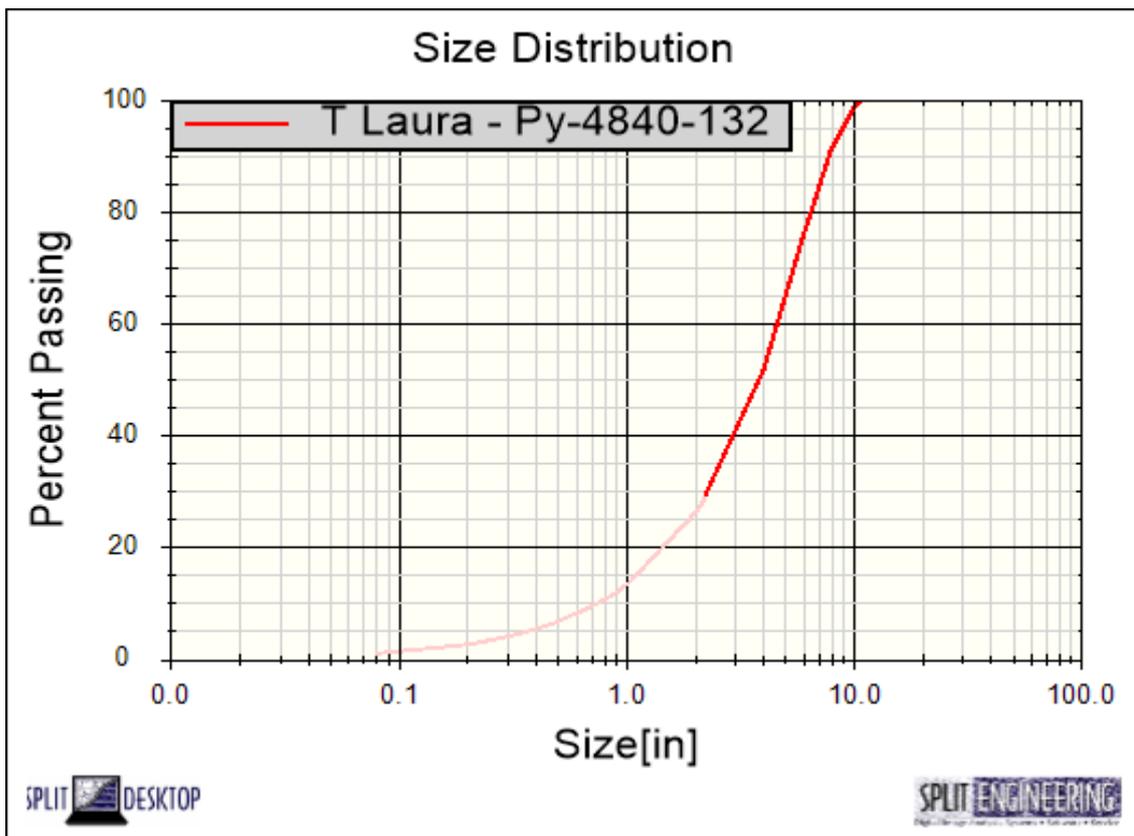
### 5.3.2. Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Laura.

En el tajo Laura se realizó un diseño de malla con 149 taladros cargados con un diferente factor de carga por las diferentes durezas de la zona, 85 taladros con un factor de carga de 0.475 kg/m<sup>3</sup> para una roca Regular A con un UCS de 55 MPa, y 64 taladros con un factor de carga de 0.506 kg/m<sup>3</sup> para una roca Buena B con un UCS de 80 MPa, la fragmentación y el análisis de la curva granulométrica la observaremos en las siguientes imágenes:



**Figura 87.** Fragmentación del tajo Laura – Py – 4840 – 132.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 88.** Curva granulométrica del tajo Laura – Py – 4840 – 132.

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 26:** Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4840 – 132 del tajo Laura.

Tajo Laura		
Size[cm]	Size[in]	% Passing
38.10	15.00	100,00
25.40	10.00	98,84
20.32	8.00	92,28
15.24	6.00	78,67
10.16	4.00	58,24
5.08	2.00	36,25
2.54	1.00	22,70
1.91	0.75	18,69
1.27	0.50	14,20
0.97	0.38	11,68
0.64	0.25	8,86
0.48	0.19	7,27
0.20	0.08	4,02

Fuente: Elaboración Tesista.

De la figura 88 y la tabla 26, acerca del proyecto 4840 – 132 del tajo Laura podemos deducir lo siguiente:

- 1) El P50 o X50 en el monitoreo es igual a 3.24” o 8.24 cm.
- 2) El P80 en el monitoreo mediante el software Split Desktop es igual a 6.15” o 15.61 cm.
- 3) Los fragmentos menores a 1”, representan el 22.70%, la cual es un exceso de finos.
- 4) Los fragmentos menores 25 cm, según el monitoreo realizado representan el 98.84%, esto quiere decir que hay mínima presencia de bolonería.

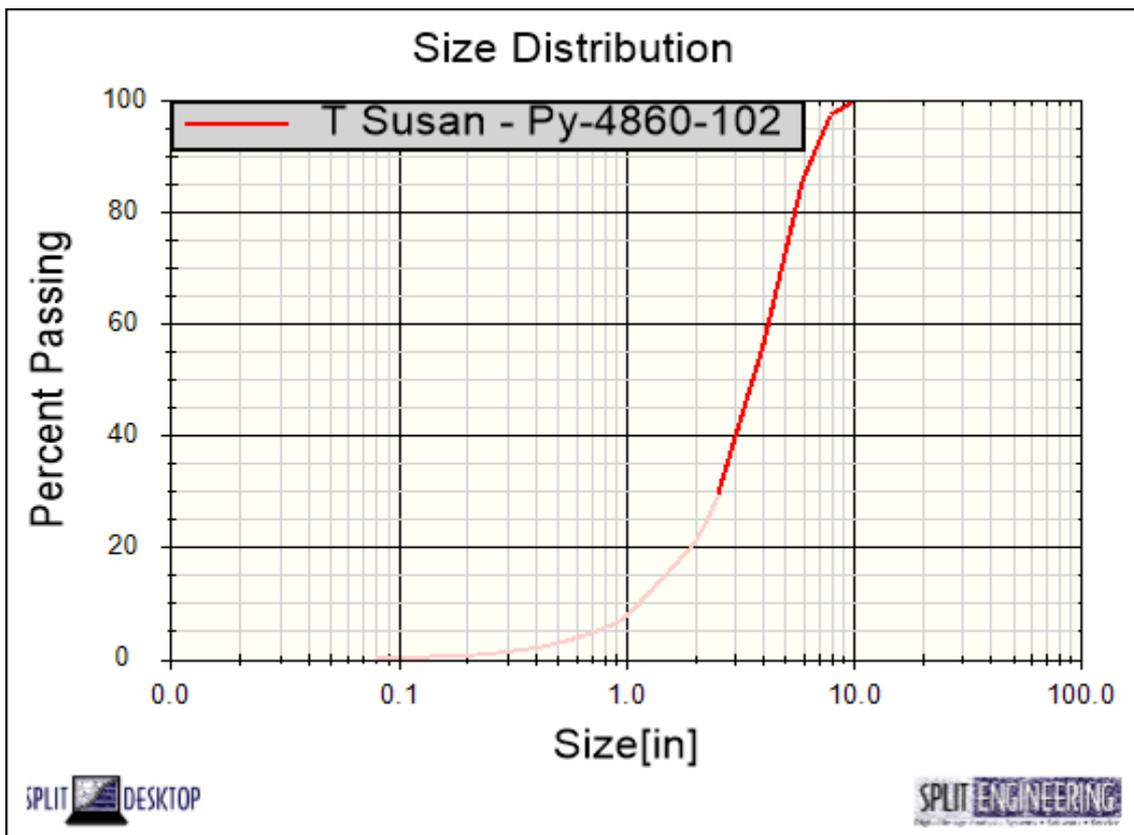
### 5.3.3. Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Susan.

