

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS**

**Evaluación de vibraciones en voladura con plasma para reducir la  
proyección de rocas (Fly Rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera**

**El Brocal S.A.A.**

**Para optar el Título Profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor: Bach. José Ángel DÁVILA SANTOS**

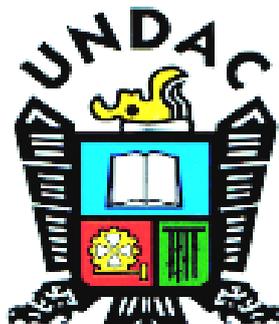
**Asesor: Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS**

**Evaluación de vibraciones en voladura con plasma para reducir la  
proyección de rocas (Fly Rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera**

**El Brocal S.A.A.**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Ing. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ

**PRESIDENTE**

---

Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO

**MIEMBRO**

---

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiarme en la vida y mostrarme el camino a la felicidad.

A mis queridos padres, en especial a mi madre Carmen Santos Verastegui por su abnegado sacrificio de ver en mí, un hombre con una carrera universitaria, por sus oraciones y preocupación permanente por mi proyecto de vida. Por su perseverancia y exigencia de culminar la presente tarea económica, que motivan mis deseos de superación constante y a quienes los tengo en mi corazón todos los días de mi vida.

## **RECONOCIMIENTO**

Al mejor consejero de mi vida: A Dios, por darme la oportunidad de vivir, por fortalecerme día a día, por iluminarme siempre y permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, ejemplo de perseverancia, superación y entrega; por ser la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, y a todos los maestros de la Facultad de Ingeniería de Minas, por brindarme sus enseñanzas, consejos y estímulo constante.

Del mismo modo agradecer a la Sociedad Minera El Brocal, por permitirme desarrollar la presente investigación, por facilitarme la información y a todas las personas que participaron en el estudio como son el Superintendente de Operaciones de Mina Superficial Ing. Ricardo Rosas Salas, el Jefe de Mina Superficial Ing. Melzer Mauricio Contreras, el Jefe de Perforación y Voladura Ing. Alvar Macedo Ardiles y mis compañeros de trabajo por sus aportes de datos de campo y su constancia en las discusiones inteligentes.

A mis jurados revisores de la tesis por sus valiosos aportes en la conducción y conclusión del presente trabajo de investigación.

**JOSE ANGEL DAVILA SANTOS.**

## RESUMEN

La Empresa Minera Sociedad Minera El Brocal S.A.A. viene desarrollando el proyecto de minado a cielo abierto del yacimiento que engloba a los sectores Norte - Smelter- Marcapunta y que da nombre al tajo.

El objetivo de este trabajo es mostrar que se puede realizar una perforación y voladura reduciendo el nivel de vibración y fly rock, obteniendo óptimos resultados con una buena fragmentación de la roca.

La vibración, dispersión de gases y la geología del terreno hace difícil el carguío y la voladura tomando un mayor tiempo de lo estimado, sumándose a este el incremento de costo de los explosivos. Como una alternativa de solución a resolver este problema es mediante el uso de sales metálicas para la generación de energía capaz de fracturar la roca.

En el sector aledaño al pueblo de Colquijirca (zona este del tajo), Sociedad Minera el Brocal S.A.A., ha detectado mineralización de buena ley y buen volumen, tanto en extensión como en profundidad. Para la remoción de ese mineral y su posterior tratamiento en planta, es necesario perforar y volar la roca en la que se encuentra, labores normales y cotidianas en todos los sectores de la mina, pero particularmente delicadas en este sector, por su proximidad a la zona urbana.

La voladura genera ondas sísmicas (vibración), ondas de presión aéreas (airblast), ruido y puede proyectar rocas más lejos de lo previsto (fly rock). Por otro lado, existen normas y leyes que fijan límites a tales efectos colaterales. En consecuencia, para este sector de la mina se hace imprescindible la práctica de

diseños especiales, en salvaguarda de la seguridad de la población y de sus bienes materiales.

Para la ejecución de los diseños antes mencionados es necesario el uso de accesorios especiales como los detonadores electrónicos los cuales permitirán tener un control más estricto del ruido y de las vibraciones generadas por la voladura, así como eliminar toda posibilidad de proyección de rocas sobre el área urbana. Como es sabido, las vibraciones extremas pueden producir daños en las viviendas aledañas similares al efecto de un sismo, con afectación de estructuras y/o caída de objetos, mientras que una roca voladora (fly rock) puede provocar daños personales y materiales de consideración.

Pero también, por otra parte, las voladuras deben seguir entregando el resultado esperado en términos de fragmentación y apilamiento, para no afectar la eficiencia de las demás operaciones de minado y del chancado y así elevar más el costo de la operación global de mina, el cual se verá incrementado por las técnicas que se aplicaran en las voladuras de dicha zona (voladuras de pre corte, uso de detonadores electrónicos, etc.).

Es así que, para conseguir este objetivo de minimizar los efectos producidos por las voladuras, se optó por evaluar las vibraciones en voladura con plasma para reducir la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera el Brocal S.A.A.

**Palabras Clave:** Fly rock, explosivos, voladura, vibración y roca.

## **ABSTRACT**

The Mining Company Sociedad Minera El Brocal S.A.A. It has been developing the project of open-pit mining of the deposit that encompasses the North - Smelter-Marcapunta sectors and that gives its name to the pit.

The objective of this work is to show that drilling and blasting can be done by reducing the level of vibration and fly rock, obtaining optimal results with good rock fragmentation.

The vibration, dispersion of gases and the geology of the terrain make loading and blasting difficult taking longer than estimated, adding to this the increase in the cost of explosives. As an alternative solution to solve this problem is through the use of metal salts for the generation of energy capable of fracturing the rock.

In the area adjacent to the town of Colquijirca (eastern part of the pit), Sociedad Minera el Brocal S.A.A. has detected good grade mineralization and good volume, both in length and depth. For the removal of this mineral and its subsequent treatment in the plant, it is necessary to drill and fly the rock in which it is located, normal and daily work in all sectors of the mine, but particularly delicate in this sector, due to its proximity to the urban zone.

Blasting generates seismic waves (vibration), air pressure waves (airblast), noise and can project rocks further than expected (fly rock). On the other hand, there are rules and laws that set limits for such side effects. Consequently, the practice of special designs is essential for this sector of the mine, in order to safeguard the safety of the population and its material assets.

For the execution of the aforementioned designs it is necessary to use special accessories such as electronic detonators which will allow for a stricter control of the noise and vibrations generated by the blasting, as well as eliminating any possibility of projecting rocks over the area. urban as it is known, extreme vibrations can cause damage to surrounding homes similar to the effect of an earthquake, affecting structures and / or falling objects, while a flying rock can cause personal damage and material damage.

But also, on the other hand, blasting should continue to deliver the expected result in terms of fragmentation and stacking, so as not to affect the efficiency of the other mining and crushing operations and thus raise the cost of the overall mine operation further, the which will be increased by the techniques that will be applied in the blasting of said area (pre-cut blasting, use of electronic detonators, etc.).

Thus, to achieve this objective of minimizing the effects produced by blasting, it was decided to evaluate the blasting vibrations with plasma to reduce the projection of rocks (fly rock) in the open pit of Sociedad Minera el Brocal S.A.A.

**Keywords:** Fly rock, explosives, blasting, vibration and rock.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de fin de carrera describe y analiza el estudio integral del efecto de las vibraciones producidas por voladuras superficiales realizadas en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. y la forma de reducir la proyección de rocas (Fly Rock)

En este sentido, el material del presente documento corresponde a un estudio DESCRIPTIVO, es decir permitirá dar seguimiento a las prácticas de voladura en un proceso de acompañamiento, que asegure la correcta implementación de las recomendaciones, así como realizar los ajustes que correspondan en las especificaciones de los diseños.

El fenómeno vibratorio tiene dos parámetros fundamentales, la velocidad pico partícula (PPV) y la frecuencia dominante. Los cuales caracterizan cuan dañino puede ser este frente a su influencia sobre las estructuras civiles; Sin perjuicio de las distintas líneas de trabajo que surjan durante la prestación del servicio, la Asistencia Técnica persigue abordar con prioridad y adicionalmente a la problemática ambiental que supone la proximidad con la comunidad de Colquijirca, aspectos tales como el Control de Daño por Voladura; en beneficio de la constructibilidad del diseño geotécnico (configuración banco-berma), optimización de la granulometría de los materiales según el destino de los mismos (Desmonte / Mineral), características de los equipos de cargue y acarreo, especificaciones de los procesos aguas abajo y costos de minado asociados.

Todo lo anterior plasmado en la generación de estándares formales que regulen las prácticas de Voladura en atención a los distintos involucrados: sostenibilidad del negocio en relación a la licencia para operar, cumplimiento del plan minero en

armonía con las restricciones geotécnicas, productividad de las operaciones unitarias, gestión de costos y cumplimiento del target granulométrico compatible con la capacidad de procesamiento (tph).

En cuanto a los alcances, el servicio queda circunscrito a las operaciones a tajo abierto de SMEB, no limitándose a la explotación actual en el Tajo Norte. Por lo tanto, no quedan comprendidas las operaciones underground asociadas a Mina Marcapunta u otras que puedan incorporarse a futuro, exceptuando naturalmente el monitoreo del impacto ambiental de las mismas en superficie, desde la perspectiva de interés (vibraciones inducidas por voladura).

A partir de los resultados obtenidos se proporciona información útil para su uso en el diseño y control de las voladuras posteriores del proyecto.

El Capítulo I trata sobre el problema de investigación.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico.

El Capítulo III trata sobre la metodología y técnicas de la investigación.

El Capítulo IV trata sobre resultados y discusión.

**JOSE ANGEL DAVILA SANTOS.**

# ÍNDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.2.1. Ubicación y Accesibilidad del Tajo .....	4
1.2.2. Antecedentes Históricos.....	9
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.3.1. Problema Principal .....	13
1.3.2. Problemas Específicos.....	13
1.3.2.1. Primer Problema Específico.....	13
1.3.2.2. Segundo Problema Específico.....	13
1.3.2.3. Tercer Problema Específico .....	14
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	14
1.4.1.1. Objetivo General .....	14
1.4.1.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4.1.2.1. Primer Objetivo Específico .....	14
1.4.1.2.2. Segundo Objetivo Específico .....	14
1.4.1.2.3. Tercer Objetivo Específico.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5.1. Justificación.....	15
1.5.2. Importancia y Alcances de la Investigación .....	15
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6.1. Espacial .....	16
1.6.2. Temporal.....	16
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>17</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	17
2.1.1. Internacionales .....	17
2.1.2. Nacionales .....	26
2.2. BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS .....	35
2.2.1. Geología del Tajo .....	36
2.2.1.1. Geología local .....	39
2.2.1.2. Geología Regional.....	43
2.2.1.3. Geología Estructural .....	50
2.2.1.4. Geología Económica .....	50
2.2.2. Geomecánica del tajo abierto.....	59
2.2.3. Geomorfología.....	62
2.2.4. Concesiones mineras .....	63
2.2.5. Derecho de uso de terrenos superficiales .....	65
2.2.6. Clima y Meteorología .....	66
2.2.7. Temperatura .....	67
2.2.8. Precipitación .....	69

2.2.9. Dirección y velocidad del viento .....	72
2.2.10. Distancia a centros poblados .....	77
2.2.11. Plan de minado .....	78
2.2.11.1. Diseño de Tajo .....	80
2.2.11.2. Criterio de diseño .....	80
2.2.11.3. Diseño de Fases .....	83
2.2.12. Estudio Geomecánico Detallado .....	87
2.2.12.1. Angulo de Talud del Tajo .....	87
2.2.12.2. Angulo de Talud de Botadero .....	90
2.2.13. Diseño Detallado de los Polvorines .....	94
2.2.13.1. Diez (10) contenedores: .....	95
2.2.13.2. Ocho (08) Polvorines Tipo A (subterráneos) .....	95
2.2.13.3. Un polvorín Tipo A (Superficial) .....	96
2.2.13.4. Un silo .....	97
2.2.14. Método de Minado .....	99
2.2.15. Secuencia de descarga en botadero .....	105
2.2.16. Plan de Minado 2018-Mensualizado .....	107
2.2.17. Programa de Perforación .....	119
2.2.18. Técnicas de voladura con plasma .....	124
2.2.18.1. Descripción .....	124
2.2.18.2. Proceso .....	124
2.2.18.3. Aplicaciones .....	125
2.2.18.4. Ventajas .....	125
2.2.18.4.1. No explosivo .....	125
2.2.18.4.2. Sin paralización de la producción .....	126
2.2.18.4.3. Muy baja vibración .....	126
2.2.18.4.4. Mínima proyección de material .....	127
2.2.18.4.5. Mínimo nivel de ruido .....	127
2.2.18.4.6. Tecnología limpia .....	127
2.2.18.4.7. Desplazamiento reducido .....	128
2.2.18.4.8. Idoneidad subacuática .....	128
2.2.18.4.9. Alta productividad .....	128
2.2.18.4.10. Flexibilidad de uso, transporte y almacenamiento .....	128
2.2.19. Carguío de taladros .....	129
2.2.20. Evaluación de vibraciones .....	140
2.2.20.1. Generalidades técnicas .....	140
2.2.21. Instrumentos y equipos de medición .....	142
2.2.22. Reglamento de manejo de vibraciones .....	146
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	151
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	158
2.4.1. Hipótesis General .....	158
2.4.2. Hipótesis Específicas .....	158
2.4.2.1. Hipótesis Específica 1 .....	158
2.4.2.2. Hipótesis Específica 2 .....	158
2.4.2.3. Hipótesis Específica 3 .....	158
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	159
2.5.1. Variables de la Hipótesis Principal .....	159
2.5.2. Variables de las Hipótesis Secundarias .....	159
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES .....	160
2.6.1. Definición Operacional de Variables .....	160
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>162</b>
<b>3. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>162</b>
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	162
3.1.1. De acuerdo al Propósito .....	162
3.1.2. De acuerdo al Nivel de Investigación .....	162
3.1.3. De acuerdo al Diseño .....	162
3.1.4. De acuerdo al Método .....	162

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	162
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	163
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	163
3.4.1. Población.....	163
3.4.2. Muestra.....	163
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	164
3.5.1. Técnicas.....	164
3.5.2. Instrumentos .....	164
3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	165
3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	165
3.7.1. Diseño Estadístico .....	165
3.7.2. Estrategia de la Prueba de Hipótesis .....	166
3.7.2.1. Hipótesis Principal .....	166
3.7.2.2. Hipótesis Secundarias .....	166
3.7.2.3. Procedimiento de la Estrategia.....	166
3.8. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....	168
3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA .....	168
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>169</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>169</b>
4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	169
4.1.1. Evaluación de niveles de vibraciones .....	169
4.1.2. Registro de vibraciones .....	174
4.1.3. Análisis de vibraciones.....	179
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	182
4.2.1. Pruebas de voladura.....	182
4.2.2. Costos de voladura .....	184
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	186
4.3.1. Objetivo Específico 1 .....	186
4.3.2. Objetivo Específico 2.....	187
4.3.3. Objetivo Específico 3.....	188
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	189
<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>RECOMENDACIONES</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## **Índice de Anexos:**

ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	198
ANEXO N° 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	201

## Índice de Figuras:

FIGURA N° 1: VISTA PANORÁMICO DEL TAJO DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL SAA7	
FIGURA N° 2: VISTA DEL TAJO DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL Y LA COMUNIDAD DE COLQUIJRCA .....	11
FIGURA N° 3: RASGOS ESTRUCTURALES DE MAYOR IMPORTANCIA EN SOCIEDAD MINERA EL BROCAL .....	37
FIGURA N° 4: DIAGRAMA DE MINERALIZACIÓN DEL TAJO NORTE .....	58
FIGURA N° 5: SECTORES GEOTÉCNICOS .....	61
FIGURA N° 6: VARIACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA MENSUAL – PROMEDIO MULTIANUAL .....	68
FIGURA N° 7: PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTIMADA PARA EL ÁREA DE ESTUDIO (1950-2015) .....	71
FIGURA N° 8: DIRECCIÓN DE VIENTO MULTIANUAL .....	75
FIGURA N° 9: DIRECCIÓN DE VIENTO PERÍODO ENE-FEB-MAR. ....	75
FIGURA N° 10: DIRECCIÓN DE VIENTO PERÍODO ABR-MAY_JUN. ....	76
FIGURA N° 11: DIRECCIÓN DE VIENTO PERÍODO JUL-AGO-SET. ....	76
FIGURA N° 12: DIRECCIÓN DE VIENTO PERÍODO OCT-NOV-DIC. ....	77
FIGURA N° 13: DISEÑO DE RAMPA.....	81
FIGURA N° 14: RADIO DE GIRO EN VÍAS DE ACARREO.....	82
FIGURA N° 15: ANCHO MÍNIMO DE MINADO .....	82
FIGURA N° 16: VISTA EN PLANTA DE LAS FASES.....	84
FIGURA N° 17: DISEÑO DE FASES TAJO NORTE.....	85
FIGURA N° 18: DISEÑO DE FASES TAJO SMELTER .....	86
FIGURA N° 19: SECTORES GEOTÉCNICOS .....	89

FIGURA N° 20: ESQUEMA MOVIMIENTO MATERIAL MINA .....	99
FIGURA N° 21: MOVIMIENTO DE MATERIAL – PLAN 2018 .....	102
FIGURA N° 22: TALADROS DE PRODUCCIÓN.....	131
FIGURA N° 23: TALADROS DE PRODUCCIÓN SIN AGUA .....	132
FIGURA N° 24: TALADROS DE PRODUCCIÓN CON AGUA.....	133
FIGURA N° 25: DISEÑO DE TALADROS BUFFER SIN AGUA.....	134
FIGURA N° 26: DISEÑO DE TALADROS BUFFER CON AGUA .....	135
FIGURA N° 27: DISEÑO DE TALADROS DE PRE CORTE CARGA ACOPLADA. ....	136
FIGURA N° 28: DISEÑO PARA TALADROS DE PRE CORTE USANDO MANGA PLÁSTICA.	137
FIGURA N° 29: DISEÑO PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN SIN AGUA. ....	138
FIGURA N° 30: DISEÑO PARA TALADROS CON PRESENCIA DE AGUA.....	139
FIGURA N° 31: MAPA GENERAL, ZONA DE SEGURIDAD Y ZONA DE MONITOREO .....	141
FIGURA N° 32: MAPA SIMULACIÓN DE VIBRACIÓN .....	143
FIGURA N° 33: SIMULACIÓN PPV CON UN TALADRO (AJUSTE CON 90% DE CONFIANZA) .....	145
FIGURA N° 34: SIMULACIÓN PPV CON TALADRO (AJUSTE CON 50% DE CONFIANZA)	146
FIGURA N° 35: PLANO DE INFLUENCIA .....	170
FIGURA N° 36: MALLA REAL CARGADA .....	171
FIGURA N° 37: IMAGEN PRE-VOLADURA .....	171
FIGURA N° 38: IMAGEN POST- VOLADURA .....	172
FIGURA N° 39: IMAGEN POST- VOLADURA .....	172
FIGURA N° 40: IMAGEN POST - VOLADURA.....	173
FIGURA N° 41: IMAGEN POST VOLADURA.....	173
FIGURA N° 42: ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	174
FIGURA N° 43: ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	175

FIGURA N° 44: PLANO DE INFLUENCIA .....	176
FIGURA N° 45: MALLA REAL CARGADA .....	176
FIGURA N° 46: IMAGEN PRE-VOLADURA .....	177
FIGURA N° 47: IMAGEN PRE VOLADURA .....	177
FIGURA N° 48: IMAGEN POST- VOLADURA .....	178
FIGURA N° 49: IMAGEN POST- VOLADURA .....	178
FIGURA N° 50: IMAGEN POST- VOLADURA .....	179
FIGURA N° 51: ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	179
FIGURA N° 52: ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	181
FIGURA N° 53: COMPARACIÓN DE VIBRACIONES EN TALADRO DE PRODUCCIÓN NORMAL Y CON VOLADURA CON PLASMA .....	186
FIGURA N° 54: FRAGMENTACIÓN DE ROCAS.....	187
FIGURA N° 55: COSTO DE VOLADURA TRADICIONAL VS PLASMA .....	188

## Índice de Láminas:

LÁMINA N° 1: MAPA DE UBICACIÓN NACIONAL - DEPARTAMENTAL .....	XXVIII
LÁMINA N° 2: MAPA DE LOCALIZACIÓN .....	6
LÁMINA N° 3: MAPA DE ACCESIBILIDAD .....	8
LÁMINA N° 4: GEOLOGÍA LOCAL DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL.....	40
LÁMINA N° 5: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL.....	49
LÁMINA N° 6: GEOLOGÍA ECONÓMICA DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL.....	51
LÁMINA N° 7: CONCESIONES MINERAS Y TERRENO SUPERFICIAL .....	64
LÁMINA N° 8: PLANO GENERAL – UNIDAD MINERA COLQUIJIRCA.....	79
LÁMINA N° 9: DISEÑO CONCEPTUAL DEL BOTADERO CONDORCAYÁN.....	92
LÁMINA N° 10: SECCIONES – BOTADERO CONCORCAYÁN .....	93
LÁMINA N° 11: PLANTA DE POLVORÍN ACTUAL .....	98
LÁMINA N° 12: PLAN DE MINADO 2018 – TOPOGRAFÍA FINAL .....	104
LÁMINA N° 13: EXPANSIÓN DEL TAJO NORTE Y BOTADERO CONDORCAYÁN.....	106
LÁMINA N° 14: PLAN ENERO 2018.....	107
LÁMINA N° 15: PLAN FEBRERO 2018.....	108
LÁMINA N° 16: PLAN MARZO 2018 .....	109
LÁMINA N° 17: PLAN ABRIL 2018.....	110
LÁMINA N° 18: PLAN MAYO 2018 .....	111
LÁMINA N° 19: PLAN JUNIO 2018 .....	112
LÁMINA N° 20: PLAN JULIO 2018.....	113
LÁMINA N° 21: PLAN AGOSTO 2018 .....	114
LÁMINA N° 22: PLAN SEPTIEMBRE 2018.....	115
LÁMINA N° 23: PLAN OCTUBRE 2018 .....	116

LÁMINA N° 24: PLAN NOVIEMBRE 2018 .....	117
LÁMINA N° 25: PLAN DICIEMBRE 2018.....	118
LÁMINA N° 26: UBICACIÓN DE POZOS DE PERFORACIÓN Y CALICATAS .....	123
LÁMINA N° 27: PLANO DEL POLVORÍN DE PLASMA.....	130

## Índice de Tablas:

TABLA N° 1: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PARA EL DISEÑO DEL TAJO.....	59
TABLA N° 2: COORDENADAS DEL ÁREA DE ACTIVIDAD MINERA .....	66
TABLA N° 3: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS .....	67
TABLA N° 4: TEMPERATURAS MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA MENSUAL – PROMEDIO MULTIANUAL.....	68
TABLA N° 5: VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA TOTAL MENSUAL .....	70
TABLA N° 6: PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTIMADA PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.....	71
TABLA N° 7: PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTIMADA PARA LA MICROCUENCA DEL DEPÓSITO DE RELAVES HUACHUACA .....	72
TABLA N° 8: PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTIMADA PARA LA MICROCUENCA QUEBRADA UNISH .....	72
TABLA N° 9: PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTIMADA PARA EL ÁREA DE LA MINA .....	72
TABLA N° 10: ESTACIÓN METEOROLÓGICA HUARAUCACA .....	73
TABLA N° 11: VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO Y MÁXIMA MENSUAL.....	73
TABLA N° 12: DISTANCIAS ENTRE LOS PRINCIPALES CENTROS POBLADOS Y LAS ZONAS DE OPERACIONES DE SMEB .....	77
TABLA N° 13: CRITERIO DE DISEÑO DEL TAJO .....	81
TABLA N° 14: REPORTE DEL DISEÑO DE FASES.....	83
TABLA N° 15: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PARA EL DISEÑO DEL TAJO .....	88
TABLA N° 16: CARACTERÍSTICAS DE APILAMIENTO DE DESMONTE .....	90
TABLA N° 17: RESULTADOS ANÁLISIS ESTABILIDAD BOTADERO CONDORCAYÁN .....	91
TABLA N° 18: DISEÑO DE POLVORINES .....	94
TABLA N° 19: PLAN DE MINADO 2018 .....	101

TABLA N° 20: PLAN DE ALIMENTACIÓN A PLANTA Pb/ZN.....	101
TABLA N° 21: UBICACIÓN DE PERFORACIONES (APROXIMADAMENTE).....	120
TABLA N° 22: ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE SUELOS .....	121
TABLA N° 23: ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	122
TABLA N° 24: TALADROS DE PRODUCCIÓN .....	131
TABLA N° 25: TALADRO DE PRODUCCIÓN SIN AGUA. ....	132
TABLA N° 26: PARÁMETROS EN TERRENO SECO .....	134
TABLA N° 27: PARÁMETROS EN PRESENCIA DE AGUA. ....	135
TABLA N° 28: PARÁMETROS CON TALADROS DE PRE-CORTE.....	136
TABLA N° 29: TALADROS DE PRE CORTE USANDO MANGA PLÁSTICA.....	137
TABLA N° 30: PARÁMETROS EN TERRENO SECO. ....	138
TABLA N° 31: PARÁMETROS CON PRESENCIA DE AGUA.....	139
TABLA N° 32: SIMULACIÓN DE VIBRACIONES.....	144
TABLA N° 33: SIMULACIÓN DE VIBRACIONES CAMPO LEJANO.....	144
TABLA N° 34: NORMAS INTERNACIONALES SOBRE VIBRACIONES.....	147
TABLA N° 35: NORMA SUIZA .....	148
TABLA N° 36: NORMA ESPAÑOLA.....	149
TABLA N° 37: NORMAL PORTUGUESA.....	150
TABLA N° 38: TIPO DE ESTRUCTURA .....	150
TABLA N° 39: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	161
TABLA N° 40: EVALUACIÓN DE NIVELES DE VIBRACIONES. ....	169
TABLA N° 41: SECUENCIA DE TIEMPO.....	169
TABLA N° 42: MONITOREO DE VIBRACIONES.....	174
TABLA N° 43: EVALUACIÓN DE NIVELES DE VIBRACIONES. ....	175
TABLA N° 44: SECUENCIA DE TIEMPO.....	175

TABLA N° 45: PROYECTO MONITOREADO.....	179
TABLA N° 46: PRUEBA DE VOLADURA (1).....	182
TABLA N° 47: PRUEBA DE VOLADURA (2).....	183
TABLA N° 48: DATOS PARA COSTOS DE VOLADURA .....	184
TABLA N° 49: DATOS PARA COSTOS DE VOLADURA .....	184
TABLA N° 50: COSTOS DE VOLADURA.....	185
TABLA N° 51: RESULTADO DEL MONITOREO DE VIBRACIONES .....	186
TABLA N° 52: FRAGMENTACIÓN CON DISPARO EN TALADRO .....	187
TABLA N° 53: COSTO DE VOLADURA CON EL SISTEMA TRADICIONAL Y VOLADURA CON PLASMA.....	188
TABLA N° 54: DISTANCIAS ENTRE LOS PRINCIPALES CENTROS POBLADOS Y LAS ZONAS DE OPERACIONES DE SMEB .....	201
TABLA N° 55: CRITERIO DE DISEÑO DEL TAJO.....	201
TABLA N° 56: ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE SUELOS .....	202
TABLA N° 57: TALADROS DE PRODUCCIÓN .....	202

### Abreviaturas:

<b>ABREVIATURAS</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
DIGESA	La Dirección General de Salud Ambiental
GSM	Gerencia de Supervisión Minera
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
ISEM	Instituto de Seguridad Minera
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINSA	Ministerio de Salud
MTPE	Ministerio de trabajo y Promoción del Empleo
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

*Fuente: Elaboración propia.*

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de la explotación minera la perforación y voladura representa una de las operaciones unitarias más costosas con aproximadamente el 40 % del costo de producción. En el tajo abierto de Sociedad Minera el Brocal S.A.A. el consumo de explosivos depende del tipo de roca, del costo de explosivo y de la cercanía de la población. Actualmente la voladura en el tajo abierto genera un problema social por las vibraciones que ocasionan fracturas y daños a las propiedades aledañas.

Es de destacar que la Empresa Minera ha detectado mineralización de buena ley y buen volumen, tanto como en extensión como en profundidad. Para salvaguardar la zona urbana que esta aproximadamente a 500 metros, es necesario ejecutar diseños de voladura usando accesorios especiales como detonadores electrónicos, para lo cual se plantea el uso de sales metálicos llamados “plasma” para la generación de energía capaz de fracturar la roca y disminuir el fly rock, los mismos que nos permitirán tener un control más estricto del ruido y las vibraciones generadas por la voladura y así eliminar toda posibilidad de proyección de rocas sobre las instalaciones y el área urbana.

En estos tiempos las vibraciones han venido cobrando importancia a medida que las fuentes generadoras aumentan en cantidad, magnitud y cercanía a las zonas pobladas.

Por las razones expuestas la empresa minera solicitó realizar un estudio de vibraciones por voladura con plasma a fin de reducir daños por proyección de rocas y vibraciones en el Centro Poblado de Colquijirca, el cual es motivo de la presente tesis.

La minería en cuanto actividad económica es importante, principalmente para países en vías de desarrollo, dado que una gran parte de las divisas son obtenidas a través de la exportación de productos como los concentrados minerales, los cuales contribuyen significativamente a la generación de riqueza, así como a la generación de puestos de trabajo directos e indirectos en regiones caracterizadas por la pobreza.

A pesar de su reconocida importancia, la minería también se destaca por los riesgos inherentes a su práctica, los cuales están asociados a la posibilidad de ocurrencia de accidentes de trabajo provocados por los diversos agentes presentes en las minas como choques eléctricos, explosiones, gases, rocas sueltas, ruidos, polvo, iluminación deficiente, ventilación inadecuada entre otros (Groves, Kecojevic, & Komljenovic, 2007).

### **1.1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

Dentro de la explotación minera la perforación y voladura representa una de las operaciones unitarias más costosas con aproximadamente el 40 % del costo de producción. En el tajo abierto de Sociedad Minera el Brocal S.A.A. el consumo de explosivos depende del tipo de roca, del costo de explosivo y de la cercanía de la población. Actualmente la voladura en el tajo abierto genera un problema social por las vibraciones que ocasionan fracturas y daños a las propiedades aledañas.

Es de destacar que la Empresa Minera ha detectado mineralización de buena ley y buen volumen, tanto como en extensión como en profundidad. Para salvaguardar la zona urbana que esta aproximadamente a 500 metros, es necesario ejecutar diseños de voladura usando accesorios especiales como detonadores electrónicos, para lo cual se plantea el uso de sales metálicos llamados “plasma” para la generación de energía capaz de fracturar la roca y disminuir el fly rock, los mismos que nos permitirán tener un control más estricto del ruido y las vibraciones generadas por la voladura y así eliminar toda posibilidad de proyección de rocas sobre las instalaciones y el área urbana.

En estos tiempos las vibraciones han venido cobrando importancia a medida que las fuentes generadoras aumentan en cantidad, magnitud y cercanía a las zonas pobladas.

Por las razones expuestas la empresa minera solicitó realizar un estudio de vibraciones por voladura con plasma a fin de reducir daños por proyección de rocas y vibraciones

## **1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

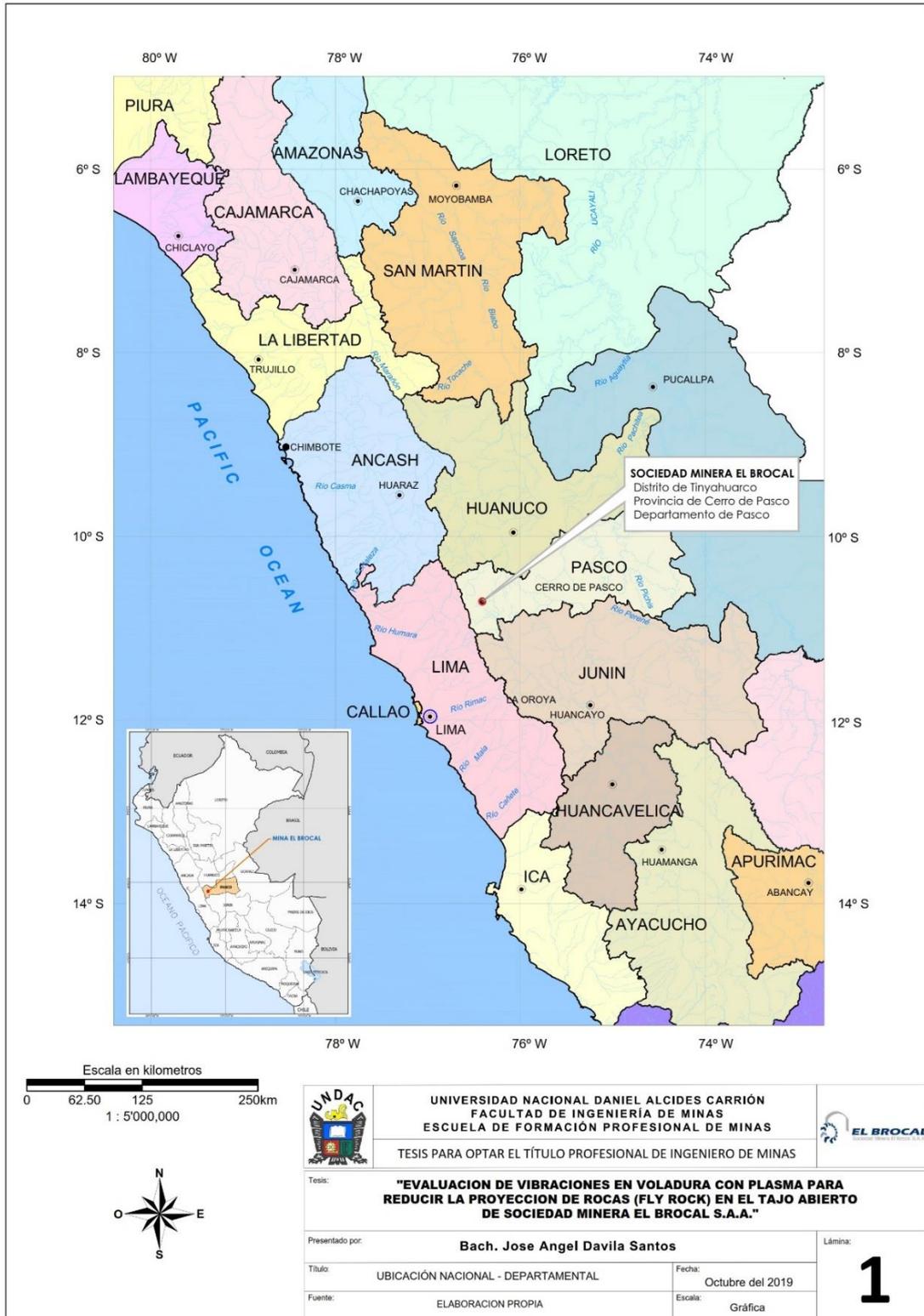
La investigación se desarrollará en el Tajo de la Cía. Minera El Brocal S.A.A. A continuación se detalla los aspectos generales del Tajo.

### **1.2.1. Ubicación y Accesibilidad del Tajo**

La unidad minera Colquijirca de SMEB se ubica en el distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco. Hidrográficamente, el proyecto se ubica en la cuenca del río San Juan, afluente al río Mantaro perteneciente a la vertiente del Atlántico.

El acceso desde Lima se realiza a través de la Carretera Central hasta la ciudad de La Oroya, desde donde se toma la carretera que va hacia la ciudad de Cerro de Pasco. Ambas carreteras se encuentran asfaltadas en su totalidad. El campamento de Colquijirca, se ubica a 15,8 km de la ciudad de Cerro de Pasco. El recorrido desde Lima hasta el campamento de Colquijirca es de aproximadamente 288 km.

En las láminas N° 1, 2, 3 y 4 se puede visualizar los planos con mayor detalle.



**Lámina N° 1: Mapa de Ubicación nacional - departamental**

**Fuente: Elaboración Propia.**

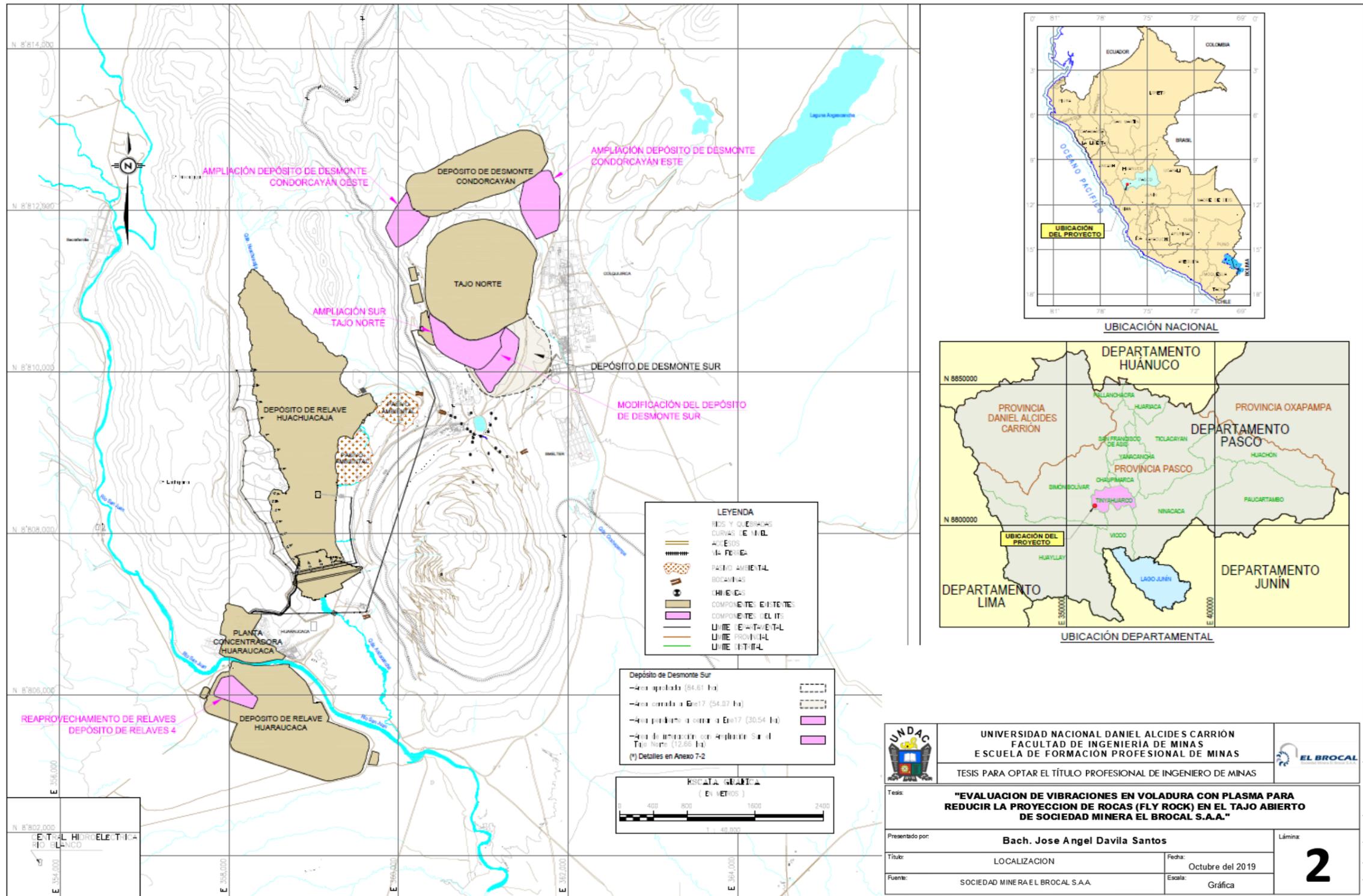


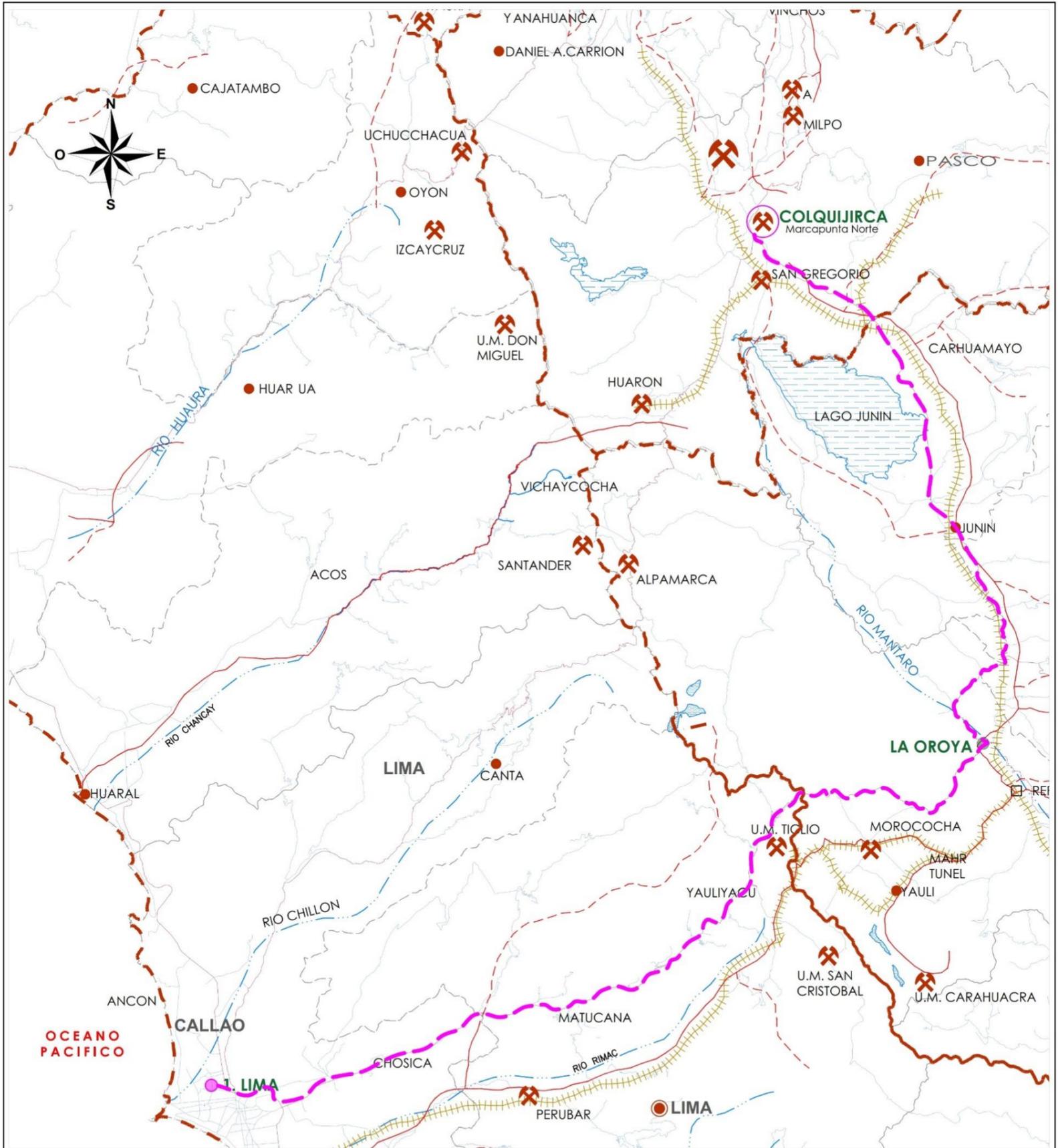
Lámina N° 2: Mapa de Localización

Fuente: Elaboración Propia.

*Figura N° 1: Vista Panorámico del Tajo de Sociedad Minera El Brocal SAA*



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*



MAPA DE ACCESIBILIDAD MINA EL BROCAL



LEYENDA	
RUTA DE ACCESIBILIDAD	— — — — —
(LIMA - LA OROYA - CARHUAMAYO - COLQUIJIRCA)	



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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

Tesis:	<b>"EVALUACION DE VIBRACIONES EN VOLADURA CON PLASMA PARA REDUCIR LA PROYECCION DE ROCAS (FLY ROCK) EN EL TAJO ABIERTO DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A."</b>		<b>3</b>
Presentado por:	Bach. Jose Angel Davila Santos		
Título:	ACCESIBILIDAD	Fecha: Octubre del 2019	
Fuente:	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	Escala: Gráfica	

Lámina N° 3: Mapa de Accesibilidad

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### 1.2.2. Antecedentes Históricos

Los orígenes de nuestra empresa yacen desde la época pre-incaica. Se sabe que la tribu de los Tinyahuarcos, extraían la plata de las faldas del cerro ubicado frente a Puntac-Marca, que por poseer abundancia y calidad desde aquellos tiempos era conocido como GOLGUE (plata), JIRCA (cerro), hoy Colquijirca, es decir “cerro de la plata”.