En el tajo Susan se realizó un diseño de malla con 179 taladros cargados con un diferente factor de carga por las diferentes durezas de la zona, 123 taladros con un factor de carga de 0.445 kg/m<sup>3</sup> para una roca Regular B con un UCS de 40 MPa, y 56 taladros con un factor de carga de 0.429 kg/m<sup>3</sup> para una roca Mala A con un UCS de 30 MPa, la fragmentación y el análisis de la curva granulométrica la observaremos en las siguientes imágenes:



**Figura 89.** Fragmentación del tajo Susan – Py – 4860 – 102.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 90.** Curva granulométrica del tajo Susan – Py – 4860 – 102.

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 27:** Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4860 – 102 del tajo Susan.

Tajo Susan		
Size[cm]	Size[in]	% Passing
38.10	15.00	100,00
25.40	10.00	99,96
20.32	8.00	97,58
15.24	6.00	86,73
10.16	4.00	59,83
5.08	2.00	27,06
2.54	1.00	12,27
1.91	0.75	8,84
1.27	0.50	5,57
0.97	0.38	4,01
0.64	0.25	2,53
0.48	0.19	1,82
0.20	0.08	0,68

Fuente: Elaboración Tesista.

De la figura 90 y la tabla 27, acerca del proyecto 4860 – 102 del tajo Susan podemos deducir lo siguiente:

- 1) El P50 o X50 en el monitoreo es igual a 3.43” o 8.70 cm.
- 2) El P80 en el monitoreo mediante el software Split Desktop es igual a 5.36” o 13.61 cm.
- 3) Los fragmentos menores a 1”, representan el 12.27%, la cual es un exceso de finos.
- 4) Los fragmentos menores 25 cm, según el monitoreo realizado representan el 99.96%, esto quiere decir que no hay ninguna presencia de bolonería.

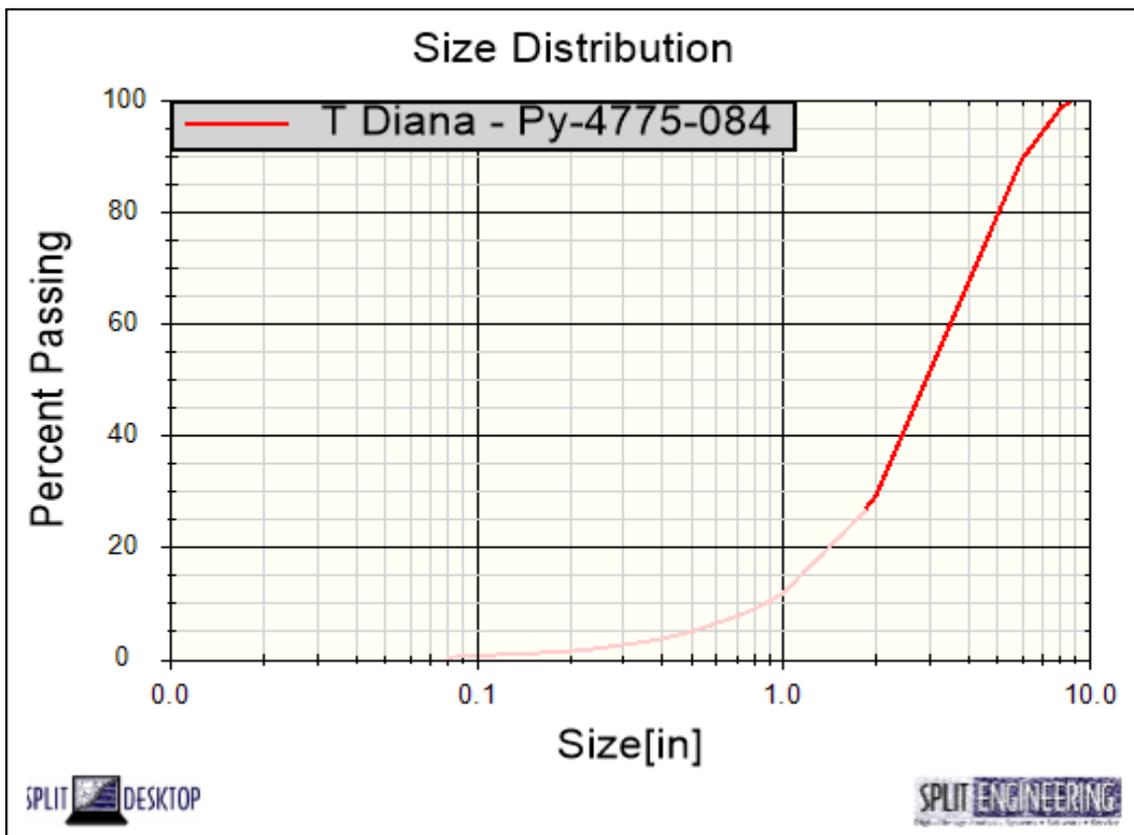
#### 5.3.4. Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Diana.

En el tajo Diana se realizó un diseño de malla con 170 taladros cargados con un diferente factor de carga por las diferentes durezas de la zona, 102 taladros con un factor de carga de 0.445 kg/m<sup>3</sup> para una roca Regular B con un UCS de 40 MPa, y 68 taladros con un factor de carga de 0.429 kg/m<sup>3</sup> para una roca Mala A con un UCS de 30 MPa, la fragmentación y el análisis de la curva granulométrica la observaremos en las siguientes imágenes:



**Figura 91.** Fragmentación del tajo Diana – Py – 4775 – 084.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 92.** Curva granulométrica del tajo Diana – Py – 4775 – 084.

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 28:** Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4775 – 084 del tajo Diana.

Tajo Diana		
Size[cm]	Size[in]	% Passing
38.10	15.00	100,00
25.40	10.00	100,00
20.32	8.00	98,54
15.24	6.00	90,67
10.16	4.00	71,33
5.08	2.00	38,84
2.54	1.00	21,32
1.91	0.75	16,55
1.27	0.50	11,58
0.97	0.38	8,99
0.64	0.25	6,29
0.48	0.19	4,87
0.20	0.08	2,27

Fuente: Elaboración Tesista.

De la figura 92 y la tabla 28, acerca del proyecto 4775 – 084 del tajo Diana podemos deducir lo siguiente:

- 1) El P50 o X50 en el monitoreo es igual a 2.65” o 6.74 cm.
- 2) El P80 en el monitoreo mediante el software Split Desktop es igual a 4.72” o 11.99 cm.
- 3) Los fragmentos menores a 1”, representan el 21.32%, la cual es un exceso de finos.
- 4) Los fragmentos menores 25 cm, según el monitoreo realizado representan el 100%, esto quiere decir que no hay ninguna presencia de bolonería.

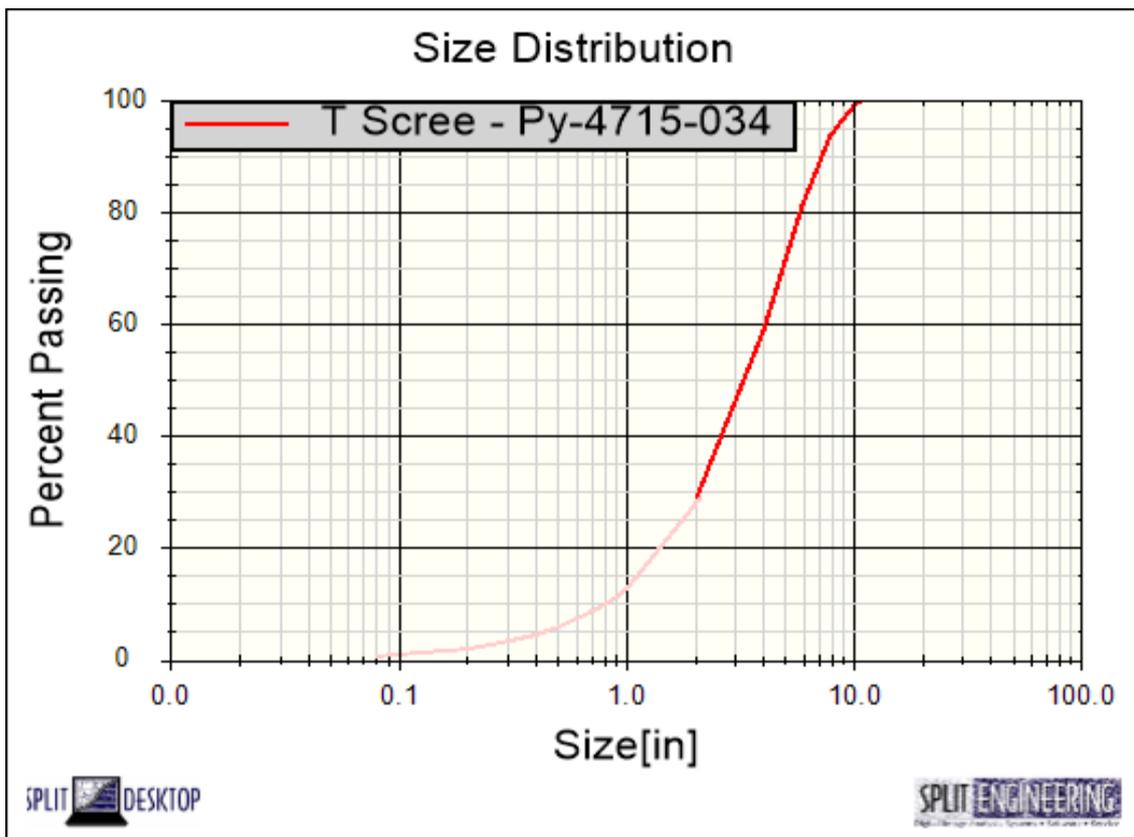
### 5.3.5. Monitoreo de la fragmentación en el Tajo Scree Slope.

En el tajo Scree Slope se realizó un diseño de malla con 188 taladros cargados con un diferente factor de carga por las diferentes durezas de la zona, 154 taladros con un factor de carga de 0.475 kg/m<sup>3</sup> para una roca Regular A con un UCS de 55 MPa, y 34 taladros con un factor de carga de 0.445 kg/m<sup>3</sup> para una roca Regular B con un UCS de 40 MPa, la fragmentación y el análisis de la curva granulométrica la observaremos en las siguientes imágenes:



**Figura 93.** Fragmentación del tajo Scree Slope – Py – 4715 – 034.

Fuente: Elaboración tesista.



**Figura 94.** Curva granulométrica del tajo Scree Slope – Py – 4715 – 034.

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 29:** Tamaño y pasante de la fragmentación en el Py – 4715 – 034 del tajo Scree Slope.

Tajo Scree Slope		
Size[cm]	Size[in]	% Passing
38.10	15.00	100,00
25.40	10.00	99,22
20.32	8.00	94,80
15.24	6.00	84,13
10.16	4.00	65,22
5.08	2.00	39,24
2.54	1.00	23,56
1.91	0.75	19,06
1.27	0.50	14,12
0.97	0.38	11,42
0.64	0.25	8,45
0.48	0.19	6,81
0.20	0.08	3,58

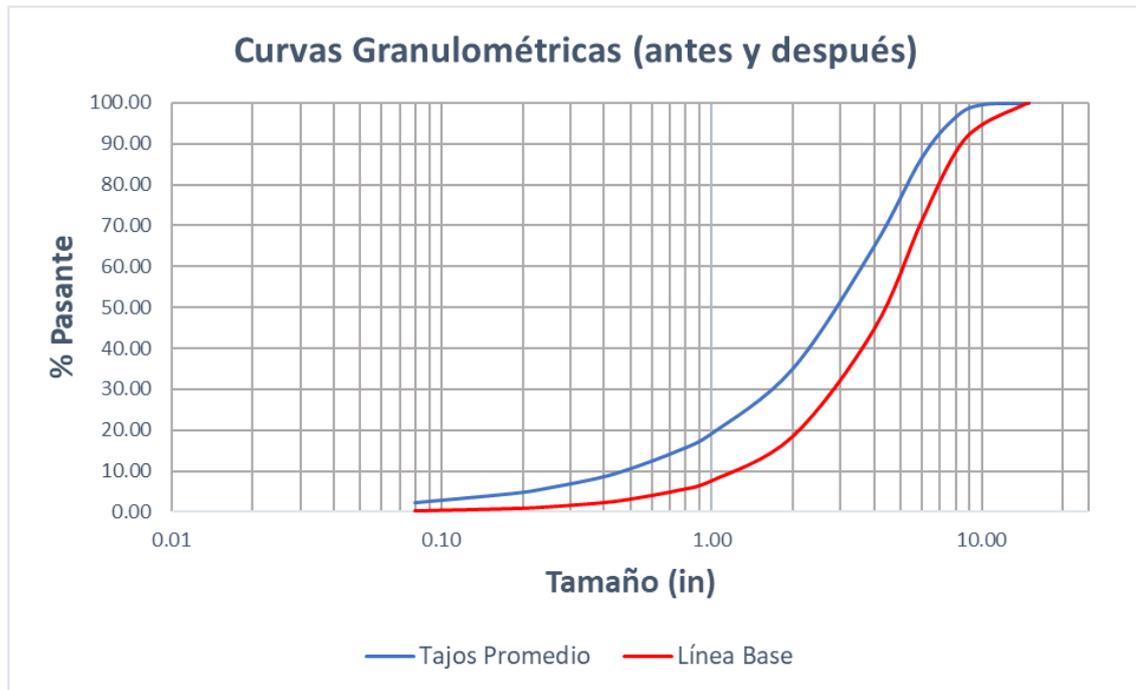
Fuente: Elaboración Tesista.

De la figura 94 y la tabla 29, acerca del proyecto 4715 – 034 del tajo Scree Slope podemos deducir lo siguiente:

- 1) El P50 o X50 en el monitoreo es igual a 2.79” o 7.10 cm.
- 2) El P80 en el monitoreo mediante el software Split Desktop es igual a 5.49” o 13.95 cm.
- 3) Los fragmentos menores a 1”, representan el 23.56%, la cual es un exceso de finos.
- 4) Los fragmentos menores 25 cm, según el monitoreo realizado representan el 99.22%, esto quiere decir que mínima presencia de bolonería.

### 5.3.6. Comparativo del promedio de los tajos con la línea base.

Para realizar un adecuado estudio se realizó lo comparación de la fragmentación que se tenía antes del estudio con la fragmentación de un promedio de todos los tajos.



**Figura 95.** Curva granulométrica de la línea base vs promedio del presente estudio.

Fuente: Elaboración tesista.

**Tabla 30:** Tamaño y pasante de la fragmentación antes y después.

% Passing	Línea Base		Tajos Promedio	
	Size (in)	Size (cm)	Size (in)	Size (cm)
10	1.23	3,14	0.47	1,19
20	2.13	5,41	1.05	2,67
30	2.93	7,44	1.68	4,26
40	3.68	9,35	2.34	5,94
50	4.37	11,10	2.99	7,61
60	5.09	12,92	3.66	9,29
70	5.91	15,02	4.38	11,13
80	6.92	17,59	5.25	13,34
90	8.55	21,72	6.52	16,55
100	13.56	34,45	10.72	27,22

Fuente: Elaboración Tesista.

De la figura 95 y la tabla 30, acerca del tamaño pasante de la línea base con el tamaño pasante del promedio de los tajos, podemos deducir lo siguiente:

- 1) El P50 o X50 en la línea base es de 4.37” a comparación del promedio que es de 2.99”, por lo que podemos decir que hay una optimización en lo que respecta la fragmentación.