La historia nos cuenta que cuando hubo que pagar el rescate del Inca Atahualpa, se recibió la orden de enviar a Cajamarca toda la existencia almacenada de minerales preciosos que se tenían en Golguejirca.

Gracias a estos importantes antecedentes nuestra evolución siempre estuvo orientada hacia el crecimiento de la empresa y se fue dando de la siguiente manera:

- 1549, llegan los españoles a la zona y comienzan a trabajar en las minas de Golguejirca.
- 1880, la mina Colquijirca, propiedad del ciudadano español Manuel Clotet, fue cedida a su yerno, Eulogio Fernandini.
- 1886, se inician los trabajos del socavón principal de Colquijirca que posteriormente se llamó el “Socavón Fernandini”. La ejecución de la obra de 900 metros de longitud, tomó 13 años llegando por fin con tenacidad y esfuerzo a encontrar vetas de plata, plomo y zinc.
- 1889, se tenía instalada la Fundición de Huaracaca, para la producción de barras de plata, cuya instalación y manejo estuvo a cargo del ingeniero Antenor Rizo Patrón.

- 1921, la empresa, Negociación Minera Eulogio E. Fernandini, decidió cerrar la fundición y reemplazarla por una planta de flotación ubicada en el mismo lugar.
- 1938, se modificó el nombre de la empresa por “Negociación Fernandini Clotet Hermanos” que incluía tanto negocios mineros como agrícolas
- El 7 de mayo de 1956, se registró como “Sociedad Minera El Brocal S.A.”
- 1960, se instala el primer molino de barras e inicia su crecimiento.
- 1973, se inicia los trabajos de tajo abierto “Mercedes-Chocayoc”, mientras en la zona de Marcapunta se explotaba por método subterráneo.
- 1974, se paraliza la explotación subterránea convencional, y se intensifica el desbroce del tajo abierto, elevando la producción a 580 y posteriormente hasta las 1,000 TMD.
- Entre 1980 y 1981, se incrementan las actividades en el tajo abierto, lográndose producir 1,500 TMD de mineral.
- En 1990 y 1991, se tratan 1,750 TMD y 2,000 TMD de mineral respectivamente, proveniente de los tajos Principal y Mercedes-Chocayoc.
- 1994, se inicia un programa agresivo de exploraciones a través de perforaciones diamantinas, lo cual permitió identificar y cuantificar los Proyectos San Gregorio y Marcapunta.
- En noviembre de 1996, la planta concentradora de Huaraucaca comienza con la flotación selectiva de zinc, plata y plomo. Al mismo tiempo, la producción llega hasta 2,200 TMD.

- El 14 de abril del 2003, la empresa se convirtió en Sociedad Anónima Abierta y su razón social se modificó a Sociedad Minera El Brocal S.A.A.
- 2009-2014, El Programa de ampliación de operaciones aprobado en agosto del 2008 por el Directorio, consistente en incrementar la capacidad de producción de mineral a 18,000 TMD, empezó a desarrollarse en el año 2009, consolidándose en el 2014 la operación de la Planta 1 a niveles de 7,000 TMD y de la Planta 2 a 11,000 TMD, contando con una capacidad instalada de 18,000 toneladas métricas por día.

***Figura N° 2: Vista del Tajo de Sociedad Minera el Brocal y la Comunidad de Colquijirca***



***Fuente: Elaboración Propia.***

Asimismo, debemos destacar que una de las actividades más importantes, fue la elaboración y ejecución del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), entre los años 1996 y 2001, cuyo cumplimiento mereció el reconocimiento y aprobación del Ministerio de Energía y Minas a través de la R.D. N° 306-2002-EM/DGM, el 08 de noviembre del 2002, luego de una rigurosa Auditoría Especial. Paralelamente la producción de la empresa se incrementó progresivamente hasta llegar a 3300 TMD en el año 2003.

A fines del año 2002, luego de adecuarse a la legislación ambiental, la empresa toma la decisión de implementar un Sistema Integrado de gestión en Medio Ambiente, Seguridad y Salud Ocupacional (SIGMASS), con el objetivo de mostrar su compromiso voluntario por la mejora continua en cuanto al cuidado del medio ambiente y la integridad física de su personal, lo cual obligó a la elaboración, cumplimiento y seguimiento de políticas, manuales, procedimientos, instrucciones, etc.; del sistema, para luego ser sometido a una auditoría externa. Esta implementación se realizó durante los años siguientes, para culminar con el logro de la Certificación de ISO 14001 y OHSAS-18001, el 24 de marzo del 2004. Estas certificaciones son renovadas periódicamente mediante auditorías internas y externas.

Durante los últimos años, Sociedad Minera El Brocal ha logrado dar un salto cualitativo importante debido al crecimiento integral de la organización, lo que la ubica dentro del grupo de empresas mineras medianas más importantes del país.

Respecto al clima se debe decir que es frío seco entre los meses de abril a diciembre, tornándose lluvioso de enero a marzo con disminución del frío.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Las investigaciones realizadas en voladura tienen como principal objetivo no solo de evitar que los niveles de vibraciones excedan a los límites permisibles pre-establecidos sino también con el fin de poder evitar problemas sociales ya que dichas vibraciones además de causar fallas en ciertas estructuras también generan malestar a las personas que viven cerca de las operaciones mineras.

Es por esta razón que la presente investigación plantea controlar la proyección de rocas (fly rock) mediante la voladura con plasma y reducir daños en el tajo abierto y también en las zonas aledañas.

#### **1.3.1. Problema Principal**

¿Cómo el sistema de voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

##### ***1.3.2.1. Primer Problema Específico***

¿Cómo el control de las vibraciones en la voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?

##### ***1.3.2.2. Segundo Problema Específico***

¿Cómo el control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?

### ***1.3.2.3. Tercer Problema Específico***

¿Cómo el control de los costos de perforación y voladura con plasma influiría en la reducción de la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?

## **1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

### ***1.4.1.1. Objetivo General***

Reducir la proyección de rocas (fly rock) con la aplicación del nuevo sistema de voladura con plasma en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### ***1.4.1.2. Objetivos Específicos***

#### ***1.4.1.2.1. Primer Objetivo Específico***

Reducir la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal mediante el control de las vibraciones en la voladura con plasma.

#### ***1.4.1.2.2. Segundo Objetivo Específico***

Reducir la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal mediante el control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma.

#### ***1.4.1.2.3. Tercer Objetivo Específico***

Reducir la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal mediante el control de los costos de perforación y voladura con plasma.

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

#### **1.5.1. Justificación**

La vibración, la dispersión de gases y la geología del terreno hacen difícil el carguío y la voladura generando mayor tiempo de lo estimado sumándose a esto el incremento del costo de los explosivos. Para contrarrestar este problema se plantea el uso de sales metálicas llamados plasma para la generación de energía capaz de fracturar la roca y reducir su proyección a fin de salvaguardar la zona urbana de Colquijirca, para lo cual se hace necesario realizar diseños de voladura usando accesorios especiales los que nos permitirán tener un control más estricto del ruido y las vibraciones y así eliminar toda posibilidad de proyección de rocas sobre el área urbana.

La presente investigación también se justifica plenamente ya que será un aporte que servirá para la toma de decisiones a nivel de la organización de esta empresa minera, como también se hará extensiva a otras minas del ámbito nacional e internacional.

#### **1.5.2. Importancia y Alcances de la Investigación**

En la zona Este del tajo abierto de Sociedad Minera el Brocal S.A.A. aledaña al Poblado de Colquijirca se ha detectado mineralización de buena ley y buen volumen tanto en extensión y profundidad constituyendo, esté un problema

social provocada por las vibraciones de la voladura que ocasionan fracturas y daños a las propiedades cercanas al tajo abierto.

La presente investigación cobra importancia toda vez que nos permite contribuir al desarrollo del conocimiento sobre vibraciones y voladura de rocas con plasma y su correspondiente aplicación en las operaciones mineras.

## **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el desarrollo de la presente investigación, prácticamente no hubo limitaciones en lo referente a la obtención de los datos, debido a las facilidades otorgadas por la Gerencia de la Empresa Minera, salvo lo referido al financiamiento, la falta de apoyo del personal capacitado y la poca información de la data actualizada.

### **1.6.1. Espacial**

El uso del sistema de voladura con plasma ha sido realizado en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal con la finalidad de reducir la proyección de rocas, sin embargo éste tiene un alcance en todas las operaciones mineras a tajo abierto de las minas del Perú.

### **1.6.2. Temporal**

El tiempo de desarrollo del presente trabajo ha sido de 7 meses.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Habiendo realizado una revisión de la literatura sobre voladura de rocas con plasma en las minas, encontramos poca existencia de información sobre este tema, porque esta tecnología es reciente. Así tenemos algunos estudios realizados en las minas tenemos:

##### 2.1.1. Internacionales

- **Codelco División Chuquicamata – Chile**

**Caso de Éxito:** Fractura y levantamiento de tierra para la construcción de plataformas de doble contacto en Plantas de Ácido sulfúrico, División Chuquicamata.

**Cliente:** Codelco división Chuquicamata

**Locación:** 15 km al norte de Calama, en la Región de Antofagasta, Minera Chuquicamata.

**Situación:** La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) dio inicio al proyecto de movimiento de tierra y saneamiento para plantas de ácido N°3 y N°4 a Doble Contacto / Doble Absorción de su división Chuquicamata, ubicada en la ciudad de Calama, donde se requería fracturar 100.000 m<sup>3</sup> de roca con profundidad de 5 metros, sin paralizar

el funcionamiento de las plantas, ni la continuidad operacional durante la realización de los trabajos.

**Desafío:** La cercanía del área de fractura de roca con las plantas de ácido representó sin duda el mayor desafío, debido a la necesidad de mantener la operación sin aplicar procesos de evacuación. Por tal motivo fue imprescindible una solución con mínimos niveles de vibración y flyrock, y mínimo radio de evacuación, resguardando la seguridad del personal e instalaciones, ya que cualquier daño en la planta podría representar un riesgo. Otro reto al que nos enfrentamos fue la demanda de granulometría del material extraído para facilitar su transporte.

**Solución:** Para cumplir eficientemente con todas las exigencias del proyecto, Plasma 4TH utilizó su innovadora tecnología No Explosiva PRIMALFRACT con 1,3 kg de carga y 3 pulgadas de diámetro de perforación, capaz de ofrecer mayor control y seguridad para fractura de roca en zonas con requerimientos especiales, – como el levantamiento y movimiento de tierra adyacente a las plantas de ácido de Chuquicamata, logrando la fracturación de 106.000 m<sup>3</sup> de roca de forma exitosa, sin incidentes, detenciones, ni evacuaciones, obteniendo además la granulometría precisa.

Es así como con el uso de Plasma se cumplieron todas las exigencias del cliente, concretando los siguientes hitos:

1. Mínimas vibraciones (9,10 mm/seg a 30 metros) permitiendo la continuidad operativa de la planta.
2. Nulo flyrock

3. Nula evacuación de equipos y personas
4. 0 gases tóxicos
5. Sin permisos especiales
6. Seguridad en las instalaciones y personal de la planta de ácido
7. Cero incidentes
8. Granulometría del material obtenido facilitando su transporte con equipos de movimientos de tierra

Este caso de éxito constata nuevamente que la tecnología no explosiva de vanguardia que ofrece Plasma garantiza la ejecución de trabajos de excelencia, cumpliendo con altas exigencias, otorgando seguridad a las personas, equipos e instalaciones.

- **Planta de Ácidos Codelco Chuquicamata – Chile**

Fracturamiento de 112.000 m<sup>3</sup> de rocas adyacentes a la planta de ácido en un plazo de 4 meses, destacando los siguientes beneficios en la utilización del producto:

1. Sin detenciones de Operación de la Planta de Ácido.
2. Sin Evacuación de Personal.
3. Cero Fly rock.
4. Bajas vibraciones.
5. Cero incidentes.

**INFORMACIÓN DE DISEÑO:**

- Longitud de perforación (m) = 3 a 6 m
- Malla (B x S) (m) = 2x2 ; 1,5x 1,5
- Diámetro (pulg.) = 3

- **Minera Coimolache – Perú**

**Situación:** El cliente “Minera Coimolache S.A.” necesitó la ampliación de su PAD de lixiviación para el tratamiento de los minerales extraídos.

La compañía Minera Coimolache es una empresa dedicada a la extracción de los minerales oro y plata a rajo abierto, afiliada y gerenciada por Buenaventura. Esta mina se ubica en el distrito de Hualgayoc, en la provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, el área de trabajo está ubicada a 200 metros aproximadamente de las instalaciones principales de la mina. Para este proyecto tuvimos la oportunidad de participar en cada una de las fracturas, interviniendo desde el despacho de guardia, distribución, instalación en los pozos, conexión entre pozos y activación de las cápsulas de Plasma.

**Desafío:** Para la ampliación del PAD de lixiviación de la Minera Coimolache, se necesitaba mantener y garantizar la continuidad operacional, ya que a escasos 200 metros de la unidad de producción se encuentran las oficinas, el comedor y el campamento minero entre otros. Esto significaba un desafío para los encargados del proyecto, ya que bajo este escenario es cuando en otras ocasiones se han utilizado métodos explosivos, donde las actividades tanto de la mina como de las áreas aledañas han sido detenidas, ya que se tuvo que evacuar a todo el personal de las instalaciones para la ejecución de las obras.

**Solución:** La utilización del Plasma como solución no explosiva para el proyecto de ampliación de Minera Coimolache, posibilitó la continuidad operativa de las áreas colindantes de la mina (requisito clave), ya que no

se alteró ni paralizó el normal funcionamiento de sus actividades, así como tampoco se vulneraron los parámetros de seguridad de las operaciones en todo el sector. Con el fin de asegurar el buen uso del producto, es que se sumó al servicio de Plasma una Charla teórico-práctica acerca del “PLASMA (características, aplicación y uso)”, orientada a 13 colaboradores.

Este desafío demandaba la utilización de un producto preciso y confiable para fractura de roca en obras de mediano y gran tamaño, como PRIMALFRACT de 1,3 PMD. Gracias al cero grado de fly-rock, es ideal para faenas con instalaciones o equipos cercanos, ya que reduce el radio de evacuación al mínimo, lo que permite la continuidad de trabajos u operaciones cercanas al lugar donde se necesite fracturar roca. Para medir el nivel de vibraciones provocadas por las fracturas, y así se prever el daño a las instalaciones adyacentes, es que se complementó la utilización de PrimalFract de Plasma con el empleo de un sismógrafo “INSTANTEL – Minimate Plus”.

Para complementar lo anterior, debemos mencionar que en la Fractura N° 001 del día 30.11.18, se obtuvo proyección de rocas que alcanzó 50 metros aprox. Esta, si bien estuvo dentro del radio de influencia establecido, éste estuvo dándose por factores operacionales (taco corto). Posteriormente se realizó una reunión con la cuadrilla de carguío y disparo, a quienes se les capacitó en las distancias mínimas que se deben mantener (Taco Final) y las medidas de control, con el fin de evitar estas

anomalías. Debemos destacar que en las fracturas siguientes no se presentaron observaciones de este tipo.

**Resultados:** Con el uso de Plasma 4TH en Minera Coimolache se consiguieron los siguientes resultados:

1. Continuidad operativa de la mina y áreas colindantes.
2. Granulometría del material derribado en concordancia al requerimiento del cliente, donde el rendimiento fue de 3.5 m<sup>3</sup>/kg, de Plasma.
3. Ejecución de la fractura de roca sin generar niveles de ruido que perturbara al personal de la compañía.
4. Bajos niveles de vibraciones y altas frecuencias, donde a una distancia de 130 metros obtuvimos una VPP de 0.683 mm/s y una frecuencia de 9.3 Hz.
5. Cero nivel de fly rock. Para cautelar el posible daño, retiramos los equipos fuera de un radio de influencia de tan solo 100 metros, trayecto que no se vio perjudicado por ningún efecto de fly rock.
6. Los registros de vibraciones oscilaron entre los 0.803mm/s@130m, 1.054mm/s@130m hasta los 5.214mm/s@80m según los datos obtenidos en el Geófono Superficial ubicado en los distintos puntos de la fractura.

- **Puerto Coloso Proyecto EWS Minera Escondida – Chile**

**Obra:** Puerto Coloso Proyecto EWS.

**Descripción:** Fractura de roca en diseño especial para ubicación de Planta de Desanilizadora de Agua de Mar.

1. Sin detención de Planta Coloso.
2. Sin evacuación de personal.
3. Sin corte de tránsito para los accesos de la Planta Coloso.
4. Bajas vibraciones para las instalaciones existentes (planta desalinizadora, planta de energía eléctrica, etc, todas en operación)

### **INFORMACIÓN DE DISEÑO**

- Longitud de perforación (m) = de 2 a 6
- Malla (B x S) (m) = 1,5 x 1,5
- Diámetro (pulg.) = 3 ”

- **Puerto Coloso Base Espesador Minera Escondida – Chile**

**Obra:** Puerto Coloso Base Espesador.

**Descripción:** Fractura de roca en diseño especial para ubicación de nuevo espesador dentro de la Planta de Coloso.

1. Fractura realizadas sin evacuación de personal y sin detener la operación de la Planta.
2. Mínimo rango de vibraciones por cercanía de espesador en operación.

### **INFORMACIÓN DE DISEÑO**

- Longitud de perforación (m) = de 3 a 5
- Malla (B x S) (m) = 1,5 x 1,2
- Diámetro (pulg.) = 3 ”

- **Piscinas de Óxido Minera Escondida – Chile**

**Obra:** Piscinas de Óxido.

**Descripción:** Fractura de roca para construcción de nueva piscinas de óxidos.

20.000 m<sup>3</sup> fracturados de roca con bajas vibraciones para evitar grietas en piscinas en funcionamiento, manteniendo la operacionalidad de estas.

### **INFORMACIÓN DE DISEÑO**

- Longitud de perforación (m) = de 3 a 9
- Malla (B x S) (m) = 2 x 2
- Diámetro (pulg.) = 3 ½”

- **Mina Collahuasi – Chile**

**Obra:** Mina Collahuasi.

**Descripción:** Planta Molienda, Fractura sector de la Nave de Molienda bajo el staker o correa transportadora móvil; la nave de molienda de la concentradora se encuentra a 23.7m de la fractura y a una distancia a líneas eléctricas de alta tensión de 6.87m.

### **INFORMACIÓN DE DISEÑO**

- Longitud de perforación (m) = de 2 a 7,6
- Malla (B x S) (m) = 2 x 2
- Diámetro (pulg.) = 5 ½”

- **Quebrada Blanca Compañía Minera TECK – Chile**

**Obra:** Quebrada Blanca.

**Descripción:** Trabajo de fractura expansión del rajo.

### **INFORMACIÓN DE DISEÑO**

➤ Longitud de perforación (m) = 15

➤ Malla (B x S) (m) = 3.5 x 3.5

➤ Diámetro (pulg.) = 6 3/4"

- **Obras Civiles y Rajo Mina Los Bronces – Chile**

**Obra:** Los Bronces.

**Descripción:** Trabajo de fractura expansión de la Fase 5, sector que colinda con la propiedad minera de Div. Andina.

#### **INFORMACIÓN DE DISEÑO**

➤ Longitud de perforación (m) = 15

➤ Malla (B x S) (m) = 4.0 x 4.0

➤ Diámetro (pulg.) = 7 7/8"

- **Obras Civiles y Rajo Mina El Soldado – Chile**

**Obra:** El Soldado

**Descripción:** Fractura de roca en rajo, fases superpuestas, reducción secundaria.

#### **INFORMACIÓN DE DISEÑO:**

➤ Longitud de perforación (m) = 10

➤ Malla (B x S) (m) = 2.0 x 2.0

➤ Diámetro (pulg.) = 6 1/2"

### 2.1.2. Nacionales

- **Cumpa Flores (2016)** en el trabajo de investigación denominado: Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú, estudió el efecto de las cámaras de aire en taladros de producción, para mejorar la fragmentación del material y reducir el nivel de vibraciones por voladura en minería a tajo abierto en el Norte del Perú, la cual se inició con la revisión bibliográfica de uso de cámaras de aire en voladura y se definió la zona de pruebas para la aplicación de cámaras de aire en función del mapeo geo mecánico y del tipo roca (Roca tipo II con RMR de 61 a 81). Se realizaron cinco experimentos utilizando un diseño de voladura computarizado (JK SimBlast 2.0) y se definió la secuencia de salida para la voladura con cámara de aire de cada proyecto.

Previo a los experimentos de voladura, se realizó la instalación de equipos de medición de vibraciones (Sismógrafo Instantel) para tomar datos durante los experimentos, y posterior a las experiencias, se realizó la distribución granulométrica (Software Wipfrag 2.3).

Los experimentos demostraron que el uso de cámaras de aire en la columna explosiva presenta efectos positivos en la distribución granulométrica p80 y reduce las vibraciones hasta un 58.30 % frente a la voladura convencional que no utiliza cámaras de aire. Adicionalmente el uso de cámaras de aire presenta otros beneficios como la reducción de los fly rock, incremento de la eficiencia en las etapas posteriores, etc.

Las conclusiones del estudio fueron:

En referencia al objetivo específico 1, el disparo con Taponex obtuvo entre 20.83 a 24.96 % de mejoras en la fragmentación del material para las mallas entre P20 a P80; por lo tanto se concluye que existe un efecto del uso de la cámara de aire sobre la fragmentación del material.

Se verifica que el valor del P-Value = 0.040 es menor a  $\alpha=0.05$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ .

Por lo tanto se concluye que con un  $\alpha=0.05$ , la fragmentación promedio con disparos en taladro de producción con Taponex es menor a la fragmentación promedio con disparos en taladro de producción normal (pulgadas).

En referencia al objetivo específico 2, el disparo con el uso de cámaras de aire en la columna explosiva reduce las vibraciones hasta un 58.30 % frente a la voladura convencional que no utiliza cámaras de aire; por lo tanto se concluye que existe un efecto del uso de la cámara de aire en la reducción de las vibraciones. Esta importante reducción de las vibraciones es fundamental porque evita la percepción de las comunidades aledañas sobre el daño de sus viviendas.

Se verifica que el valor del P-Value = 0.037 es menor a  $\alpha=0.05$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ .

Por lo tanto se concluye que con un  $\alpha=0.05$ , las Vibraciones promedio con disparos en taladro de producción con Taponex es menor a las Vibraciones promedio con disparos en taladro de producción normal (mm/s).

En referencia al objetivo específico 3, se determina que con el uso de cámaras de aire (Taponex) se reduce la fragmentación en un promedio de 23.31% y la vibración en un promedio de 37.09%.