- 2) El P80 en el monitoreo mediante el software Split Desktop en la línea base es igual a 6.92” a comparación del promedio que es de 5.25”, por lo que podemos decir que hay una optimización en el P80.
- 3) Los fragmentos menores a 1”, en la línea base representa el 7.65% a comparación del promedio que es de 19.14%, por lo que podemos decir que hay presencia de una mayor cantidad de finos en la fragmentación del promedio de los tajos.
- 4) Los fragmentos menores 25 cm, en la línea base representa el 94.47% a comparación del promedio que es de 99.63%, por lo que podemos decir que hay presencia de una mínima cantidad de bolonería en la fragmentación del promedio de los tajos.



## VI. CONCLUSIONES

- Con la implementación del muestro geológico ship sampling se tiene un mayor conocimiento del macizo rocoso, la cual apoya para la clasificación de sus propiedades físicas y la variabilidad que tienen en cada sector que van desde una roca tipo Mala A hasta una roca tipo Buena B, con valores UCS de 30 MPa hasta 74 MPa.
- Se tuvo modificaciones de factor de carga en base a un modelo de bloques geotécnico, estas siendo para una roca Mala A un factor de 0.429 kg/m<sup>3</sup>, para una roca Regular B un factor de 0.445 kg/m<sup>3</sup>, para una roca Regular A un factor de 0.475 kg/m<sup>3</sup>, para una roca Buena B un factor de 0.506 kg/m<sup>3</sup>, de esta manera se tiene una fragmentación con un mayor índice de uniformidad.
- El P80 fue optimizado, en la línea base se tiene que es igual a 6.92", dicha medida se optimizó en cada tajo cierto porcentaje, pero en promedio el nuevo P80 fue de 5.25", por lo que se deduce que hay una optimización del 19.3%, de la misma manera en fragmentos menores a 10" en la línea base se tiene que es igual a 94.47% a comparación del promedio que es de 99.63%, por lo que se deduce la existencia de una mínima cantidad de bolonería logrando una optimización del 5.16%.



## VII. RECOMENDACIONES

- Se debe continuar realizando el estudio ship sampling para futuros proyectos en niveles inferiores y a cada 2 bancos para aumentar el porcentaje de certeza.
- El factor de carga no solo depende de la cantidad de explosivo, sino que también de la distribución geométrica de la malla de perforación, por lo que se debe de variar no solo la longitud de carga sino los parámetros de dicha malla, es decir para una roca mala aumentar la malla y para una roca buena reducir la malla.
- Respecto al P80, se recomienda que se tenga una evaluación continua para corroborar que tanto la malla como la distribución de carga, sea la correcta según la variabilidad en cada zona del macizo rocoso.



## REFERENCIAS

- Anchorena, A. E. (2015). *Modelo Predictivo de Fragmentación y su Aplicación en una Matriz de Decisión*. Arequipa: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú - PERUMIN.
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid: E.T.S. De Ingenieros de Minas de Madrid.
- Bravo, J. (2018). *Optimización de los Costos De Chancado aplicando El Modelo Cunningham y la Malla Triangular Equilátera para Reducir la Fragmentación de la Roca Caliza en la Cantera Caracoto (tesis de pregrado)*. Puno, Perú: Universidad Nacional Del Altiplano.
- BS Consultores. (2009). *Planificación Minera de Superficie y Subterránea*. Santiago de Chile: Maestría Internacional en Ingeniería de Minas.
- Choqueña, J. J. (2017). *Optimización de la Fragmentación de la Roca Mediante las Características Geomecánicas y Doble Iniciación No Electrónica en la Perforación y Voladura de Bancos - U. M. Apumayo S.A.C. (tesis de pregrado)*. Puno, Perú: Universidad Nacional Del Altiplano.
- Cobos, D. O. (2019). *Determinación de los Parámetros de Voladura para Optimizar la Fragmentación en Zona de Mineral en la Unidad Minera Cuajone*. Moquegua: Universidad Tecnológica del Perú.
- Córdova, D., Ortiz, J. C., Ramirez, F., & Valencia, E. (2019). *Avances de la Aplicación de la Geomecánica en la Minería Peruana*. Lima: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
- Cueva, L. R. (2022). *Análisis del % Cumplimiento del P80 y Distribución de Tamaños del Material Fragmentado por Voladura para la Determinación del Modelo Rossin Rammler, Desmorte Vs Mineral en la Mina La Zanja - Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Dagdelen, K. (2009). *Cursos de Optimización de Leyes de Corte*. Santiago de Chile, Chile: LQS Latin America.
- Echenique, M. (2018). *Optimización Mina - Planta Procesos, Unidad Minera Constancia*. Tacna: II Congreso Minero Sur.
- ENAE S.A. (2007). *Manual de Tronadura ENAE S.A*. Chile: S.E.
- EXSA S.A. (2011). *Manual Práctico de Voladura*. Lima, Perú: S.E.



- Herrera, J. H. (2006). *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hinostroza, J. R. (2014). *Optimización de la Fragmentación en las Rocas con la Aplicación de la Doble Iniciación Electrónica en la Explotación de Cobre Porfirítico a Cielo Abierto (tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning & Design 3rd Edition*. London: CRC Press/Balkema.
- Leiva, A. (2007). *Influencia de la Optimización de la Fragmentación de Roca en la Rentabilidad de las Operaciones Mina - Molienda (tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- León, L. A. (2014). *Optimización de la Fragmentación en los Proyectos de Voladura Primaria en la Zona Norte del Tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Minera IRL S.A. (2012). *Plan de Minado Apliación de Producción Mina Corihuarmi*.
- Reyes, J. C. (2020). *Criterios para determinar los parametros de perforacion y voladura a traves de la clasificacion geotecnica del macizo rocoso*. Obtenido de Criterios para determinar los parametros de perforacion y voladura a traves de la clasificacion geotecnica del macizo rocoso: <https://es.slideshare.net/JosCarlosLaTorreReye/criterios-para-determinar-los-parametros-de-perforacion-y-voladura-a-traves-de-la-clasificacion-geotecnica-del-macizo-rocoso-cantera-aguas-calientes-nueva>
- Ricse, K. O. (2020). *Diseño de Malla de Perforación y Voladura para Mejorar La Fragmentación de Roca en Mina Paola de Compañía Minera San Lucas S.A.C. (tesis de pregrado)*. Huancayo, Perú.: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- The Andean Consulting Group SAC. (2017). *Amended National Instrument 43-101 Technical Report*.
- Toribio, R. J. (2021). *Análisis de la Fragmentación de Mineral Producto de la Voladura y su Influencia en el Rendimiento de Equipos de Carguío en una Mina a Tajo Abierto*. Lima: Universidad Continental.
- Vásquez, V. P. (2019). *Generación de un Modelo Geotécnico de Intensidad de Estructuras por Unidad de Volumen para Bloque 1 y Bloque 2, Mina Esmeralda, División el Teniente, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile*. Obtenido de Generación de un Modelo Geotécnico de Intensidad de Estructuras por Unidad



de Volumen para Bloque 1 y Bloque 2, Mina Esmeralda, División el Teniente,  
Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile:  
[http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3461/6/Tesis\\_Generacion\\_de\\_modelo\\_geotecnico.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3461/6/Tesis_Generacion_de_modelo_geotecnico.Image.Marked.pdf)