- **Orihuela Castillo & Dapello Vizcarra (2009)** en el estudio denominado: Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una mina modelo, explica que el objetivo principal del proyecto es hallar un modelo del alcance de las ondas vibratorias, producto de una voladura, para un terreno determinado, mediante datos reales obtenidos de los diferentes ensayos realizados. De la misma manera, se complementará realizando una comparación entre los cálculos efectuados con la data real y los resultados teóricos.

Lo que se busca principalmente es hallar un modelo mediante ensayos reales (disparo de cargas y medición de vibraciones) que pueda ayudarnos a obtener la ley de la transmisividad de un terreno específico, que viene a ser el nivel de vibración recibida en un punto y expresado como valor de velocidad de vibración, para así poder predecir los niveles de vibraciones con el objeto de poder delimitarlas y garantizar que no se alcanzará en ningún caso, los límites permisibles establecidos por la legislación que se rija en el momento.

Las conclusiones del estudio son las siguientes:

Los valores de VPP obtenidos en las pruebas bajo las características y condiciones de la mina modelo arrojaron como resultados  $k = 1834$  y  $b = 1.74$ ; los cuales son cercanos a los obtenidos por las fórmulas teóricas Australianas analizadas, observándose mayor correlación con el modelo donde el parámetro  $K=1140$ , que es cuando se trabaja en una roca con dureza promedio y con una cara libre (RMR\* entre 41 – 60, Clasificación de roca: III).

Una vez creado el modelo predictivo de la mina modelo, se corroboró su afinidad comparando los valores de las variables “K” y “b” con los del modelo teórico Australiano mencionado desde el inicio del presente trabajo; indicando que la utilización de este último puede aplicarse en el momento de obtener resultados base o con una aproximación a la realidad. Sin embargo, como se ha venido mencionando a lo largo de este proyecto, con la idea de minimizar los efectos negativos generados por una voladura, la industria minera necesita modelos predictivos diseñados en base a data real, considerando sus condiciones específicas como lo son la geología, topografía, parámetros de voladura, climas,

El modelo diseñado permite predecir cualquiera de las siguientes variables en cuestión: distancia (D), carga (Q) y VPP; conociendo dos de ellas y basándose en el comportamiento de las ondas vibratorias generadas por una voladura en la mina modelo.

No se debe dejar de mencionar que si bien es cierto que el valor de la frecuencia es un parámetro importante en la evaluación de la capacidad de daño de las vibraciones producto de una voladura; los efectos negativos considerables se dan con frecuencias bajas, y dado que se comprobó que todas las VPP se dieron con frecuencias altas, se decidió no considerar dicho parámetro en el diseño del modelo.

Basándonos en el modelo diseñado se puede concluir que toda prueba de voladura realizada en la mina modelo no generará vibraciones mayores al límite establecido por el Bureau of Mines (50.8 mm/s) y por ende no significarán una amenaza a las estructuras que se encuentran a su alrededor.

Además de las variables básicas, Q, D y VPP, tenemos otras como la geología, topografía, parámetros de voladura, etc; las cuales están representadas en las constantes “K” y “b”. Sin embargo, a pesar de incluir la mayor cantidad de parámetros que influyen en el comportamiento de las ondas vibratorias, el diseñar un modelo en base a información histórica solo minimizará el factor error existente en la predicción, más no lo eliminará en un 100%; por lo que es fundamental ser conscientes de esto y trabajar con rangos de variabilidad.

- **Zapata Porras (2012)** en el estudio: Análisis de las vibraciones generadas por voladuras para la adecuada selección de explosivos en explotaciones mineras subterráneas en la Compañía de Minas Caudalosa S.A. explica como se viene realizando las operaciones de voladura,

técnica muy usada, la razón fundamental es que esta técnica continua siendo la más barata y la que permite obtener mayores producciones de material arrancado, superiores a cualquier medio de arranque mecánico alternativo. Uno de los principales inconvenientes de su utilización es que, como consecuencia directa, se produce la generación de vibraciones en el medio circundante además de otros problemas medioambientales como ruido, onda aérea, polvo y/o proyecciones. La energía de los explosivos desde hace mucho es utilizada para cumplir diferentes tipos de trabajo, su objetivo principal en minería es quebrar la roca, sin embargo, podemos observar, que la energía no es utilizada en su totalidad en el momento de realizar su trabajo, como resultado, parte de esta energía será liberada en forma de vibraciones. El estudio está orientada básicamente a dos aspectos muy importantes: el primero, la elección del explosivo adecuado para la realización de un trabajo determinado minimizando el daño al macizo rocoso remanente y el segundo, determinar la cantidad máxima de explosivo permitido por retardo. Ambos trabajos se realizan utilizando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones. Mediante el monitoreo de vibraciones se puede obtener diversos datos, entre los cuales se tiene las velocidades pico partícula en las tres direcciones para poder realizar una base de datos, modelar, analizar y evaluar el daño potencial que una voladura puede producir.

Las conclusiones del estudio son:

A pesar del menor costo por caja de las Emulsiones (US\$ 52.34) en comparación con las Dinamitas (US\$ 56.75), al obtener el costo de cada cartucho, encontramos que la dinamita es más barata (US\$ 0.18/cartucho) en comparación con la emulsión que es de US\$ 0.23/cartucho), esto es debido al número de cartuchos que viene por caja. Además en ambos casos se carga con la misma cantidad de cartuchos por taladro lo que hace que el costo por tajeo sea mayor con emulsión.

En los frentes se desechó el uso de emulsiones al 100% debido a los resultados obtenidos con las emulsiones (caída de rocas y sobre excavación, lo que origina un costo adicional).

En las pruebas realizadas se encontró que los factores de carga son menores con el empleo de dinamitas que con el uso de emulsiones a pesar de haber reducido el número de taladros cargados, esto se da debido a la diferencia de densidades que hay entre uno y otro explosivo.

El adecuado empleo del Monitoreo de Vibraciones producidas por las voladuras, es una técnica que provee múltiples ventajas en términos de poder examinar en detalle el proceso de la voladura, constituyéndose en una muy buena herramienta para el diagnóstico, que permite determinar el grado de interacción entre las variables de una voladura (secuencia de encendido incorrecta; dispersión en los tiempos de encendido de los retardos; detonación deficiente de cargas; detonaciones instantáneas; detonación de cargas adyacentes por simpatía).

Los altos niveles de vibración pueden dañar la roca, produciendo fracturas nuevas o extendiendo y dilatando fracturas existentes. La vibración en este contexto, puede ser considerada como un esfuerzo o deformación del macizo rocoso. Se muestra también en este trabajo un conjunto de datos representativos de diferentes tipos de rocas y los valores calculados para la Velocidad de Partícula Crítica ( $V_{ppc}$ ).

- Villena Alegre (2013) en el estudio: Modelo matemático para predecir el lanzamiento de fragmentos de roca en minería superficial, describe el lanzamiento de fragmentos de roca inducidos por la voladura, desde la zona del disparo y los factores que afectan la distancia de lanzamiento.

Los principales factores tales como: La velocidad inicial ( $V_i$ ) de los fragmentos de roca y el ángulo que forma la trayectoria del lanzamiento con la horizontal son muy bien enfatizados. El rango de las velocidades iniciales que son asociadas con los accidentes y daños producidos tanto al personal como a las estructuras y equipo deben ser evitados. También, se menciona que un diseño adecuado del disparo es fundamental para evitar el excesivo lanzamiento de fragmentos de roca inducidos por la voladura.

Las conclusiones del estudio son:

La velocidad inicial ( $V_i$ ) y el ángulo formado con la horizontal ( $\emptyset$ ) son los parámetros principales que gobiernan el excesivo lanzamientos de los fragmentos de roca inducidos por la voladura.

El ángulo que induce un lanzamiento máximo de los fragmentos de roca es  $45^\circ$ , y se debe suponer que algunos fragmentos de roca periódicamente alcanzaran este ángulo.

El macizo rocoso es material no homogéneo que siempre será afectado por las estructuras geológicas. Por lo tanto, será muy difícil calcular las velocidades iniciales exactas ( $v_i$ ) en cualquier macizo rocoso. La mayoría de los problemas provocados por el excesivo lanzamiento de los fragmentos de roca están relacionados con proyecciones con velocidades iniciales en un rango de: 30.5 m/seg. a 61 m/seg. Sin embargo, se ha reportado fragmentos de roca con velocidades iniciales ( $V_i$ ) en exceso de 91.5 m/seg.

Se debe mencionar que las principales causas del excesivo lanzamiento de los fragmentos de roca inducidos por la voladura son: Burden y espaciamiento ( $B \times S$ ), el burden de la primera fila de los taladros, las condiciones geológicas del área del disparo, la altura de taco, la exactitud en la perforación, el sobre fracturamiento y las rocas sueltas en la parte superior del banco, el material usado para el taco, excesiva concentración de la mezcla explosiva comercial, las inadecuadas prácticas de carguío de los taladros, la exactitud de los retardos, las conexiones y la secuencia de salida, así como también las condiciones geológicas adversas que no han sido detectadas a tiempo, etc.

## **2.2. BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS**

El presente proyecto de EVALUACIÓN DE VIBRACIONES EN VOLADURA CON PLASMA PARA REDUCIR LA PROYECCIÓN DE ROCAS (FLY ROCK) EN EL TAJO ABIERTO DE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A., consiste en un trabajo descriptivo y en realizar una evaluación de vibraciones producidas por voladura con plasma y así poder establecer un control de proyección de rocas (fly rock) para reducir daños a las instalaciones de la mina y a las viviendas aledañas al tajo abierto.

El proceso de ionización puede dar origen a una onda de choque. Esta onda de choque va transfiriendo energía de manera muy rápida a su medio circundante. Mientras más rápida es la transferencia de la energía, mayor es la potencia del proceso. Este mecanismo puede ser usado para fragmentar rocas. En este caso, el gas es reemplazado por un medio líquido, un electrolito.

Se introduce en la roca un cartucho que contiene el electrolito y los electrodos. Al conectar estos electrodos a un generador de potencia pulsada (un banco de condensadores) se produce la ruptura dieléctrica del electrolito, generando un plasma y una onda de choque en un medio incompresible. Esta fuerza expansiva es el inicio de un proceso de propagación de fracturas dentro de la roca, que finalmente culmina con la roca fragmentada.

Su exclusiva mezcla de sales metálicas genera exotérmicamente una gran cantidad de energía que trabaja consiguiendo un elevado volumen de gas contenido, ínfima sonoridad y vibración, así como una escasa proyección de material del medio en el que se encuentra confinado.

## **Proceso**

El proceso comienza con una perforación en el material a fragmentar, de acuerdo con una planificación previa, en donde se introduce la cápsula de Plasma para retacarla posteriormente de forma adecuada.

Al aplicarle un impulso eléctrico desde el exterior al iniciador eléctrico que incorpora la cápsula se provoca una reacción termoquímica que produce elevada temperatura y una gran cantidad de gas inocuo cuya energía expansiva, debida a las presiones ocasionadas, conseguirá la fragmentación de la roca al instante sin ocasionar proyección, desplazamiento, ruido ni vibración ostensible.

Cuando el espacio donde se realiza la expansión se abre debido a la fractura ocasionada la energía expansiva se reduce abruptamente.

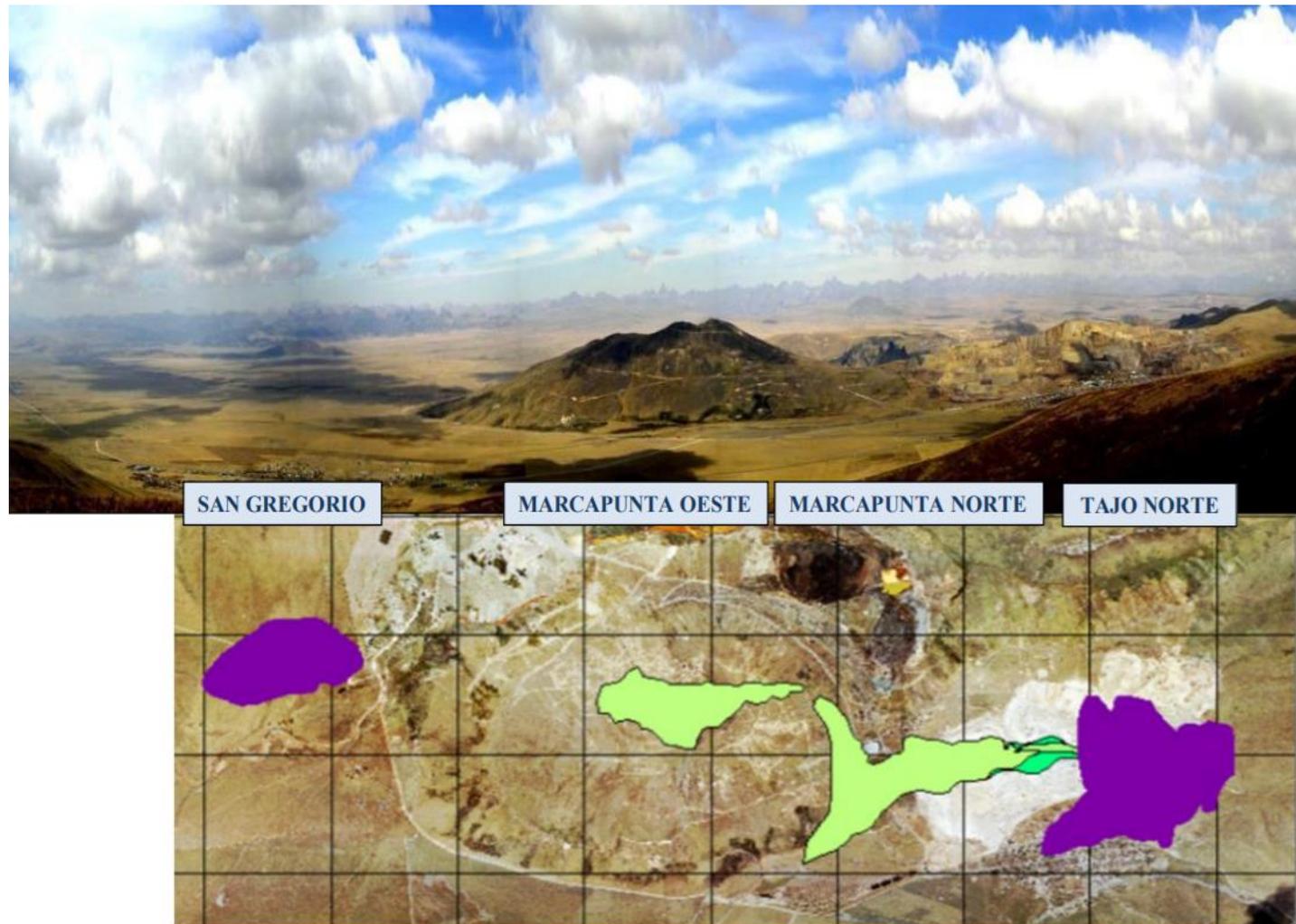
Esta tecnología es ideal para emplearla desde obras civiles hasta trabajos en minería, como trabajos urbanos y agrícolas de fragmentación de roca y en hormigón armado, así como en construcción de carreteras, de vías férreas, en el sector de la construcción, demolición de edificios, puentes, silos, fracturas de rocas, avance en túneles, apertura de zanjas, en obras submarinas, etc

Por consiguiente, se ha basado, principalmente, en salvaguardar los daños ocasionados a las instalaciones y viviendas aledañas al tajo abierto.

Por esta razón la empresa ha visto por conveniente mejorar todo el proceso de voladura, el mismo que deberá controlar la proyección de rocas.

### **2.2.1. Geología del Tajo**

*Figura N° 3: Rasgos estructurales de mayor importancia en Sociedad Minera El Brocal*



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*

Los rasgos estructurales de mayor importancia en el área son la Falla Longitudinal y la Falla del Río San Juan – Venenococha, siendo la primera una estructura antigua con dirección N – S, que controló por el movimiento de la falla, los depósitos de los sedimentos del Triásico (Era Mesozoica), constituidos por calizas, margas, dolomitas pertenecientes a la Formación Chambará depositados al W y E de la falla. Al Este de la falla longitudinal existen pequeñas estructuras, donde las secuencias sedimentarias delgadas descansan sobre esquistos, presentándose como anticlinales domicos alargados. Al Oeste de la falla regional se observan anticlinales y sinclinales apretados. En el área del Tajo Norte – La Llave están presentes los flancos: Principal – Mercedes – Chocayo – La Llave – La Pampa.

- Eje del sinclinal Principal – Mercedes: N 12° W
- Eje del anticlinal Mercedes – Chocayo: N 20° W
- Eje del sinclinal Chocayo – La Llave: N 32° W
- Eje del anticlinal La Llave – Pampa: N 39° W

En las inmediaciones de la mina Colquijirca afloran rocas de los períodos Devónico hasta el Terciario. El grupo Excelsior del Devónico está expuesto en un valle anticlinal entre los cerros Condorcayán y Vista Alegre. Esta formación está compuesta por pizarras, filitas y cuarcitas que muestran un rumbo NNW y un buzamiento casi vertical. La formación Excelsior es seguida, luego de una marcada discordancia angular, por la formación Mitu del Permiano, representada en el área de Colquijirca por areniscas y lutitas rojas y conglomerados con alto contenido de fragmentos de cuarzo lechoso. El Grupo Mitu, al oeste del Cerro Colquijirca se encuentra infrayaciendo al

Grupo Pucará. Existe una leve discordancia angular entre los sedimentos molásicos del Mitu y los carbonatos del Grupo Pucará. Inmediatamente al oeste del tajo, las areniscas del Grupo Mitu, están cubiertas por el conglomerado Shuco, compuesto por pequeños fragmentos redondeados de calizas negras del grupo Pucará. En el área del tajo aflora la formación Calera del período Terciario (Eoceno), conformada por dolomías varvadas y calizas lacustrinas en la parte superior y media; y areniscas, lutitas y tobas rojas en la parte inferior. La mineralización de los tajos se encuentra emplazada en las calizas de la parte superior y media de la formación Calera. La formación Calera es intruida hacia el sur con el complejo volcánico Marcapunta; el cual incluye domos dacíticos, brechas y piroclastos. Su edad ha sido determinada en 11.5 más menos 0.4 millones de años y está caracterizada por presentar una fuerte alteración hidrotermal que ha afectado también las partes adyacentes de la Formación Caldera. El área de Huachuacaja, es un valle de origen glacial y se caracteriza por su fondo amplio, suave inclinación y flancos asimétricos. Está modelado en rocas sedimentarias y volcánicas, que fueron posteriormente tapizadas por depósitos glaciales y lacustres.

#### ***2.2.1.1. Geología local***

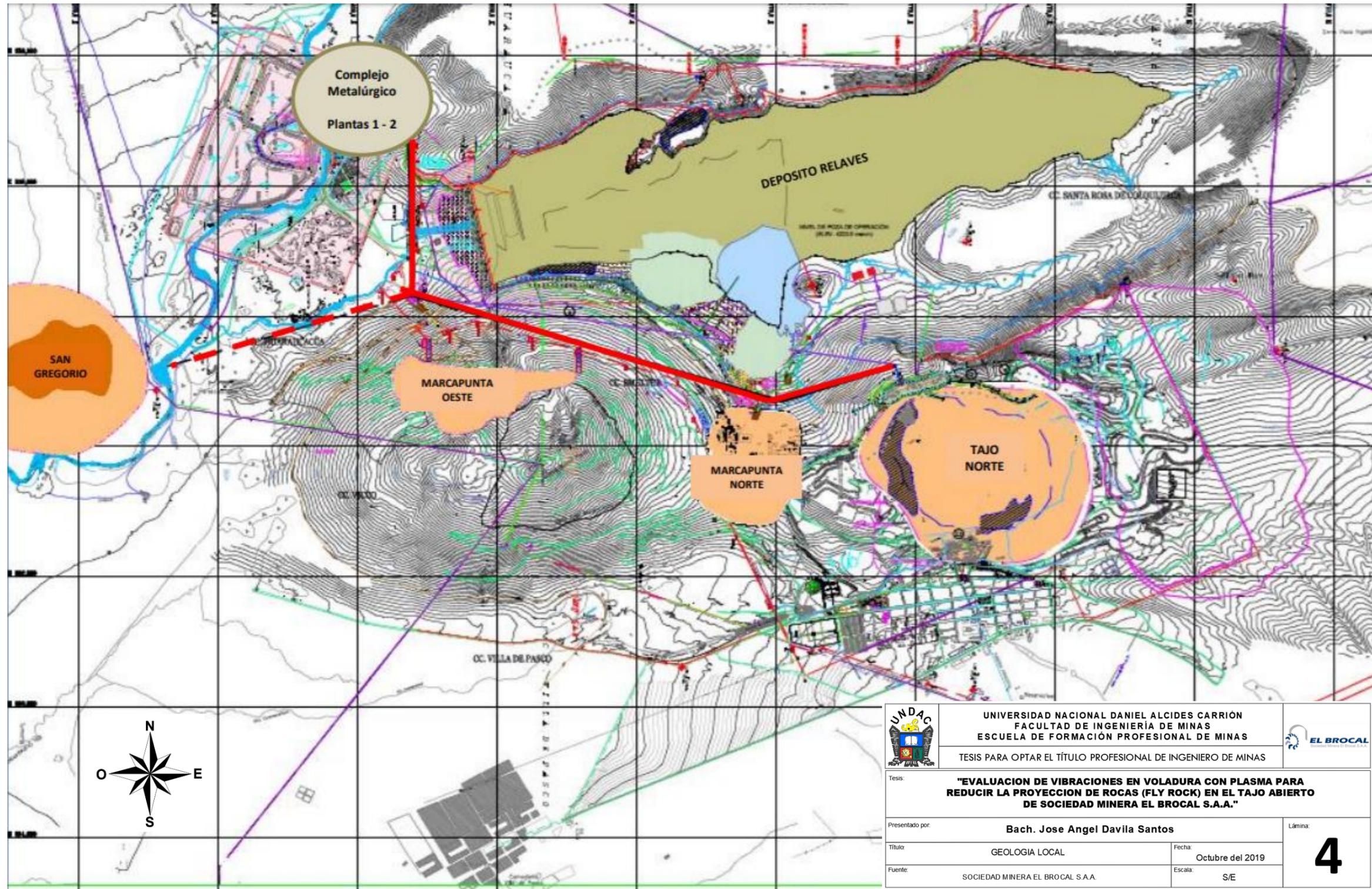


Lámina N° 4: Geología local de Sociedad Minera El Brocal

Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Entre los sectores de Tajo Norte – Smelter – Marcapunta Norte el área está fuertemente plegada apreciándose sinclinales y anticlinales asimétricos sub paralelos con orientación NS. Las secuencias sedimentarias del área de estudio pertenecen principalmente a la Formación Calera, de edad Terciario Inferior - Eoceno, con un espesor de 225 m, constituida principalmente por caliza gris y beige, calizas margosas beige, dolomías y dolomías varvadas, intercaladas con horizontes arcilíticos y tobáceos retrabajados, evidenciando una actividad volcánica contemporánea a la sedimentación de la formación Calera.