## ANEXOS

**ANEXO A:** Plano geológico regional.

**ANEXO B:** Plano geológico local.

**ANEXO C:** Plano principales cuerpos geológicos.

**ANEXO D:** Plano secciones geológicas de los tajos Susan y Diana.

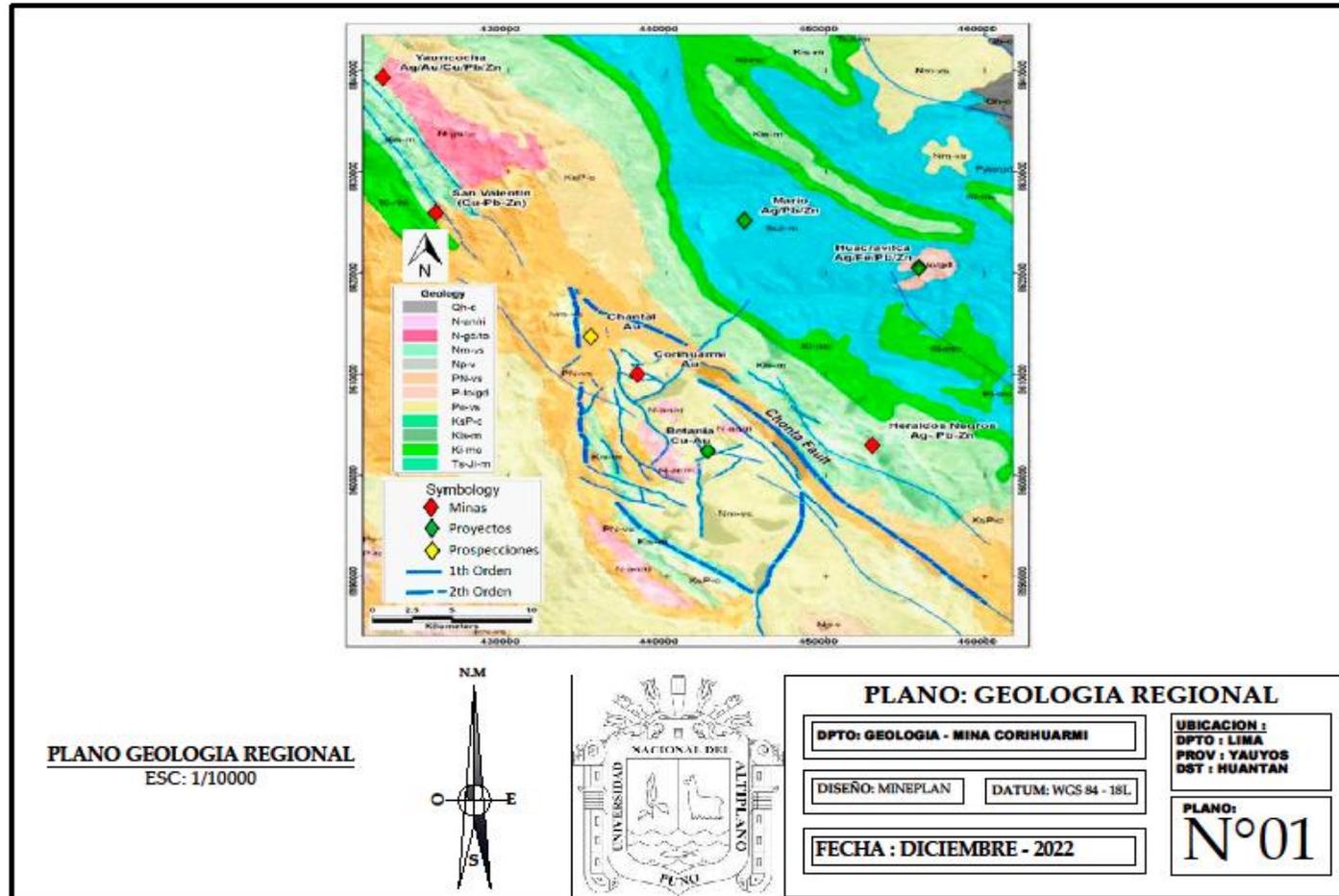
**ANEXO E:** Plano secciones geológicas de los tajos Cayhua y Cayhua Norte.

**ANEXO F:** Plano secciones geológicas de los tajos Laura y Scree Slope.

**ANEXO G:** Plano de la zonificación metalogenética.

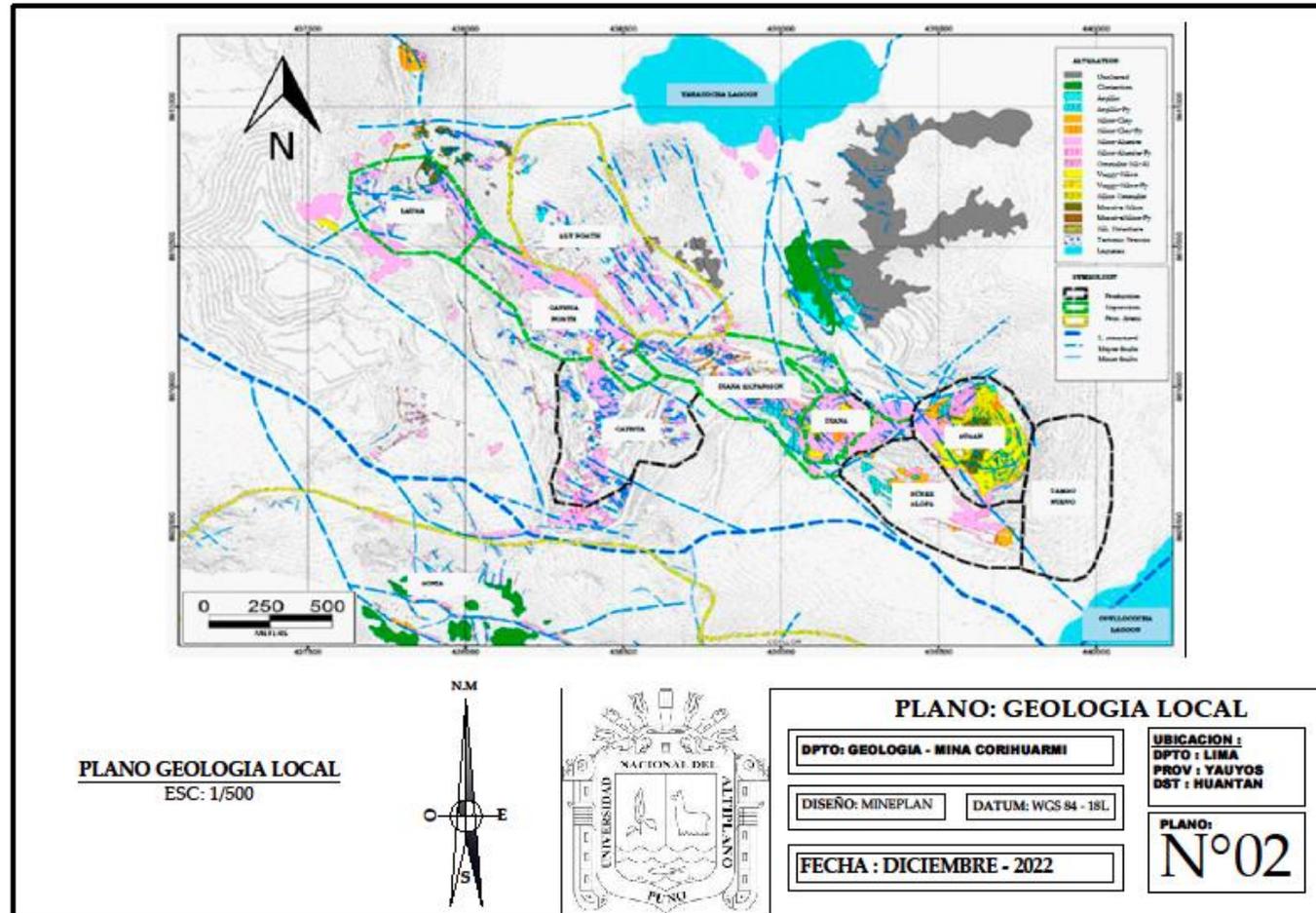
**ANEXO H:** Matriz de consistencia.

## ANEXO A: PLANO GEOLÓGICO REGIONAL.



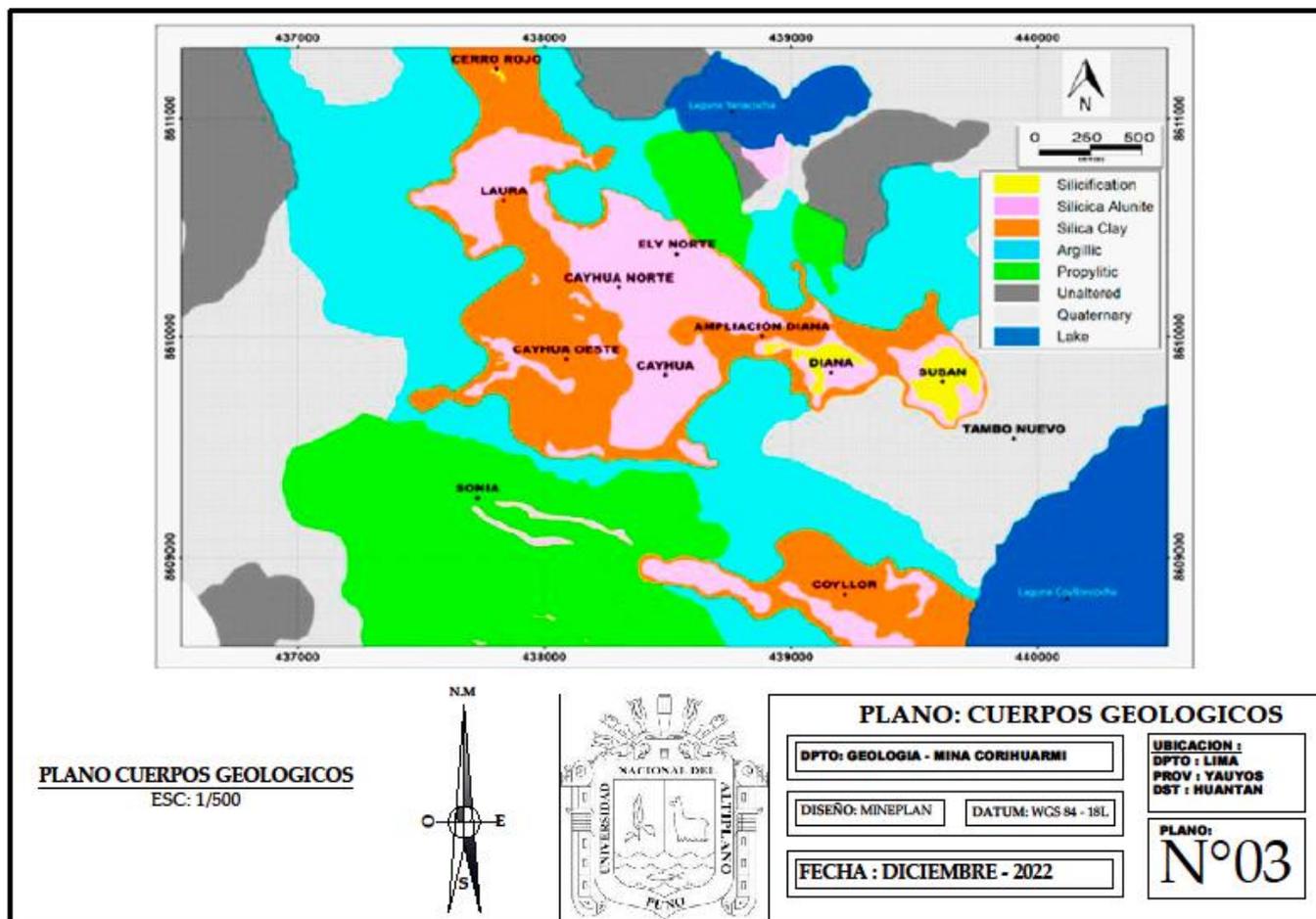
Fuente: Elaboración Tesista.

## ANEXO B: PLANO GEOLÓGICO LOCAL



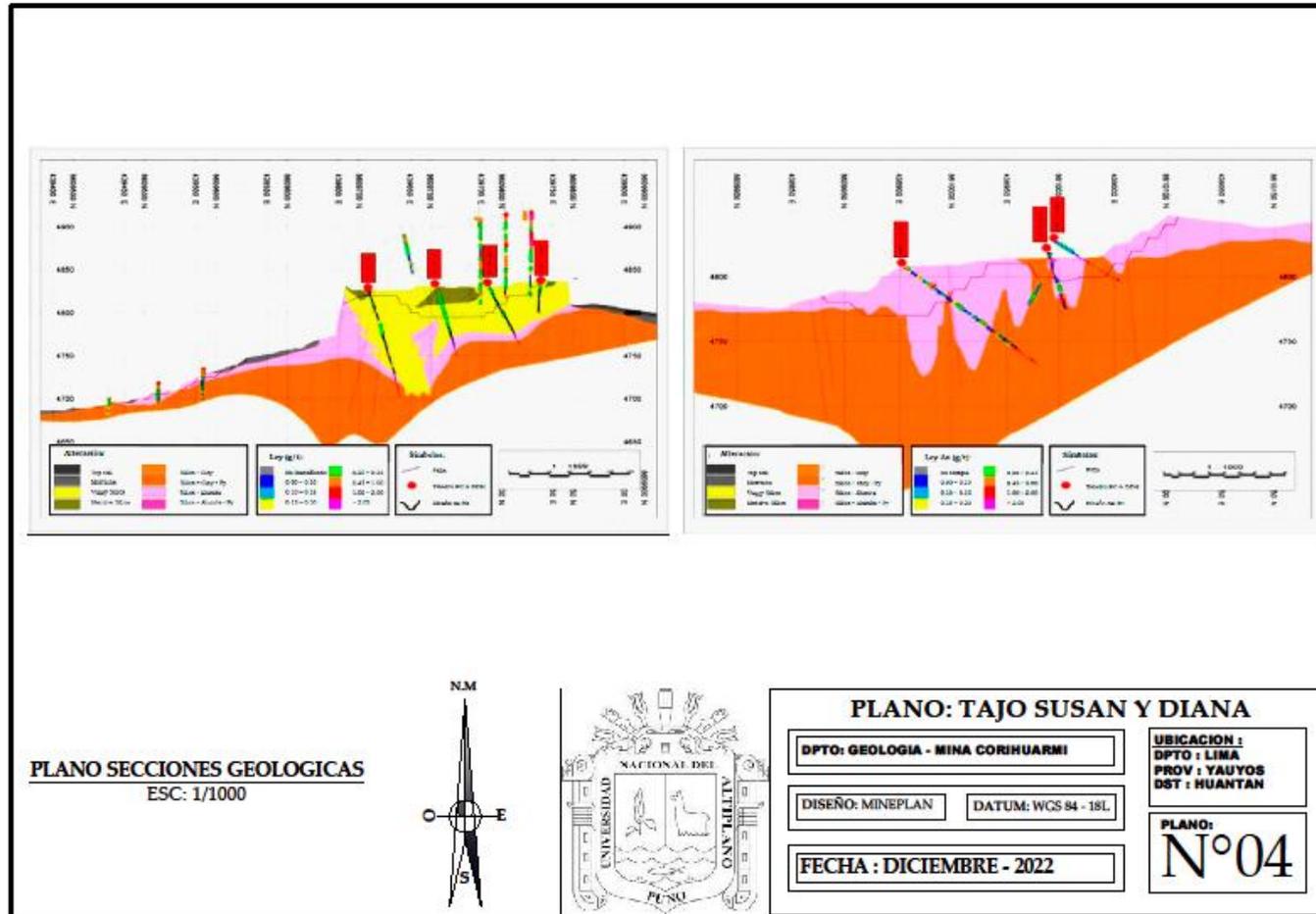
Fuente: Elaboración Tesista.