Así también está presente la Formación Shuco, donde se aprecia secuencias alternadas de conglomerados calcáreos y vulcanoclastos (principalmente en Marcapunta Norte). Ambas formaciones de rocas sedimentaria se encuentran intruidas por un Domo-diatrema dacítico. Se aprecian contenido de mineral económico en paquetes de Dolomía. Así mismo en la zona SE del Tajo aflora el Intrusivo Marcapunta Norte con poca extensión.

Se han generado alteraciones muy intensas por los fluidos hidrotermales, en las rocas carbonatadas de la Formación Calera. Se pueden observar silicificación, argilización, dolomitización y descarbonatización, en diferentes lugares y en diferente intensidad. Como alteración supérgena está la oxidación.

La Formación Calera que es la que aloja la mayor mineralización ha sido dividida en Miembro Inferior, Medio y Superior, los cuales son descritos a continuación:

**a) Miembro Inferior (Ti-ca-mi).** Una columna modelo indica hacia el piso sedimentos detríticos, paquetes gruesos y delgados de conglomerados de guijarros Pucara, de matriz calcárea intercalados con niveles de tobas riolíticas, continua con una secuencia de sedimentos vulcano sedimentarios con clastos líticos de diferente granulometría englobada en una matriz calcárea, hacia el techo, finaliza con un secuencia de calizas varvadas mudstone grises con poca influencia piroclástica. Esta unidad suprayace concordante y progresivamente a la Formación Shuco y en algunos lugares no se distingue su separación, aflora a lo largo de Marcapunta Norte y Colquijirca. Presenta una potencia aproximada entre 64 y 80 m.

**b) Miembro Medio (Ti-ca-mc).** Este miembro alberga la mineralización de Colquijirca en sus tres horizontes: Horizonte Superior, Horizonte Medio y Horizonte Inferior. Se compone esencialmente por rocas carbonatadas como las dolomías de tonalidades cremas, pardos y beige, con intercalaciones delgadas y nódulos de chert y en menor grado calizas y margas, y rocas silíceas representadas por chert. En menor proporción se presentan intercalaciones de estratos delgados de limoarcillita y tobas. En los tres horizontes antes mencionados se presenta en los tramos mineralizados un avanzado proceso de descarbonatización, como producto del proceso de circulación de fluidos mineralizantes altamente ácidos. Presenta un espesor que varía entre 106 m (Tajo Principal) a 55 m (la Calera).

c) **Miembro superior (Ti-ca-ms)**. Está compuesto por una sucesión de calizas y margas grises con un nivel potente de toba gris, tramos delgados de limoarcillas y arcilitas. Los horizontes calcáreos, son masivos, de colores grises y pardos, de texturas, mudstone y wackestone con microestructuras de presión (estilolitos), los horizontes margosos y limoarcilíticos son de colores grises de diversas tonalidades, y se intercalan como estratos delgados. En el sector de Colquijirca no se observa el techo de dicho horizonte por lo cual se aproxima una potencia de 44 m.

#### ***2.2.1.2. Geología Regional***

El área está compuesta por materiales que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. Siguiendo desde la capa más antigua hasta la más reciente se tienen: Grupo Excelsior, Grupo Mitu, Grupo Pucará (Formación Chambará), Grupo Pocobamba (Formación Cacuan, Formación Shuco y Formación Calera), intrusiones volcánicas y materiales cuaternarios. Las formaciones rocosas sedimentarias presentan una alineación N-S, las cuales se encuentran plegadas formando anticlinales y sinclinales que tienen un lineamiento N-S y que se encuentran erosionadas dejando expuestas las distintas capas sedimentarias. Las rocas de la Formación de Chambará (Triásico Superior) compuesta por calizas grises y del Grupo Pocobamba (Paleógeno – Eoceno Superior) compuesta por dolomías, calizas,

brechas monomicticas y areniscas, se extienden ampliamente por la región.

En el área tuvo lugar la Orogenia Andina la cual genero un fuerte plegamiento de las capas sedimentarias.

Se tiene lineamientos generales de fallas y fracturamiento NW-SE, NE-SW y NS.

## **ESTRATIGRAFÍA**

### **Sedimentarios**

**Grupo Excelsior (SD – e).** Designado con este nombre por Mc Laughlin, D.H. (1925). Sus mejores afloramientos se presentan en Cerro de Pasco, en dirección N a S, limitados desde el cerro Uchuccocora hasta Smelter (Tinyahuarco). Constituida por pizarras y filitas intercaladas con cuarcitas de grano fino y algunas capas de calizas, con una coloración gris a gris verdoso. Corresponde a la edad Devónica del Paleozoico Inferior.

**Grupo Mitu (Ps – m).** Aflora al Oeste de los Depósitos de Marcapunta Norte y Colquijirca. En la zona de Colquijirca se reconocen dos unidades: Inferior y Superior. La Inferior, está representada por una secuencia conglomerádica integrada por clastos redondeados a subangulosos de cuarcita, de una tonalidad de gris oscuro a gris brumáceo, con intercalaciones de sedimentos finos en el tope de la secuencia. La unidad Superior está constituida por areniscas, limonitas y lutitas rojas con lentes de conglomerados. Se

le asigna al Grupo Mitu edad Pérmico Superior que sobreyace al Grupo Excélsior en discordancia angular o erosional.

**Grupo Pucará (TrJ – pu).** Se han diferenciado dos facies en este grupo, separadas por la Falla Longitudinal. La primera face es denominada Grupo Pucará Occidental indivisa, que se inicia con una discordancia angular sobre el Grupo Mitu, presentando una brecha basal con clastos filita y cuarzo de color gris verdoso al inicio, seguido por dolomías con chert y delgados niveles de cineritas. En el anticlinal Bohórquez y en el área Yanque María afloran calizas y brechas calcáreas. La segunda facie denominada Pucará Oriental, al Este de la Falla Longitudinal, es dividida litoestratigráficamente como Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga. En el área está presente la Formación Chambará (Tr-ch), conformada por una secuencia de calizas relativamente monótonas, de color gris con sílex, e intercalación de niveles de margas y calizas dolomíticas. Sobreyace al grupo Mitu.

**Grupo Pocobamba (Ti-po).** En la zona de estudio no se observa secuencias estratigráficas pertenecientes al Cretáceo, por consiguiente, el Terciario está representado por el Grupo Pocobamba conformado por los Miembros Cacuán, Shuco y Calera.

**Formación Cacuán.** Los afloramientos consisten en secuencias granocrecientes, consistente de argilitas limosas y limonitas rojas seguidas por areniscas de grano fino a medio y conglomerados de

origen fluvial. Descansa sobre el Pucará Occidental. Su mejor exposición la tenemos en el Sinclinal Cacuan.

**Formación Shuco.** Se caracteriza por constituir una secuencia de brechas sedimentarias y conglomerados calcáreos, la brecha es monomictica. En los niveles inferiores se evidencian secuencias finas vulcanoclasticas. Son esencialmente depósitos aluviales, donde la composición, calibre y morfometría están controlados entre otros parámetros, por la distancia e importancia de los relieves alimentadores. Aflora en discordancia erosional sobre el Grupo Mitu en el sector oeste de Colquijirca. Así también, mediante sondajes diamantinos se ha evidenciado suprayaciendo en discordancia erosional al Grupo Mitu en los sectores de Marcapunta Norte y Smelter.

**Formación Calera.** Son depósitos de composición mixta carbonatada, detrítica y piroclástica, de una considerable fracción de material volcánico, con alternancia de conglomerados, margas, calizas, dolomías, chert, en un ambiente lagunar. Esta unidad constituye la roca huésped para la mineralización en Colquijirca, Marca Punta Norte y Oeste. **Complejo volcánico Marcapunta.** Está emplazada en el centro del distrito minero de Colquijirca, conformado por múltiples intrusiones (domos-lava) de composición dacítica y escasamente andesítica (representan menos del 5% en volumen del complejo volcánico, Noble 1993), asociados a varios eventos de brechas de explosión freatomagmáticas, brechas

diatrema y diques sub volcánicos. En el sector de Marcapunta Norte, se ha reconocido depósitos piroclásticos de diferente granulometría, los cuales cubren los diferentes eventos que forman lacolito sobre un diatrema central de aproximadamente 650 m de diámetro que recubren secuencias sedimentarias del Grupo Pocobamba y Mitu

**Dacitas.** Presentan una textura porfirítica, conformada por 40-45 % de fenocristales de feldespatos potásicos (sanidina) que pueden alcanzar hasta 10 cm de tamaño. Las andesitas presentan una textura porfirítica a afanítica gris con predominancia de fenocristales alargados subhedrales de plagioclasas y menor presencia de feldespatos potásicos.

**Piroclastos.** Relacionados a una fase eruptiva; se trata de flujos piroclásticos y erupciones que representan un 20% en volumen del complejo volcánico, Hacia el sector norte del complejo (Marcapunta Norte), sondajes diamantinos interceptaron un bloque importante de tufo-llapilli de hasta 200 m de profundidad, los cuales consisten de clastos sub redondeados y heterométricos de dacita porfirítica en una matriz de ceniza clasificada de feldespatos y piroxeno, y fragmentos líticos afaníticos.

**Andesitas.** Cuerpo sub volcánico, que aflora hacia la parte Este del yacimiento Marcapunta Norte, intruyendo las secuencias sedimentarias Eocénicas (Grupo Pocobamba) y por relaciones de

corte, emplazada probablemente posterior del evento de mineralización del distrito de Colquijirca.

**Intrusivo Marcapunta Norte.** Cuerpo sub volcánico de composición probablemente andesítica, con escaso feldespató potásico y escasos minerales máficos, en una matriz afanítica moderadamente alterada (argilizada). Se ubica hacia el sector Este de Marcapunta Norte e intruye las secuencias terciarias, completamente estéril.

**Cuaternario.** Depósitos coluviales, aluviales, lacustres y fluvioglaciares, caracterizado por gravas, arenas, limos en una matriz arcillosa producto de la intensa erosión que se encuentra sometida la zona.

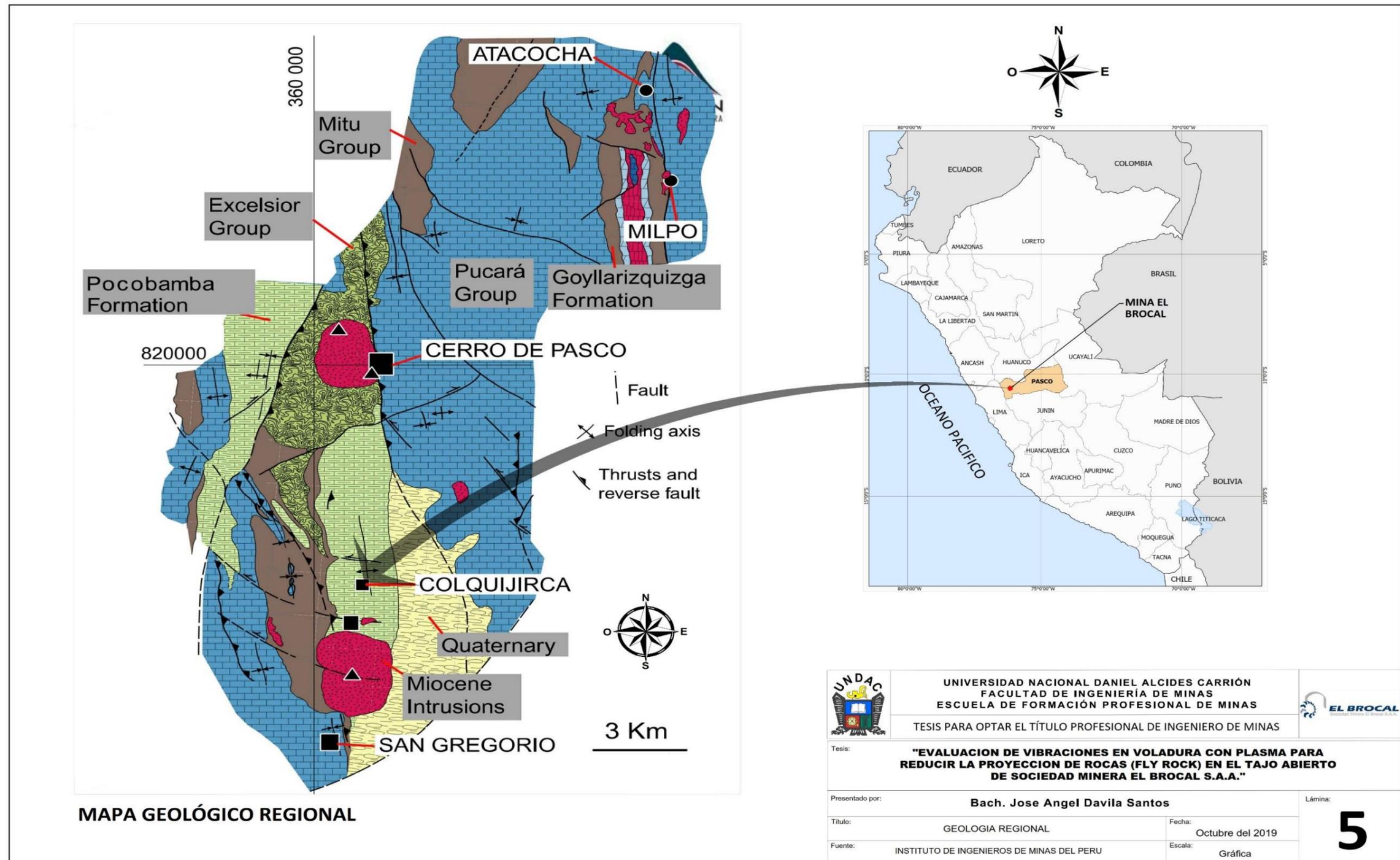


Lámina N° 5: Mapa Geológico Regional

Fuente: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú

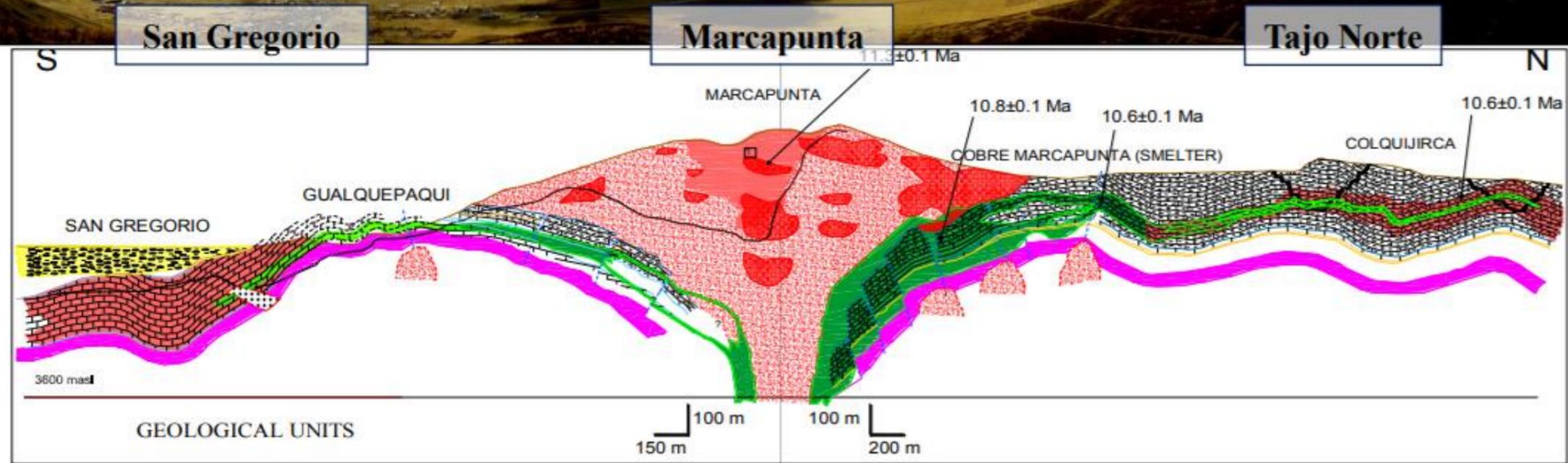
### ***2.2.1.3. Geología Estructural***

La zona ha sido fuertemente tectonizada observándose un intenso plegamiento de las capas sedimentarias, dando lugar a la formación de anticlinales y sinclinales, los que presentan rumbo de eje de plegamiento promedio  $N20^{\circ}-25^{\circ}W$  y que como consecuencia de las fallas presentes han sufrido desplazamientos verticales, horizontales con dirección NE y SW y combinación de los desplazamientos mencionados. Esto se aprecia en la paredes N, NE y E del Tajo, las que son cruzadas por 2 anticlinales y 2 sinclinales, donde los estratos sedimentarios tienen buzamientos en dirección NE y SW, con valores promedio que varían de  $37^{\circ}$  a  $78^{\circ}$  (NE) y  $24^{\circ}$  a  $57^{\circ}$  (SW) respectivamente.

La pared SW y zona S del Tajo Norte actual forman parte del flanco W de un sinclinal (Flanco Principal), donde los estratos sedimentarios muestran una dirección de buzamiento promedio NE-E, decreciendo el valor de buzamiento de W a E de  $45^{\circ}$  a  $12^{\circ}$ .

Se tiene lineamientos generales de fallas NW-SE, NE-SW y NS con buzamientos subverticales varios de ellos. Se han reconocido también sistemas de fracturamiento  $N20^{\circ}-50^{\circ}W/85^{\circ}NE$  y  $N50^{\circ}-60^{\circ}E/85^{\circ}NW$ .

### ***2.2.1.4. Geología Económica***



**San Gregorio**  
 Recursos: 83.8 MM - 5.77% Zn

**Marcapunta Oeste**  
 Recursos: 75.7 MM - 1.25% Cu

**Marcapunta Norte**  
 Recursos: 51.2 MM - 1.71% Cu  
 Reservas; 18.2 MM - 1.99% Cu

**Tajo Norte**  
 Recursos: 19.6 MM - 1.83% Zn  
 Reservas: 57.4 MM - 2.40% Zn

*Lámina N° 6: Geología Económica de Sociedad Minera El Brocal*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*

La mineralización se da principalmente en la Formación Calera y la Formación Shuco. El yacimiento es mixto, Cordillerano – Epitermal de Alta Sulfuración. Estudios realizados a los testigos de perforación diamantina, han definido tres tipos de mineralización: Tipo I, Tipo II y Tipo III.

- Tipo IA, se caracteriza por su alto contenido en cobre, plata y bismuto, en la zona central. Mineralógicamente presenta zonas de cuarzo-pirita, y zonas de enargita, extendido principalmente en el sector de Marcapunta Norte y en menor proporción en el sector de Smelter, se caracteriza por la abundancia de sílice-pirita. Llegando a observar valores mayores a 3 % Cu, con valores anómalos de Au < 0.1 gr/t.
- Tipo IB, presenta contenidos de cobre y se caracteriza por zonas de calcopirita y bornita, observados en la parte norte de Smelter y en el Tajo Norte, esencialmente en el flanco principal, la calcopirita se encuentra bordeando a la bornita o a la enargita, y la bornita se encuentra bordeando a la enargita, asociado a zona de óxidos con presencia de calcosita en fracturas y bordeando a la calcopirita.
- Tipo II, representa a la zona de transición, caracterizada por alto contenido de cobre, plata, bismuto, zinc y plomo, siendo una zona muy compleja, caracterizado por zonas intermedia o mixta, se presenta esencialmente en el sector de Smelter, y hacia el

sector sur del Tajo Norte, esencialmente en el flanco principal. La mineralogía de la zona mixta consiste en calcopirita, esfalerita, galena y menos frecuente cristales de tenantita y/o sulfosales de Ag y Bi y pirita. Así también se ha observado dickita, caolinita, baritina, cuarzo, fluorita.

- Tipo III, es el halo más externo de la mineralización y el de mayor importancia económica por su volumen, caracterizado por zonas de esfalerita-galena y zonas de carbonatos, se encuentra ampliamente distribuido en todos los flancos el Tajo Norte, y en posiciones más externas alrededor del cuerpo de cobre rico en calcopirita y enargita en el flanco principal. La mineralogía consiste principalmente en cristales de esfalerita, galena, pirita, caolinita, dickita, alunita, siderita, caolinita y hematita. Los granos de esfalerita y galena se encuentran intercrecidos con alunita y en ocasiones con caolinita y/o dickita. En las partes más externas ocurre dolomita, ankerita, siderita y hematita especular intercrecido con caolinita. Ocasionalmente magnetita reemplaza hematita especular.

**El Proyecto Tajo Norte-Smelter-Marcapunta.** Sociedad Minera El Brocal S.A.A., ha venido explotando la mina Colquijirca mediante minado a cielo abierto, como es el caso del Tajo Norte, y también mediante minado subterráneo como es el caso de Mina Marcapunta Norte. El Tajo Norte en los últimos años se ha venido ampliando en diferentes oportunidades debido a los resultados

positivos de los programas de exploración del yacimiento. Estos programas han confirmado que la mineralización continúa hacia el sector Sur del actual Tajo Norte. En tal sentido BROCAL ha decidido englobar en un solo tajo los sectores de la extensión hacia el Sur del Tajo Norte, Smelter y Marcapunta para conformar un solo gran tajo que se denominará Tajo Norte-Smelter-Marcapunta.

El citado nuevo tajo ocupará un área 73 Has y tendrá las siguientes dimensiones aproximadas: largo alineado con el Norte-Sur 1250 m, ancho alineado con el E-W 580 m, y profundidad de 210 m. Desde que es necesario para el planeamiento y diseño del citado tajo tener disponible el diseño de los ángulos de los taludes.

## **YACIMIENTO**

Los depósitos minerales del distrito de Colquijirca pertenecen a la familia de yacimientos relacionados a pórfidos de cobre conocida como depósitos Cordilleranos. Este tipo de depósitos, los cuales se forman en general en las partes altas de un pórfido de cobre, se caracterizan fundamentalmente por un prominente zonamiento con partes internas dominadas por cobre y zonas externas donde el zinc, el plomo y la plata son los principales elementos económicamente interesantes.