### ANEXO C: PLANO DE LOS PRINCIPALES CUERPOS GEOLÓGICOS.



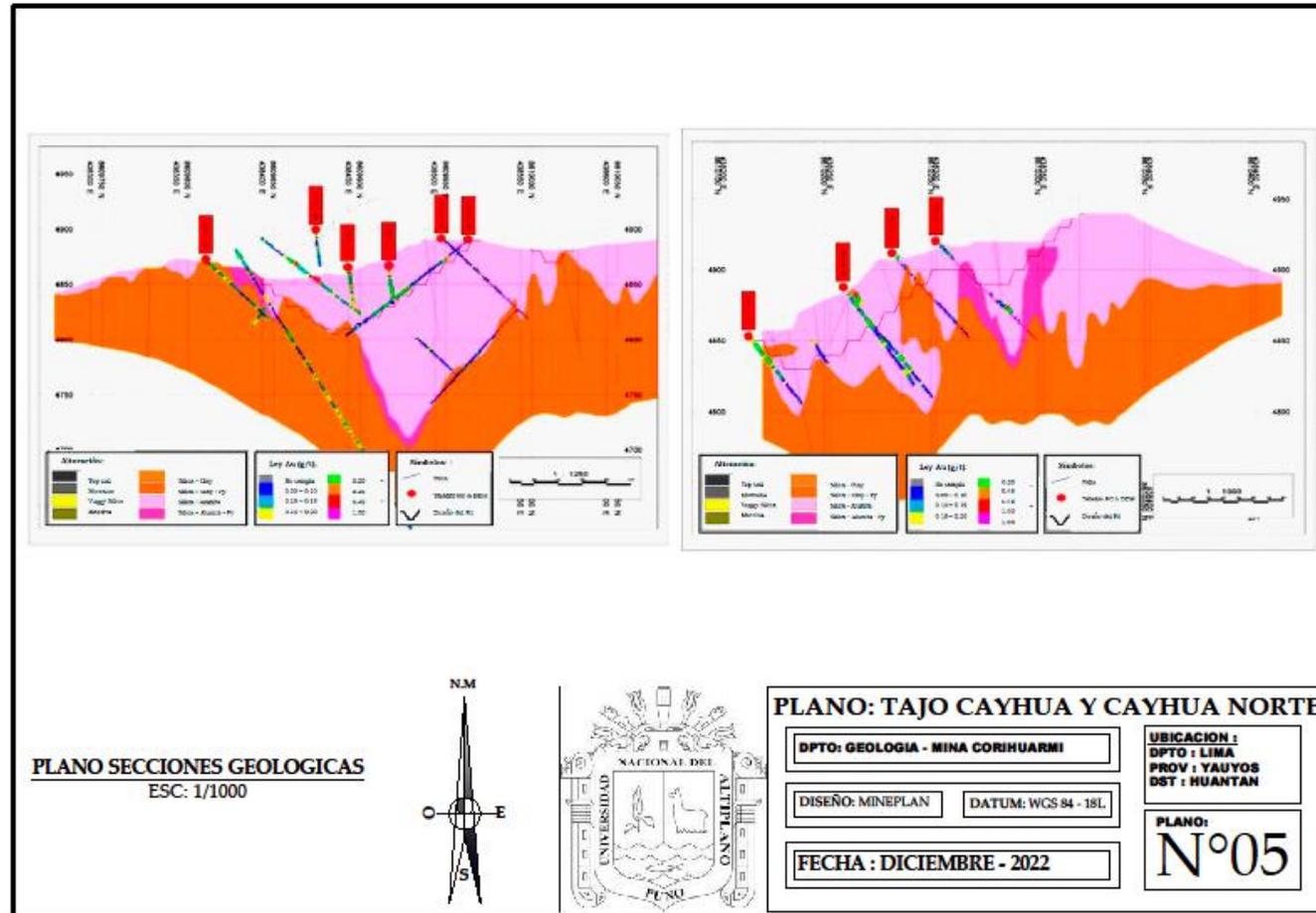
Fuente: Elaboración Tesista

## ANEXO D: PLANO DE LAS SECCIONES GEOLÓGICAS DE LOS TAJOS SUSAN Y DIANA.



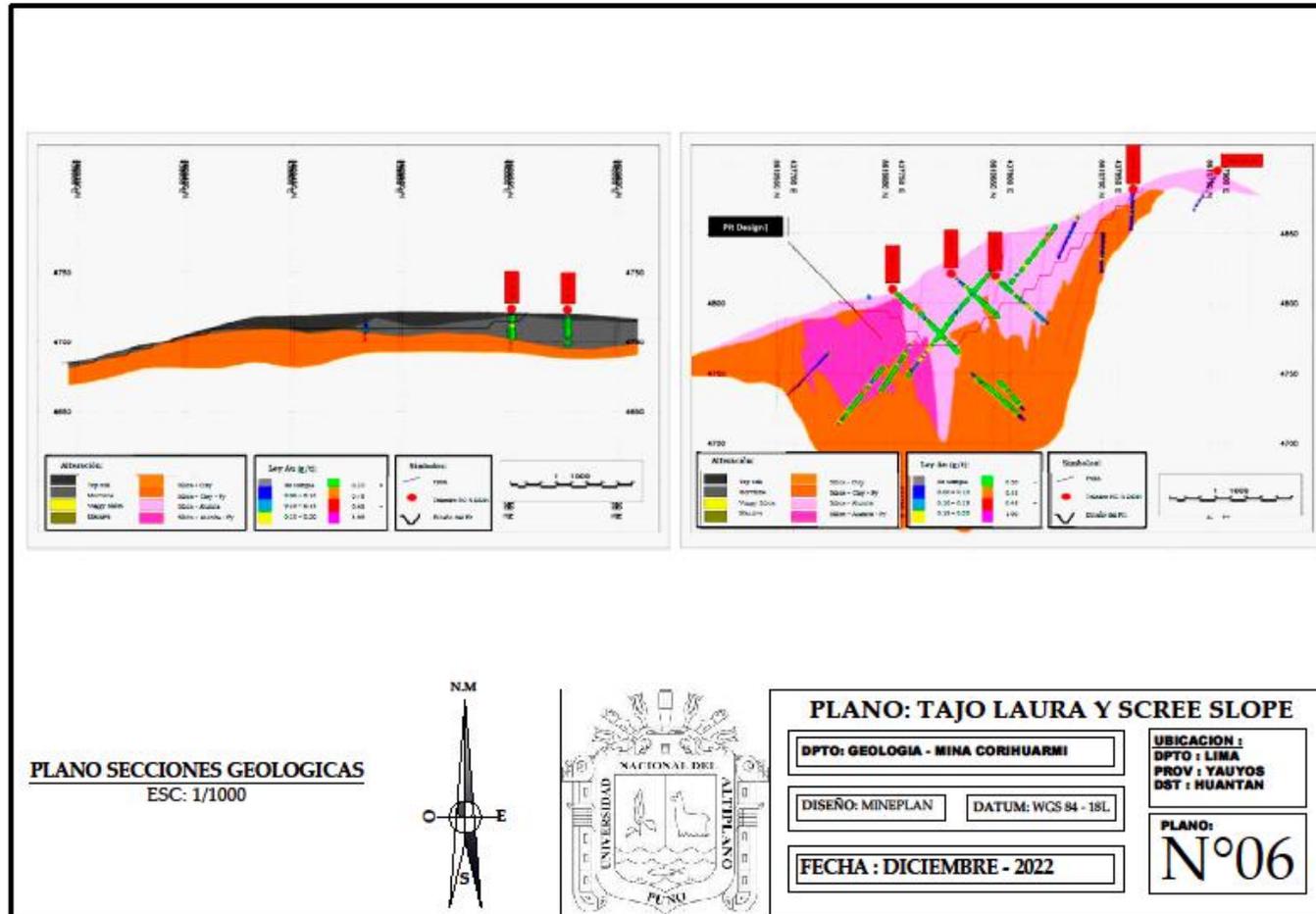
Fuente: Elaboración Tesista.