En el caso particular del distrito de Colquijirca, más precisamente entre los sectores de Marcapunta Norte y Colquijirca, dicho zonamiento consta a manera general de tres zonas, las cuales mineralógicamente consisten fundamentalmente de enargita en las

partes internas, calcopirita en partes intermedias y esfalerita y galena en las partes externas.

El depósito de Colquijirca (parte sur del Tajo Norte) expone estas tres zonas. La parte más profunda del sector suroeste del Tajo Norte (antes Tajo Principal) muestra un núcleo de forma tubular esencialmente constituido por enargita además de cantidades variables de pirita y cuarzo.

Este núcleo presenta una envolvente básicamente compuesta por calcopirita y cantidades variables de tenantita además de esfalerita y galena. A su vez esta envolvente está rodeada por una zona relativamente extensa, compuesta esencialmente por esfalerita y galena. Es esta última zona, la cual está desarrollada en su mayor extensión hacia el norte del distrito, la que constituye el grueso del depósito de Colquijirca (Tajo Norte) actualmente en explotación.

La mina Tajo Norte, es una operación a tajo abierto que explota minerales de contenido polimetálico, conformado principalmente por sulfuros de plata, plomo, zinc y cobre; constituido principalmente por galena, esfalerita y en menor proporción por galena argentífera, y enargita; y la ganga está constituida por pirita, baritina, hematina y siderita. La mineralización se presenta en capas paralelas a la estratificación, alternando con horizontes de calizas, margas y tufos que forman un sinclinal (Flanco Principal) y un anticlinal (Flanco Mercedes Chocayoc).

## MINERALIZACIÓN

La mineralización de Colquijirca (Tajo Norte) se emplaza dentro de los sedimentos plegados de la Formación Calera del Terciario inferior y presenta una geometría mantiforme, “concordante” a la estratificación, emplazándose preferentemente en calizas lacustrinas de la parte superior del Miembro Medio y parte inferior del Miembro Superior. La caja techo está constituida por dolomías varvadas de Calera Superior, en tanto la caja piso lo constituyen margas del Calera Medio.

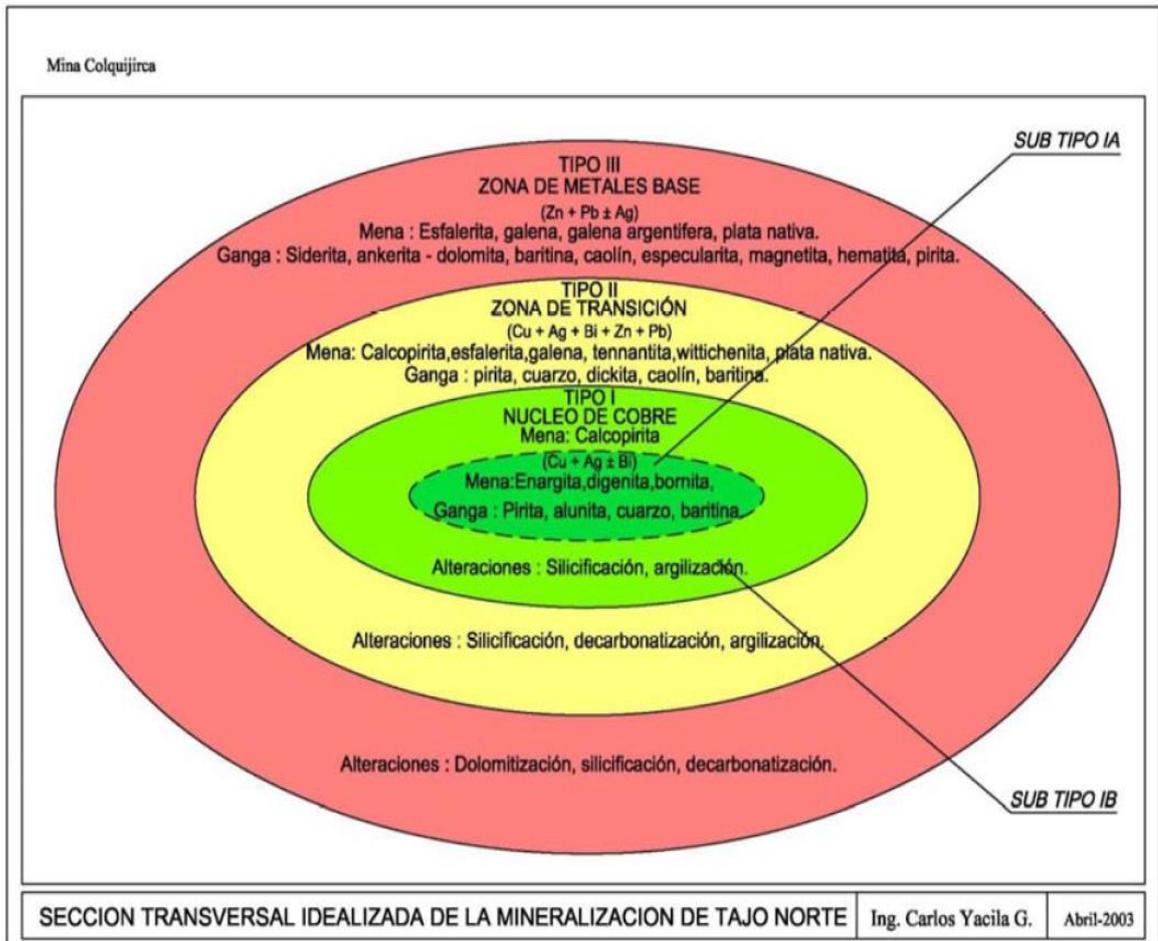
En la mineralización, se puede distinguir el siguiente zoneamiento:

- TIPO I (Núcleo de Cobre:  $\text{Cu} + \text{Au} + \text{Ag} \pm \text{Bi}$ ): Esta mineralización está emplazada casi siempre en horizontes completamente silicificados (chert negro) y expresan el núcleo del vector mineralizador, puede dividirse en: 5
- Tipo I A: Es la parte más interna de este núcleo y consiste esencialmente de enargita – pirita; las cuales ocurren a manera de relleno de fracturas, relleno de cavidades y como matriz en las partes de brechas de chert, menos comunes son las disseminaciones.
- Tipo I B: Es la parte más externa del núcleo de cobre constituido principalmente por calcopirita y pirita. Estos ocurren a manera de venillas y como reemplazamientos masivos. Este tipo de

mineralización alberga importantes valores de plata y bismuto en cantidades regulares.

- TIPO II (Zona de Transición: Cu + Ag + Bi + Zn + Pb): Es la Zona intermedia, constituyéndose así en una zona compleja debido a la variedad de especies mineralógicas y a los intercrecimientos que estos presentan. La mena está constituida por calcopirita, esfalerita y galena, acompañados de caolín, dickita, baritina y en menor proporción pirita y hematita. La ocurrencia de estos minerales se da como relleno de fracturas u oquedades y como reemplazamientos masivos.
- TIPO III (Zona de Metales Base: Zn + Pb ± Ag): Es el halo más externo de mineralización y por su volumen, el de mayor importancia económica. Se encuentra emplazada en rocas dolomíticas y en menor proporción en niveles de chert negro. Su mineralogía está constituida por esfalerita y galena como minerales de mena, los cuales ocurren como relleno de fracturas, cavidades, disseminaciones y reemplazamientos masivos, constituyendo zonas de “roca sulfurada”. La ganga está representada por pirita, specularita, magnetita, caolín, baritina, siderita, ankerita - dolomita y fluorita menos común; todos ellos ocurren como relleno de fracturas y cavidades.

**Figura N° 4: Diagrama de Mineralización del Tajo Norte**



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

## 2.2.2. Geomecánica del tajo abierto

### PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Los parámetros geotécnicos utilizados para la optimización y diseño del tajo fueron diferenciados en 27 sectores geotécnicos de acuerdo al estudio “Estabilidad de Taludes Tajo Norte – Smelter – Marcapunta” desarrollado por DCR Ingenieros SRL. La Figura N° 4 muestra los parámetros geotécnicos y sectores geotécnicos.

*Tabla N° 1: Parámetros geotécnicos para el diseño del tajo*

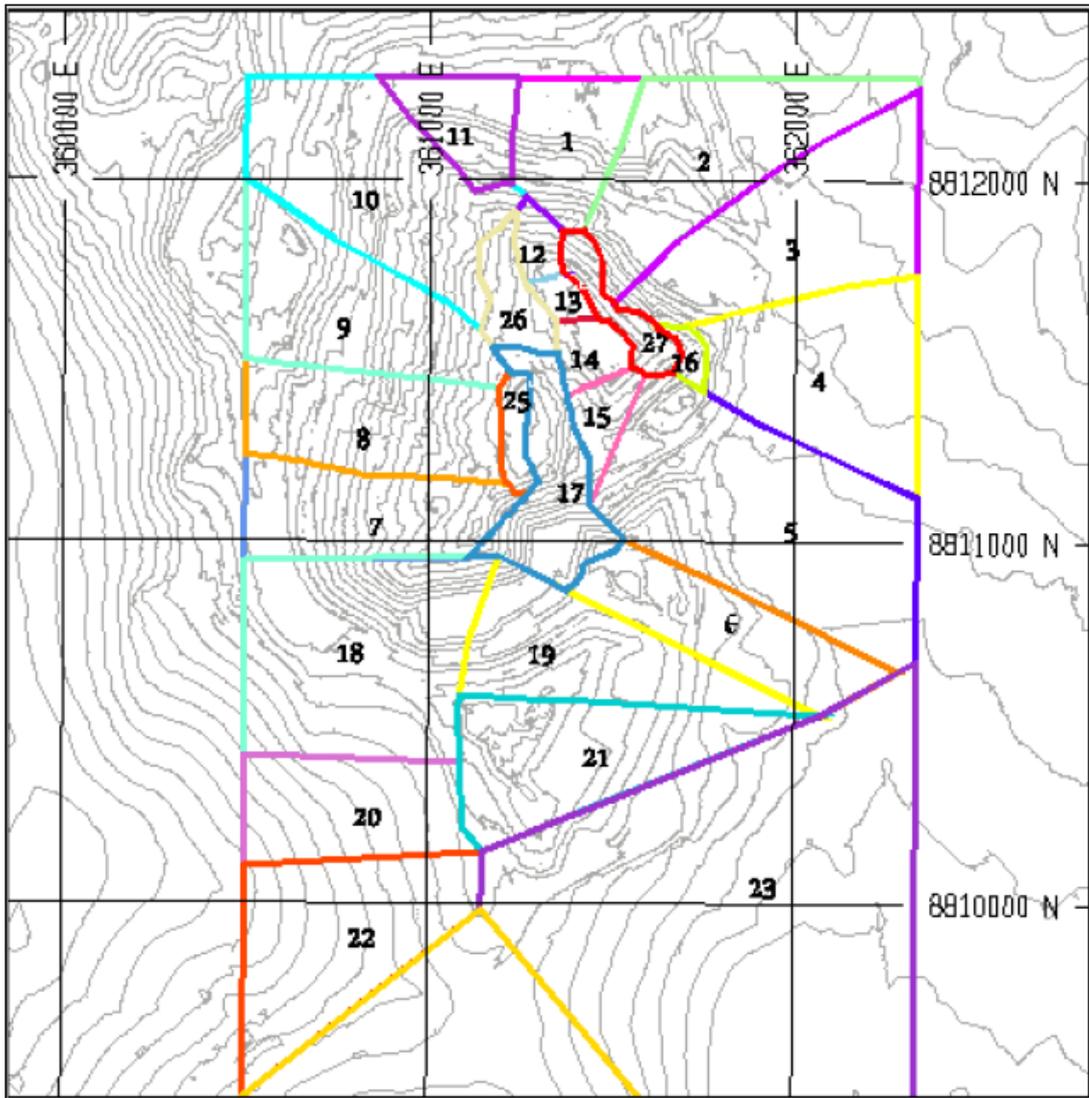
# SECTOR	SECTOR	AIR (°)	ATB (°)	AGT (°)
1	N(9)	38	65	35.4
2	NE(8)	42	60	39.7
3	E(7)	41	55	39.0
4	SE(6)	43	60	37.1
5	S(5)	31	60	29.3
6	Se(7)	37	60	34.6
7	SW(5)	24	40	22.9
8	W(4)	25	40	25.0
9	W(3)	27	40	27.0
10	NW(2)	27	50	27.0
11	N(1)	35	55	35.0
12	NW(1)	30	50	28.4
13	W(2)	28	55	26.5
14	W(3)	35	55	32.8
15	SW(4)	39	55	36.4
16	SW(2)	28	45	26.5
17	SE(8)	35	55	32.8
18	S(6)	31	55	29.3
25	E(8)	35	55	32.8
26	SW (1)	30	50	28.4
27	NE(8)	42	60	39.1
<b>Zona Expansión</b>				
19	I-A	37	53	35.3
19	I-B	27	53	26.0
20	VI	30	53	30.0
21	II	32	53	30.7
22	V	28	53	28.0
23	III	32	53	32.0
24	IV	42	53	42.0

*Nota: El ángulo global de talud (AGT) fue estimado por Amec Foster Wheeler, haciendo una proyección del número de rampas requerido, en cada sector, para alcanzar el fondo del tajo.*

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

La altura de bancos considerada es de 6 m. Para otras alternativas de alturas de bancos, remitirse al Capítulo 5 y ver los aspectos concernientes con los resultados de los análisis de estabilidad de los taludes.

Los taludes de los Sectores NW, W y SW del área del actual Tajo Norte y de los Sectores W y E del área La Llave, serán propensos a sufrir deslizamientos a través de estratos débiles conformados principalmente por arcilitas, limoarcilitas y tobas, los cuales buzan a favor del talud. Para el manejo adecuado de la estabilidad de estos taludes será necesario llevar a cabo una vigilancia permanente de los mismos, tomando en cuenta las medidas que se recomiendan en este informe.



**Figura N° 5: Sectores geotécnicos**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

Dado que la presencia del agua subterránea crea condiciones desfavorables para la estabilidad de los taludes, será necesario implementar medidas adecuadas de drenaje. El objetivo principal será evacuar el agua del interior del tajo hacia fuera de él e impedir que el agua ingrese a la masa rocosa del tajo. Ello significará continuar con el bombeo del agua subterránea para bajar el nivel freático y construir cunetas y canales para captar y evacuar las aguas

de la escorrentía superficial. El personal de Mina Colquijirca tiene experiencia en este trabajo.

Se ha observado en el pasado, que hay una correlación directa entre el nivel de las vibraciones del terreno causadas por las voladuras y los desplazamientos de la masa rocosa de los taludes inestables. Por ello, será necesario extremar cuidados en el diseño y práctica de las voladuras controladas, a fin de no causar daños a los taludes y no incentivar los movimientos de los mismos, manteniendo al mínimo el nivel de vibraciones del terreno. El monitoreo de vibraciones será importante, tomando como base de no sobrepasar Velocidades Pico de Partículas de 25 mm/seg, para ello será necesario también dosificar la carga explosiva según los resultados de este monitoreo.

El avance del minado también tiene influencia en los procesos de inestabilidad, en el sentido de que la remoción de los materiales del pie de los taludes potencialmente inestables contribuye a retirar el sostenimiento de las masas deslizantes. Por tanto, será importante cuidar los taludes cuando se observen afloramientos de las superficies potenciales de falla en las caras y piso de los taludes de los bancos. En este caso, la masa deslizante estará quedando liberada para seguir su proceso de deslizamiento.

### **2.2.3. Geomorfología**

La morfología del área está caracterizada por un relieve ondulado suave poco desarrollado, que no ha logrado una peneplanización completa. Reconocido por Mc Laughlin (1924) como Superficie Puna, establecida por truncamiento de los pliegues de la Tectónica Incaica, donde han actuado agentes de

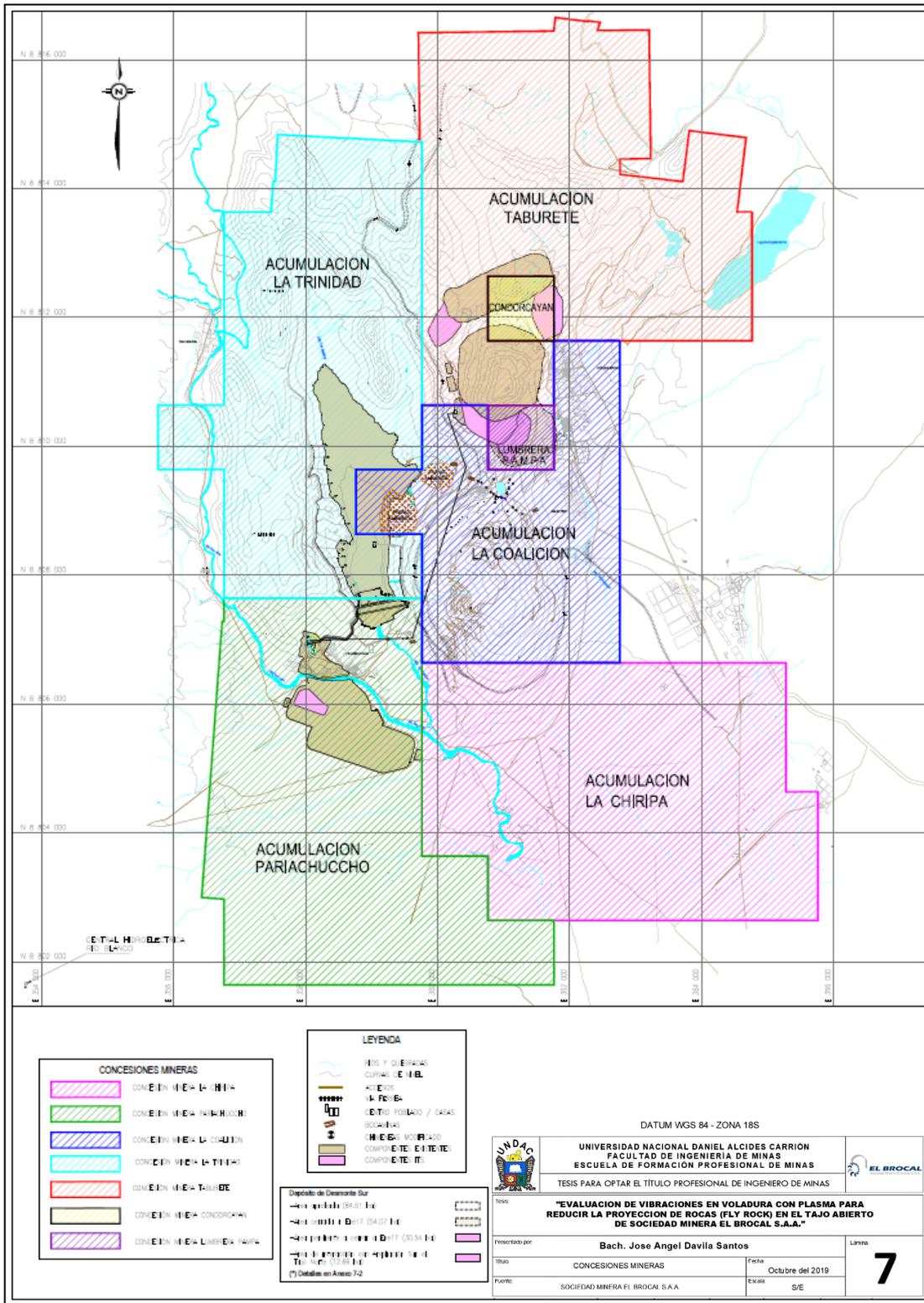
meteorización sobre las unidades litológicas, como la temperatura, las precipitaciones pluviales, las escorrentías superficiales y subterráneas.

Es posible distinguir depósitos morrénicos de dos diferentes edades: el antiguo, que por efectos de intemperismo la cresta va siendo degradada; y la reciente, que presenta una cresta marginal dentada, ambos por acción del hielo y la erosión.

Pequeñas lagunas se forman debido a las filtraciones de los deshielos en las zonas altas y son recepcionadas en cubetas labradas por la glaciación, que presenta una morfología suave. Todo el drenaje de la zona concluye en la extensa Pampa de Junín.

#### **2.2.4. Concesiones mineras**

SMEB cuenta con 32 concesiones mineras que hacen un total de 34,383 ha de las cuales la Unidad Minera Colquijirca se encuentra sólo sobre 7 concesiones mineras compuestas: Acumulacion La Chiripa, Acumulacion La Coalicion, Acumulacion La Trinidad, Acumulacion Pariachuccho, Acumulacion Taburete, Condorcayan y Lumbrera Pampa.



**Lámina N° 7: Concesiones mineras y terreno superficial**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**

### **2.2.5. Derecho de uso de terrenos superficiales**

Los terrenos superficiales de las comunidades campesinas de Smelter y Huaraucaca han sido adquiridos por SMEB mediante un convenio de servidumbre realizado con cada comunidad campesina.

Es importante señalar que, según el Directorio de Comunidades Campesinas del Perú 1998 y actualizado al 2001, la CC Huaraucaca fue registrada como tal en el MINAG mediante la Resolución Suprema N° 008 del 11 de enero de 1965 con 1675, 1000 Ha de tierras y la CC de Smelter fue registrada como tal en el MINAG mediante la R.D. N° 0284-79-DR-VII-H el 12 de setiembre de 1979 con 1134,7500 Ha. Siendo ambas CC oficialmente reconocidas, tienen personería jurídica y el régimen de propiedad de la tierra es comunitario o comunal de acuerdo con la ley que las gobierna. Las autoridades comunales pueden adjudicar en usufructo algunas parcelas de cultivo a cada uno de sus comuneros hábiles. Las tierras de pastoreo o eriazas son de propiedad y uso comunal. Esto es el caso del área del proyecto.

Por lo tanto, son las CC de Huaraucaca y Smelter, las propietarias de las tierras superficiales donde se halla el proyecto, las cuales previa consulta a los comuneros reunidos con sus autoridades comunales en Asamblea Comunal, pueden ser otorgadas sea en servidumbre o enajenadas mediante una acción de compra – venta. Es por ambos mecanismos que SMEB adquiere en posesión y/o propiedad, las tierras superficiales donde

En la siguiente tabla se detalla las propiedades y áreas de servidumbre a favor de SMEB, donde se emplazan las instalaciones:

*Tabla N° 2: Coordenadas del área de actividad minera*

<b>Código del Documento</b>	<b>Fecha</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Observación</b>
<b>Comunidad Campesina de Huaraucaca</b>			
HC-001	02/12/2003	3.50	Área de servidumbre para el proyecto Marcapunta Norte
HC-002	26/10/2005	147.30	Área de servidumbre para Relavera Huachuacaja
HC-003	26/10/2005	57.00	Área de servidumbre para canchas de relave
HC-004	29/11/2005	2.31	Área de servidumbre para canal abovedado
HC-005	20/11/2009	54.36	Área de servidumbre para cancha de relaves # 8
HC-006	20/11/2009	11.00	Área de servidumbre para desviación del Río San Juan
HC-007	15/09/2010	2.27	Área de Servidumbre para la Faja Transportadora
HC-008	2010	43.80	Área de servidumbre para Relavera Huachuacaja
<b>Comunidad Campesina de Smelter</b>			
SM-001	20/03/2006	20.00	Área de servidumbre para el proyecto Marcapunta Norte
SM-002	26/03/2009	255.17	Área de servidumbre para Relavera Huachuacaja
SM-003	07/04/2004	204.30	Área de servidumbre para Relavera Huachuacaja
SM-004	12/04/2004	147.30	Área de servidumbre para Relavera Huachuacaja
SM-005	21/12/2010	23.05	Área de Servidumbre para la Faja Transportadora y Chancadora primaria

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal, 2010.*

### **2.2.6. Clima y Meteorología**

Para caracterizar el clima y la meteorología de la zona de estudio, se han utilizado 9 estaciones, cuya información pluviométrica permitirá estimar la precipitación del área de estudio, de acuerdo a su ubicación geográfica y altitud (ver Tabla N° 3). Luego para los demás parámetros se cuenta con la estación Huaraucaca, propiedad de El Brocal, las que son representativas para el área de estudio.

**Tabla N° 3: Estaciones Pluviométricas**

ESTACION	COORDENADAS UTM WGS-84 18S		ALTITUD (msnm)	PARAMETROS REGISTRADOS	PERIODO DE REGISTRO	OPERADOR
	Este	Norte				
Carhuamayo	385,256	8'793,036	4,150	Precipitación total mensual	1952-1994	Electroandes
Cerro de Pasco	363,268	8'817,006	4,260	Precipitación total mensual	1950-2015	SENAMHI
Huaraucaca	358,420	8'806,756	4,150	Temperatura media, máxima y mínima, precipitación total mensual	1996- 2015	El Brocal
Huayllay	350,989	8'783,989	4,275	Precipitación total mensual	1957-1970	Electroandes
Hueghue	360,179	8'757,486	4,175	Precipitación total mensual	1965-2005	Electroperu
Junín	392,113	8'766,764	4,120	Precipitación total mensual	1969-2005	Electroperu
Upamayo	360,364	8'792,018	4,093	Precipitación total mensual	1957-2009	Electroperu
Volcan	361,468	8'818,750	4,296	Precipitación total mensual	2002-2013	Volcan
Yanahuanca	334,291	8'839,920	3,140	Precipitación total mensual	1978-2015	SENAMHI

**Fuente: Golder Associates, 2010, Sociedad Minera El Brocal.**

### **2.2.7. Temperatura**

En la Tabla N° 4: se muestran los valores promedio multianual de la temperatura media, máxima y mínima mensual de la estación meteorológica Huaraucaca, para el periodo 1996-2016. La información se obtuvo del Estudio de Impacto Ambiental de la mina Marcapunta Norte y Sur (2013) y de la información proporcionada por El Brocal.

En esta estación meteorológica, la temperatura media mensual varía de 3.3 a 5.9 °C para los meses de Julio y Marzo respectivamente. La temperatura máxima promedio mensual oscila entre 11.4 a 12.6 °C y la temperatura mínima promedio mensual varía de -4.7 a -0.4 °C.

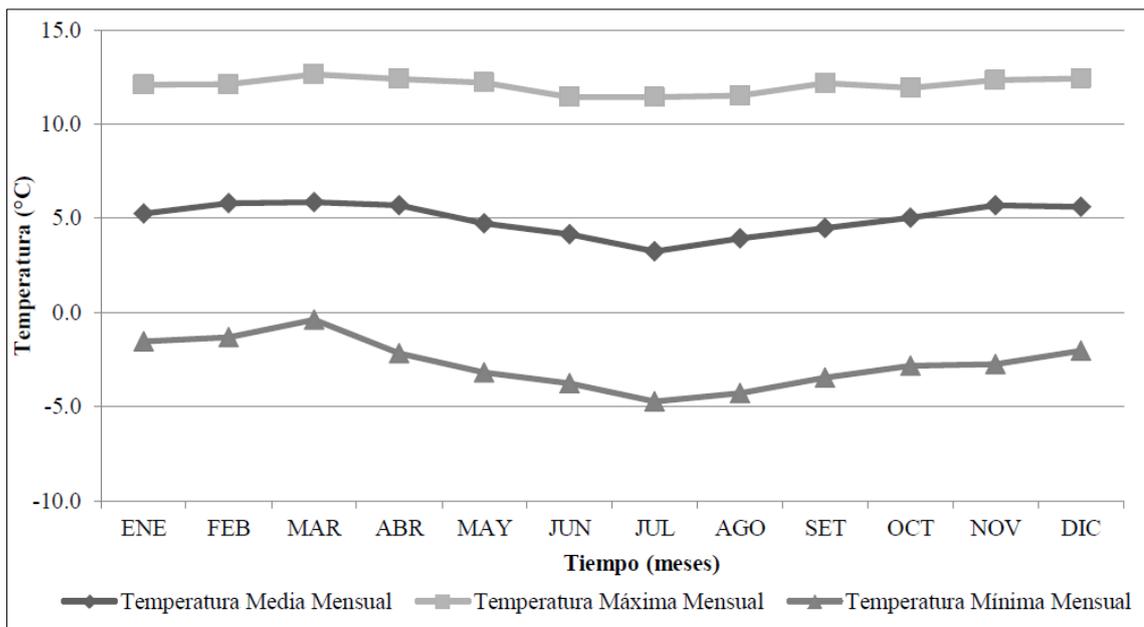
**Tabla N° 4: Temperaturas media, máxima y mínima mensual – promedio**

**Multianual**

PARAMETRO	TEMPERATURAS (°C)											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura Media	5.2	5.8	5.9	5.7	4.7	4.1	3.3	3.9	4.5	5.0	5.7	5.6
Temperatura Máxima	12.1	12.1	12.6	12.4	12.2	11.4	11.4	11.5	12.2	11.9	12.3	12.4
Temperatura Mínima	-1.6	-1.3	-0.4	-2.2	-3.2	-3.8	-4.7	-4.3	-3.5	-2.8	-2.7	-2.0

**Fuente: Hydro-Geo, 2017.**

**Figura N° 6: Variación de temperatura media, máxima y mínima mensual – promedio multianual**



**Estación Huaraucaca (1996-2016)**

**Fuente: Hydro-Geo, 2017.**

### **2.2.8. Precipitación**

Para describir la ocurrencia de las precipitaciones en la zona del proyecto, se utilizó la data pluviométrica de las 9 estaciones que se muestran en la Tabla N° 5. Esta información fue investigada mediante el análisis exploratorio de datos de todas las estaciones y el análisis estadístico de saltos a los datos las estaciones de Cerro de Pasco, Huaraucaca, Upamayo y Yanahuanca (ver Tabla N° 5: ), lo cual permitió corregirlos y completarlos para su posterior regionalización. Para el presente estudio se aplicó este método, para la estimación de la precipitación en el área de estudio, pues correlaciona la precipitación con la topografía en zonas de montaña mediante técnicas de regresión lineal múltiple (Naoum & I. K. Tsanis, 2004).

Después de realizado el análisis estadístico de datos (AED) a todas las estaciones, se realizó el análisis estadístico de saltos a las estaciones de Cerro de Pasco, Huaraucaca, Upamayo y Yanahuanca, con la finalidad de poder corregir valores no confiables. En el siguiente cuadro se muestran los resultados. La completación de datos de precipitación total mensual se realizó utilizando el Software HEC 4.

**Tabla N° 5: Validación de información pluviométrica total mensual**

ESTACION	PERIODO	PERIODO DUDOSO	CONSISTENCIA	PERIODO CORREGIDO
Cerro de Pasco	1950-2015	1977 – 1995 1980 - 1983	S	1980 - 1983
Huaraucaca	1996- 2016	2004 – 2006 2008 - 2009	S	2004 – 2006 2008 - 2009
Upamayo	1957-2009	1983 – 1992 1978 - 1979	S	1983 – 1992
Yanahuanca	1978-2015	1993 - 1996	S	1993 - 1996

**S: Significativo al 0.05%.**

**Fuente: Hydro-Geo, 2017.**

La precipitación total mensual promedio asignada para el área de estudio, ha sido calculada por el método de regionalización. Para ello, se utilizaron ecuaciones de regresión simple y múltiple, relacionando la precipitación media total anual versus la altitud, latitud y longitud. Encontrando relaciones que se ajustan a los parámetros de entrada con un alto coeficiente de correlación ( $r = 0.97$ ).

En la siguiente tabla se muestra la distribución típica de la precipitación total anual estimada para la altitud media del área del proyecto (4,251 msnm). Los resultados indican que la precipitación es estacional, con los valores más altos registrados entre Setiembre y Abril (90% de la precipitación total anual) durante la temporada de lluvias y, los valores más bajos registrados durante la temporada seca, entre Mayo y Agosto (10% de la precipitación total anual).

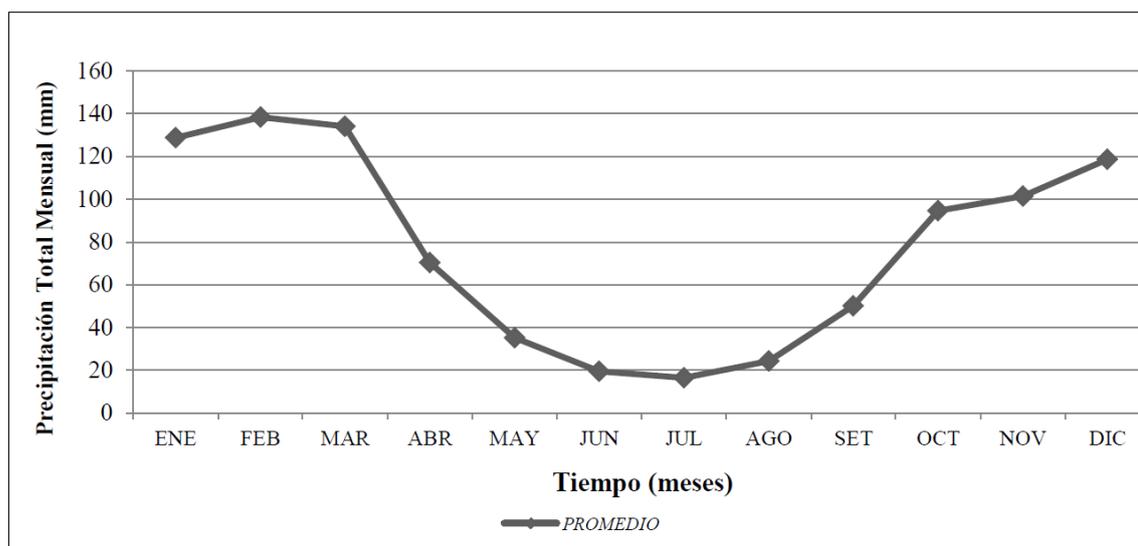
**Tabla N° 6: Precipitación mensual estimada para el área de estudio**

PRECIPITACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Promedio (mm)	128.8	138.5	134.1	70.2	35.2	19.4	16.6	24.2	50.1	94.5	101.3	118.7	931.6
Proporción Anual (%)	13.8	14.9	14.4	7.5	3.8	2.1	1.8	2.6	5.4	10.1	10.9	12.7	100.0

**Altitud: 4,251 msnm**

**Fuente: Hydro-Geo, 2017.**

**Figura N° 7: Precipitación mensual estimada para el área de estudio (1950-2015)**



**Altitud: 4,251 msnm**

**Fuente: Hydro-Geo, 2017.**

Asimismo, se ha estimado la precipitación total mensual para cada microcuenca de interés (Depósito de Relaves Huachuacaja, Quebrada Unish y Mina Subterránea) para los escenarios húmedo, promedio y seco, ver Tabla N° 7 y Tabla N° 8. En la Tabla N° 9 se muestra la precipitación estimada para el área de drenaje que está encima de la mina subterránea.

**Tabla N° 7: Precipitación Mensual Estimada para la Microcuenca del Depósito de Relaves Huachuacaja**

PERIODO	PRECIPITACION (mm)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Húmedo	175.4	192.9	181.9	98.9	52.2	35.0	26.0	39.5	65.2	145.4	147.1	165.7	1,325.2
Promedio	144.5	140.2	145.6	71.6	36.3	17.4	16.6	21.2	51.4	96.7	108.6	131.8	981.8
Seco	101.7	99.8	105.2	55.8	19.8	7.6	9.0	9.0	36.9	69.6	74.5	92.9	681.7

*Fuente: Hydro-Geo, 2017.*

**Tabla N° 8: Precipitación Mensual Estimada para la Microcuenca Quebrada Unish**

PERIODO	PRECIPITACION (mm)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Húmedo	156.6	172.2	162.4	88.3	46.6	31.3	23.2	35.3	58.2	129.8	131.3	148.0	1,183.1
Promedio	129.0	125.2	130.0	63.9	32.4	15.5	14.8	19.0	45.8	86.4	97.0	117.6	876.5
Seco	90.8	89.1	93.9	49.8	17.7	6.8	8.0	8.0	32.9	62.1	66.5	82.9	608.6

*Fuente: Hydro-Geo, 2017.*

**Tabla N° 9: Precipitación Mensual Estimada para el Área de la Mina**

PERIODO	PRECIPITACION (mm)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Húmedo	172.1	189.3	178.5	97.0	51.2	34.4	25.5	38.8	64.0	142.6	144.3	162.6	1,300.3
Promedio	141.8	137.6	142.8	70.2	35.6	17.0	16.2	20.8	50.4	94.9	106.6	129.3	963.3
Seco	99.8	97.9	103.2	54.8	19.4	7.5	8.8	8.8	36.2	68.3	73.1	91.1	668.9

*Fuente: Hydro-Geo, 2017.*

### 2.2.9. Dirección y velocidad del viento

En la estación meteorológica Huaraucaca, propiedad de SMEB, se registró el parámetro de dirección y velocidad de viento desde el año 1996. El análisis de los registros considerando fue del periodo 1996 - 2010. Y la ubicación de la estación se presenta a continuación.

**Tabla N° 10: Estación Meteorológica Huaraucaca**

Estación	Coordenadas UTM (PSAD 56 - Zona 18)		Altitud msnm	Cuenca	Distancia proyecto km
	Este	Norte			
Huaraucaca	359,330	8'805,936	4,136	Río San Juan	0

**Fuente: SVS, 2011.**

En la siguiente tabla se muestran los registros de las velocidades promedio y máximas mensuales, observándose que las velocidades promedio se encuentran entre 0.3 m/s a 1.3 m/s (ventolinas) y las velocidades máximas se encuentran entre 0.7 m/s a 3.6 m/s (ventolina a brisa débil, flojo), observándose que los valores de las velocidades promedios más fuertes se presenta en los meses de enero y febrero.

**Tabla N° 11: Velocidad de Viento Promedio y Máxima Mensual**

Año		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2006	Prom	1.3	0.6	1	1	0.8	0.6	0.8	1	0.7	0.6	0.6	0.6
	Max	3.1	1.4	3.3	1.9	1.9	1.9	1.9	2.2	2.5	2.2	2.2	1.7
2007	Prom	0.5	0.6	0.3	0.7	0.4	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.9
	Max	1.4	1.7	1.1	2.2	1.1	1.4	3.6	1.7	2.2	1.9	1.4	2.8
2008	Prom	0.8	1.1	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3	N.D.	0.3	N.D.	0.5
	Max	3.3	2.2	1.7	1.9	1.4	2.2	1.7	1.1	N.D.	1.1	N.D.	1.4
2009	Prom	N.D.	0.5	N.D.	0.3	0.7	0.6						
	Max	N.D.	0.7	N.D.	1.1	1.7	1.7						
2010	Prom	0.6	1.3	0.8	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8	0.8	0.3	0.7	0.8
	Max	1.7	2.2	3.3	1.9	1.1	2.2	1.4	1.7	1.7	1.1	1.7	1.7
2011		2.72	1.77	0.99	0.97	0.76	1.38	1.62	1.33	1.16	1.16	1.16	0.88
2012		1.92	0.84	0.84	0.96	1.00	3.40	2.46	N.D.	5.50	5.50	1.20	5.04

**N.D. No determinado.**

**Fuente: Estación Meteorológica Huaraucaca, Registro Meteorológico 2006-2010**

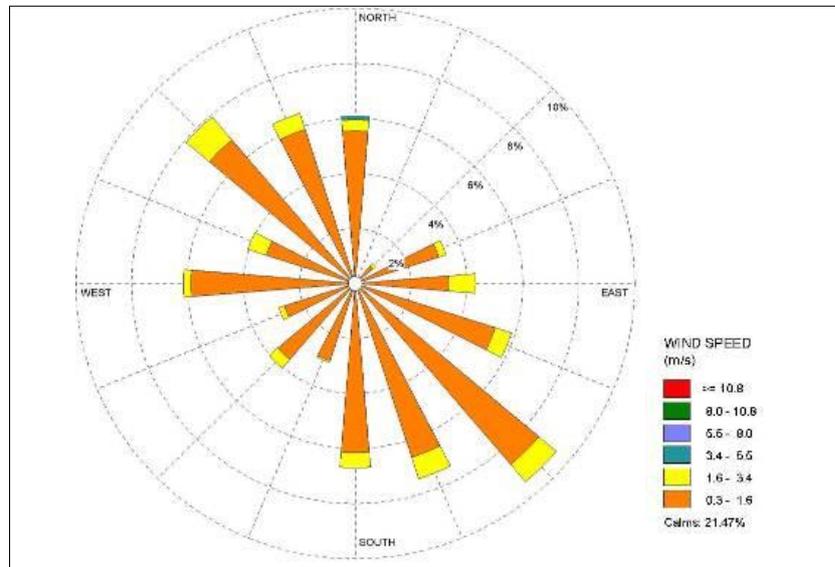
Cabe señalar que dentro del área de influencia de la estación meteorológica Huaraucaca, el Lago Junín se comporta como un generador de convección de aire en la noche, debido a la conservación de temperatura por un cuerpo de agua de aproximadamente 14,000 ha de superficie y, durante el día, debido al mayor albedo del suelo en comparación con la masa superficial de agua. Este ciclo diario hace que en la estación los vientos predominantes tengan durante el día dirección sur, es decir soplan desde los cuerpos de agua (Lago Junín) que se encuentra más fría hacia las áreas continentales; y durante la noche la situación se invierte (vientos norte), es decir, los vientos soplan desde las áreas interiores más frías hacia las masas de agua que permanecen a mayor temperatura.

Con respecto a la dirección de viento para el periodo 2006 al 2010, tal como se observa en la siguiente figura la dirección predominante del viento es SE seguida de NO con un porcentaje de calmas de 21.47%. En cuanto a la velocidad, también en la siguiente figura, puede apreciarse que las velocidades se hallan mayormente en el rango correspondiente a 0.3 m/s a 1.6 m/s, seguidas de 1.6 m/s a 3.4 m/s y de 3.4 m/s a 5.4 m/s, registrándose un valor máximo de 3.6 m/s; estos rangos según la Escala de Beaufort corresponde a la denominación “ventolina”, “brisa muy débil” y “brisa débil” respectivamente.

Por otro lado como se observa en la siguiente figura, en los meses de enero a marzo la dirección de viento es predominantemente al SSE; en los meses de abril a junio es predominantemente al SSE y al N; en los meses de julio a setiembre es predominantemente al SE y en los meses de octubre a diciembre

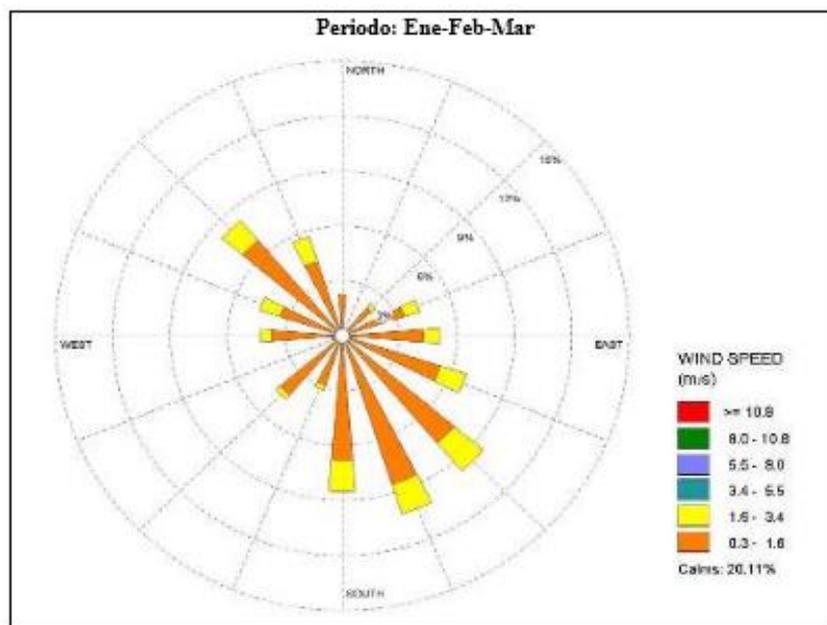
es predominantemente al SE, con porcentaje de calmas de 20.11%, 10.47%, 17.95% y 27.12% respectivamente para los periodos mencionados.