## ANEXO E: PLANO DE LAS SECCIONES GEOLÓGICAS DE LOS TAJOS CAYHUA Y CAYHUA NORTE.



Fuente: Elaboración Tesista.

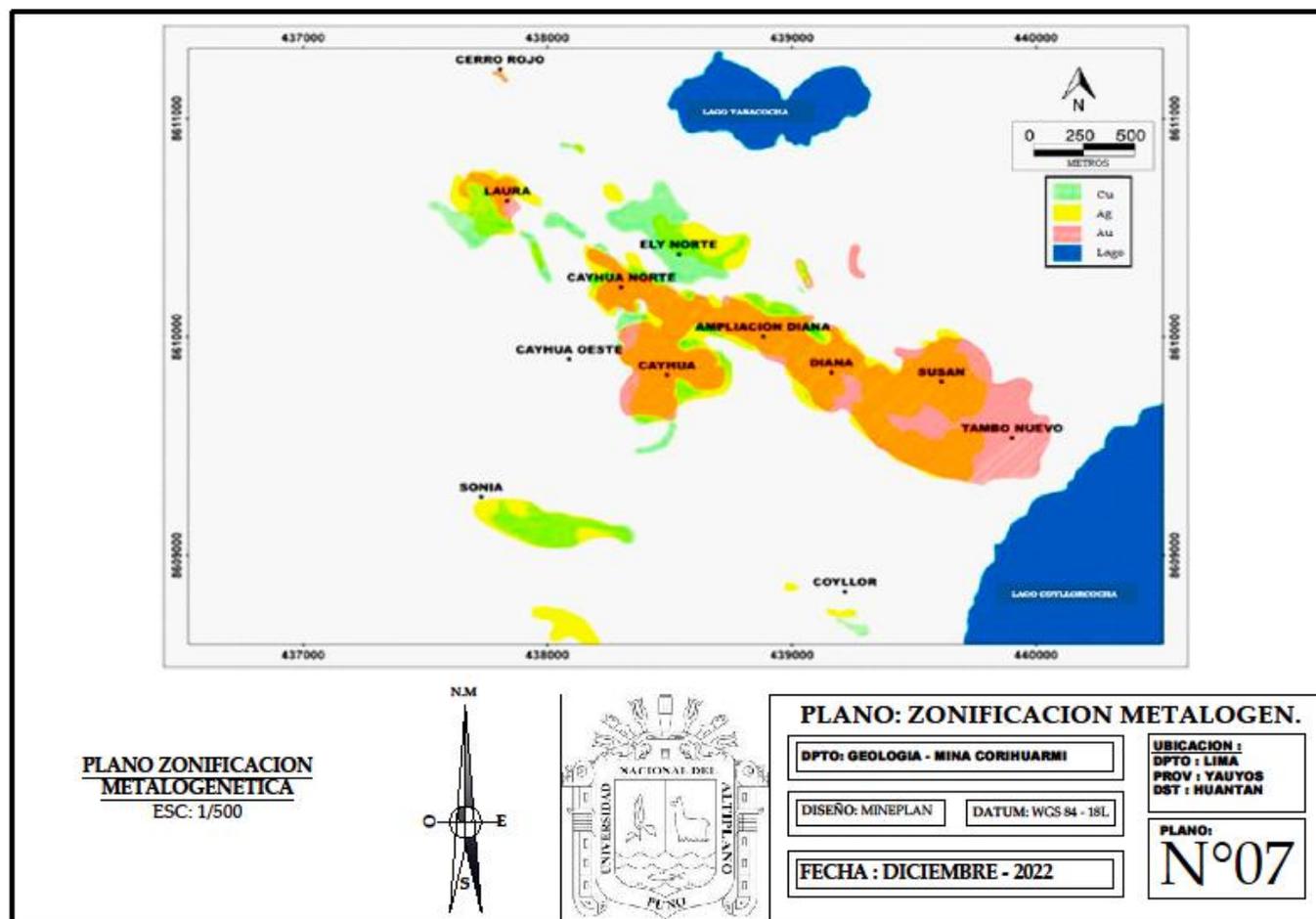
## ANEXO F: PLANO DE LAS SECCIONES GEOLÓGICAS DE LOS TAJOS LAURA Y SCREE SLOPE.



Fuente: Elaboración Tesista.



## ANEXO G: PLANO DE LA ZONIFICACIÓN METALOGÉNÉTICA.



Fuente: Elaboración Tesista.

## ANEXO H: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

TÍTULO	1. PROBLEMA	2. OBJETIVOS	3. HIPÓTESIS	4. VARIABLES DIMENSIONES	5. METODOLOGÍA
REDUCCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL APLICANDO UN MODELO DE TRAZABILIDAD A TRAVÉS DEL MUESTREO GEOLÓGICO CHIP SAMPLING EN LA MINA CORIHUARMÍ - MINERA IRL.	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	1. TIPO DE INVESTIGACIÓN
	¿Se podrá reducir la fragmentación del mineral creando un modelo de trazabilidad en base a un muestreo geológico chip sampling en la mina Corihuarmi?	Reducir la fragmentación del mineral creando un modelo de trazabilidad en base a un muestreo geológico chip sampling en la mina Corihuarmi.	Creando un modelo de trazabilidad en base a un muestreo geológico chip sampling se reduce la fragmentación del mineral en la mina Corihuarmi.	Los costos de Chancado y Molienda de la mina Corihuarmi.	Investigación Aplicada.
	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTE	2. ALCANCE
	¿Al implementar un muestreo geológico chip sampling se podrá medir la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de los distintos tajos de la mina Corihuarmi?	a) Implementar un muestreo geológico chip sampling para medir la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de los distintos tajos de la mina Corihuarmi.	a. Al implementarse un muestreo geológico chip sampling se logra medir la variabilidad de las propiedades físicas de las rocas de los distintos tajos de la mina Corihuarmi.	Fragmentación del mineral (P80) con muestreo geológico chip sampling.	Descriptiva.
				DIMENSIONES DE VI:	Descriptiva.
	¿Al construir un modelo de bloques geotécnico de corto plazo se podrá realizar un carguo diferenciado del explosivo en los distintos proyectos de mineral?	b) Construir un modelo de bloques geotécnico de corto plazo (trazabilidad) que guíe el carguo diferenciado del explosivo en los distintos proyectos de mineral para reducir la fragmentación.	b. La fragmentación del mineral se reduce construyendo un modelo de bloques geotécnico de corto plazo (trazabilidad) que guíe el carguo diferenciado del explosivo en los distintos proyectos de mineral.	1. Muestreo chip sampling.	Descriptivo-transaccional.
	¿Cuál será la repercusión en el costo total de chancado & molienda en la mina Corihuarmi al disminuirse el P80 del mineral fragmentado?	c) Evaluar los costos de chancado & molienda en la mina Corihuarmi al procesar un mejor P80 del mineral fragmentado en la mina Corihuarmi.	c. Los costos de chancado & molienda se reducen al procesar un mejor P80 del mineral fragmentado en la mina Corihuarmi.	2. Dureza de la roca	
					5. POBLACION
				3. Diseño del modelo de bloques geotécnico CP	El proceso de chancado y molienda y el área de geomecánica - planeamiento de la mina Corihuarmi - Minera IRL.
				4. Parámetros para en el diseño de voladura.	6. MUESTRA Informes del área de chancado y molienda, datos del área de geomecánica, datos geológicos, el modelo de leyes de planeamiento y otros.
			5. Evaluación Post Voladura de la Fragmentación del mineral		

Fuente: Elaboración Tesista.