**Figura N° 8: Dirección de Viento Multianual**



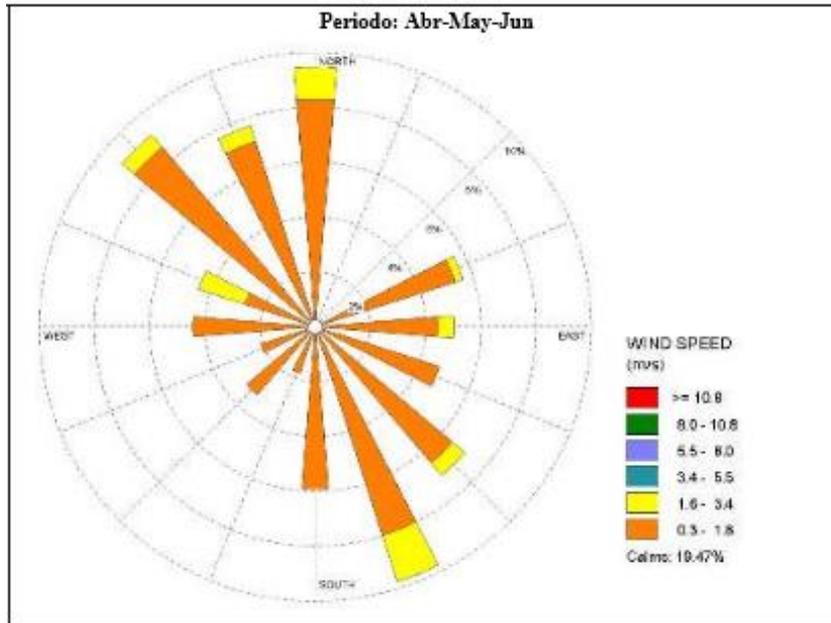
**Fuente: Estación Meteorológica Huaraucaca, Registro Meteorológico 2006-2010**

**Figura N° 9: Dirección de Viento Período Ene-Feb-Mar.**



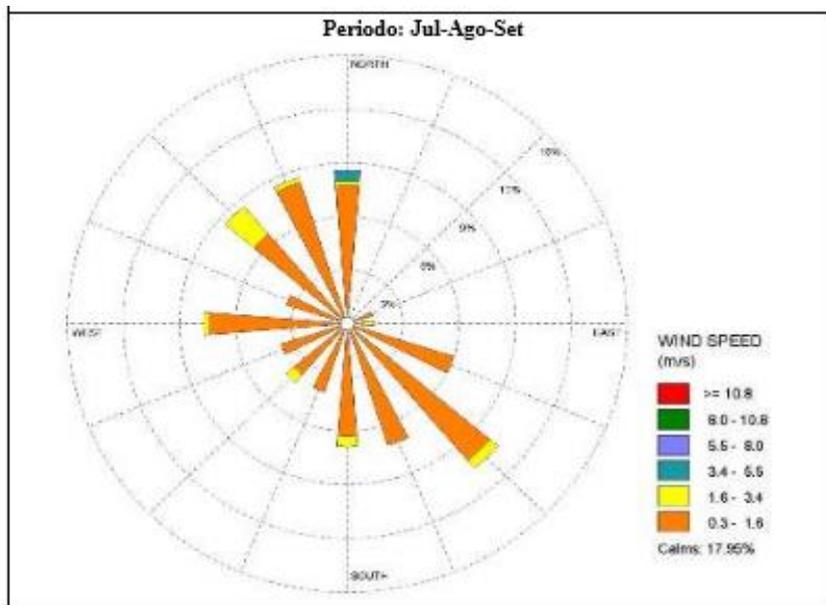
**Fuente: Estación Meteorológica Huaraucaca, Registro Meteorológico 2006-2010**

**Figura N° 10: Dirección de Viento Período Abr-May-Jun.**



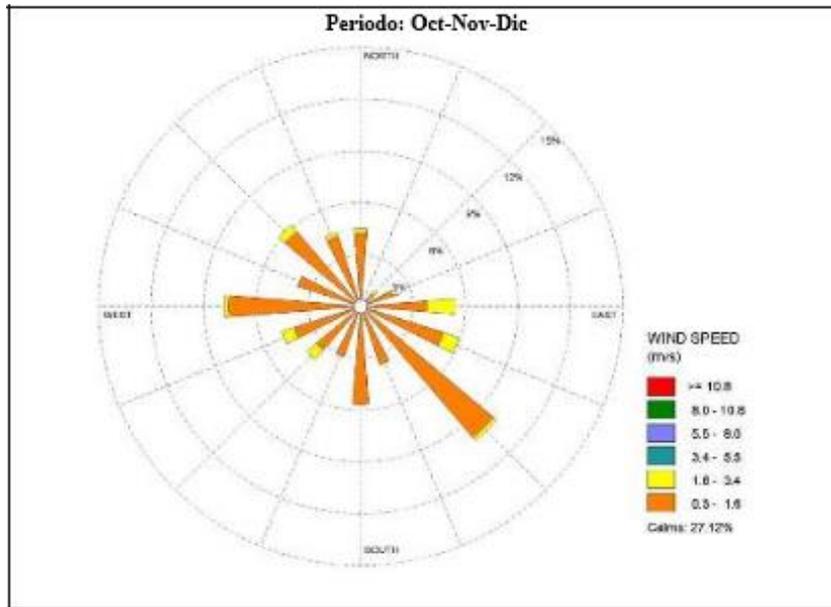
**Fuente: Estación Meteorológica Huaraucaca, Registro Meteorológico 2006-2010**

**Figura N° 11: Dirección de Viento Período Jul-Ago-Set.**



**Fuente: Estación Meteorológica Huaraucaca, Registro Meteorológico 2006-2010**

**Figura N° 12: Dirección de Viento Período Oct-Nov-Dic.**



**Fuente: Estación Meteorológica Huaraucaca, Registro Meteorológico 2006-2010**

**2.2.10. Distancia a centros poblados**

En la siguiente tabla se presentan las distancias desde los principales centros poblados del área de influencia del proyecto, hasta la zona donde se ubican las áreas productivas de SMEB, es decir, el Tajo Colquijirca, la Planta Concentradora de Huaraucaca y el Proyecto de la Mina Marcapunta Norte.

**Tabla N° 12: Distancias entre los principales centros poblados y las zonas de operaciones de SMEB**

Localidad	Operaciones en Colquijirca (km)	Operaciones en Huaraucaca (km)
Colquijirca	0.45	7.21
Huaraucaca	7.21	0.27
Huachuacaja	4.49	1.92
Smelter	2.28	3.94
Sacra Familia	14.5	7.51

Localidad	Operaciones en Colquijirca (km)	Operaciones en Huaraucaca (km)
Jupayrragra	10.54	3.58
San Gregorio	7.94	2.6
Villa de Pasco	4.33	8.98
Cerro de Pasco	15.8	23.3
Lima	315	322.5

*Fuente: SVS, 2011.*

### **2.2.11. PLAN DE MINADO**

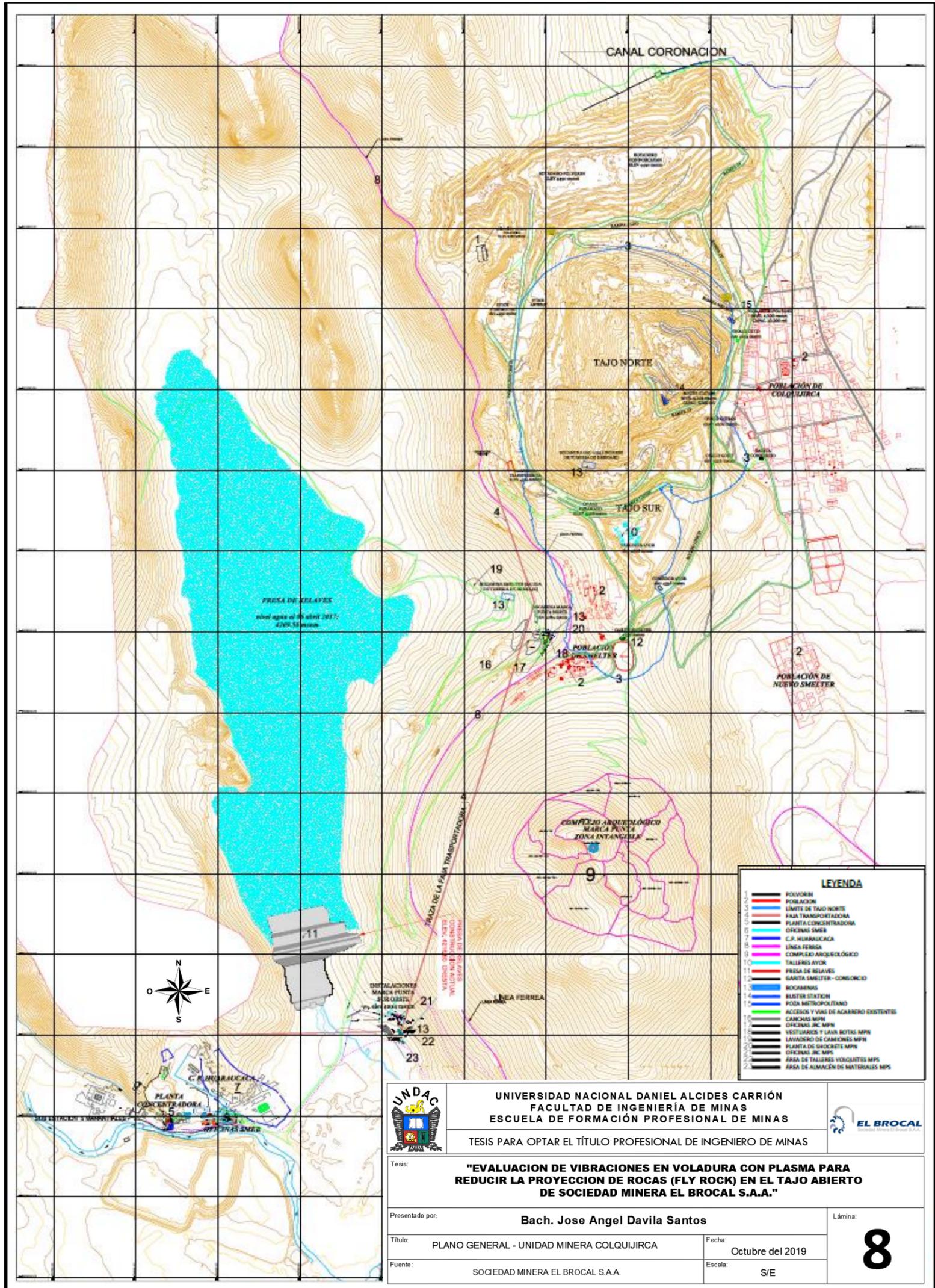


Lámina N° 8: Plano General – Unidad Minera Colquijirca

Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### ***2.2.11.1. Diseño de Tajo***

Para el diseño de tajo se tomaron en cuenta los factores de criterios de diseños (anchos de minado, rampas, alturas de bancos, etc), y teniendo como base de diseño a los pitshells del tajo óptimo.

### ***2.2.11.2. Criterio de diseño***

El criterio general de mina se muestra en la Tabla 13 Criterios de Diseño del Tajo. Las rampas y vías de acarreo están diseñadas para camiones de 22 m<sup>3</sup> de capacidad con una gradiente máxima de 10% y un ancho de vía de 12m, con un radio de giro interno de 9m. La Figura 13 muestra una sección típica de rampa y la Figura 14 muestra el radio de giro. Aunque el ancho mínimo de rampa llega a los 10 m, SMEB decidió continuar con rampas de 12 m para estandarizar el ancho de las nuevas vías con las vías antiguas (25m). El ancho operativo mínimo fue definido de acuerdo a las dimensiones de los equipos más grandes de la operación, es este caso el camión de 22 m<sup>3</sup> en doble vía y la excavadora CAT 374 de 5 m<sup>3</sup> de capacidad. La Figura 15 muestra el ancho operacional mínimo para el equipo de carguío más grande.

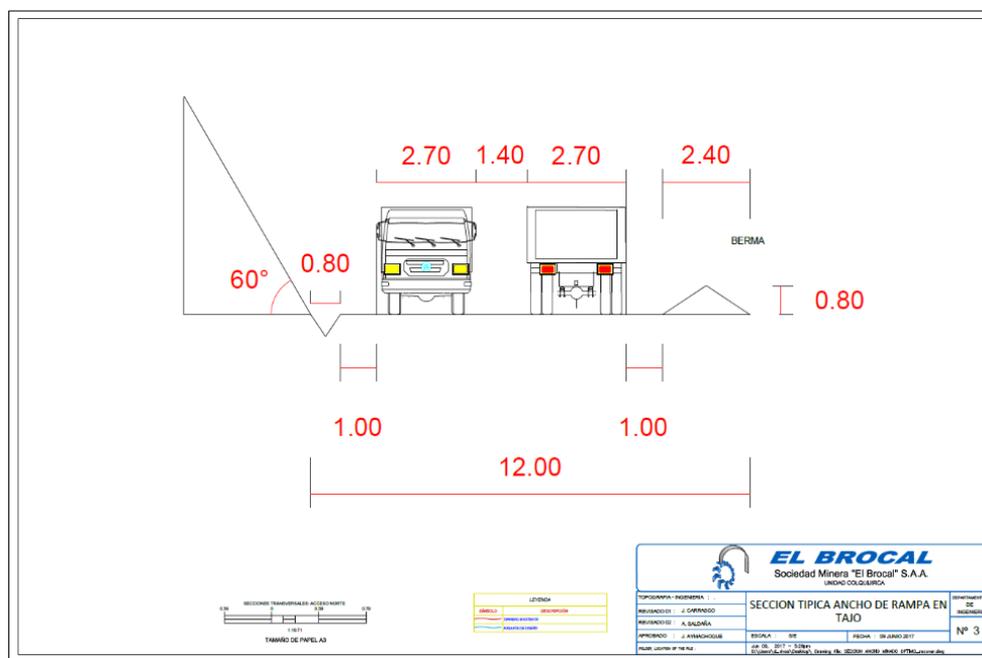
En la siguiente tabla se muestra los criterios de diseño general para las vías y accesos.

**Tabla N° 13: Criterio de Diseño del Tajo**

Criterio	Unidad	Valor
Altura de Banco	m	6
Ancho de Minado Mínimo	m	26
Ancho de Rampa	m	25 / 12
Gradiente en Rampa (Max)	%	10
Radio interno de Giro	m	9
Angulo Talud de Banco (ATB)	°	Variable
Angulo Inter Rampa (AIR)	°	Variable
Angulo Global de Talud (AGT)	°	Variable

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

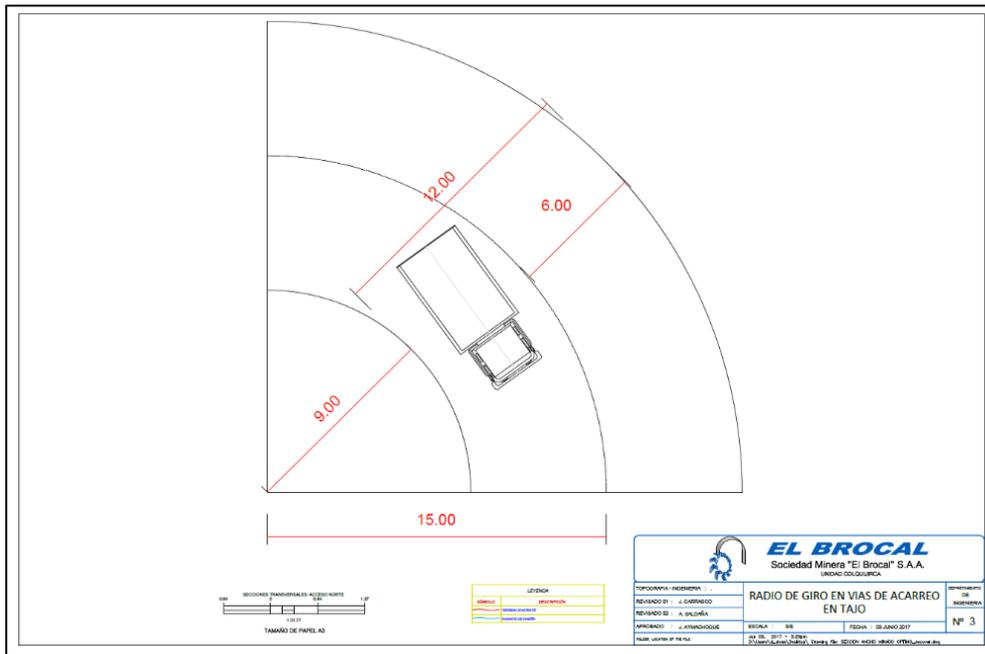
**Figura N° 13: Diseño de rampa**



**Fuente:**

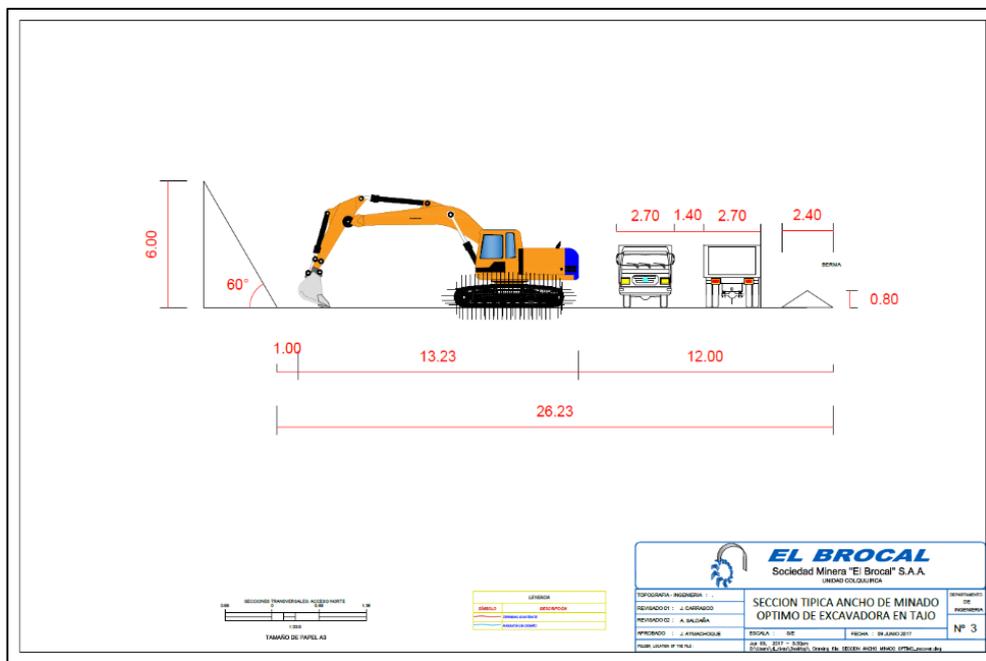
**Sociedad Minera El Brocal.**

**Figura N° 14: Radio de Giro en Vías de Acarreo**



**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

**Figura N° 15: Ancho mínimo de minado**



**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

### 2.2.11.3. Diseño de Fases

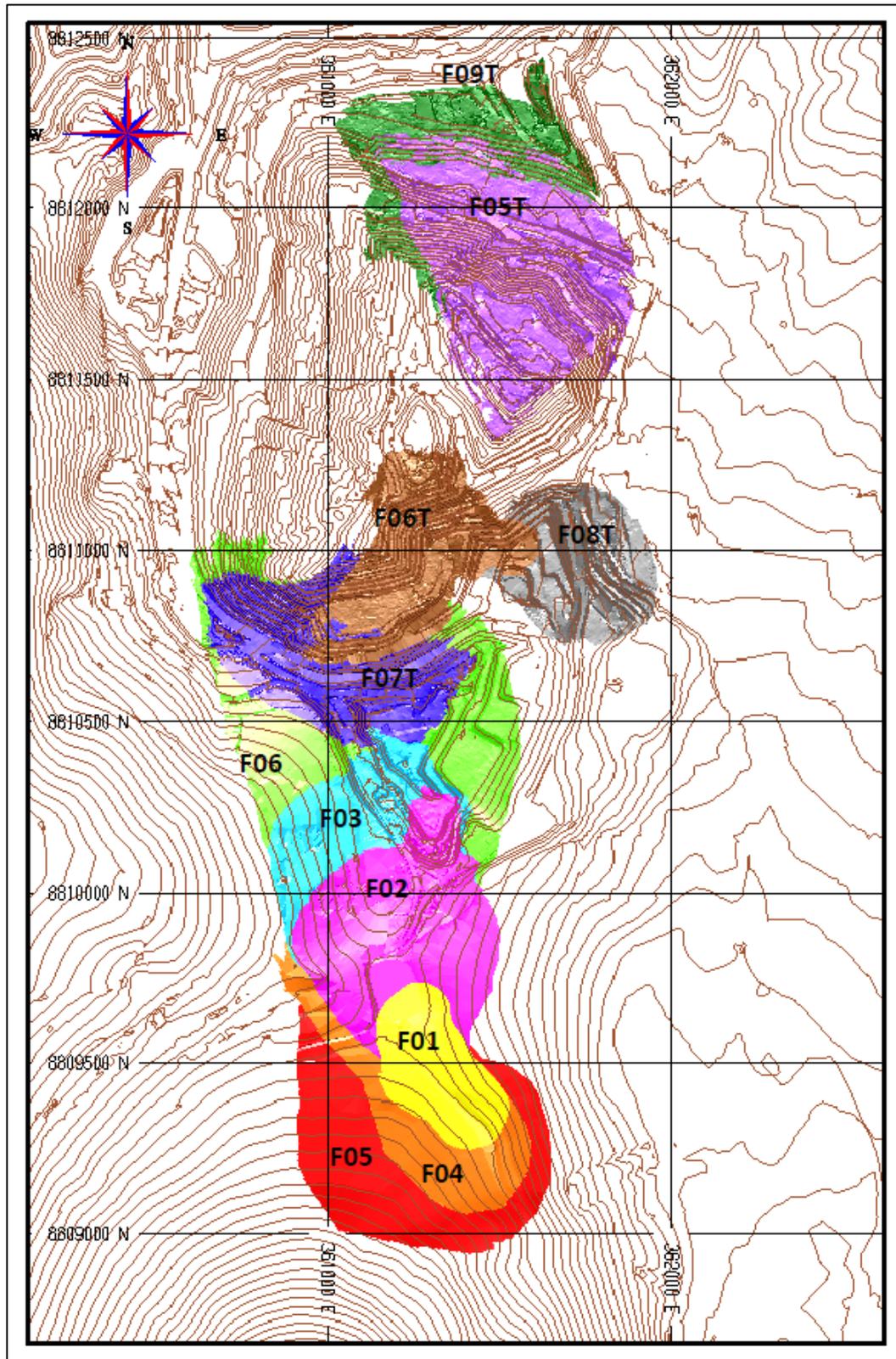
**Tabla N° 14: Reporte del Diseño de Fases**

ZONA	FASE	TOTAL MATERIAL (KTMS)	MINERAL (KTMS)	ZN (%)	PB (%)	CU (%)	AG (Oz/tn)
TAJO NORTE	F05T	28,390	7,784	2.64	1.07	0.01	0.85
	F06T	14,003	2,858	1.96	0.60	0.27	1.61
	F07T	27,923	2,330	2.35	0.91	0.34	1.90
	F08T	14,987	1,826	3.15	0.99	0.01	0.26
	F09T	26,869	6,523	2.40	0.79	0.00	0.70
TAJO SMELTER	F01	13,163	2,361	0.03	0.03	1.93	0.38
	F02	49,329	11,510	0.03	0.05	1.48	0.29
	F03	29,941	5,247	0.09	0.06	1.43	0.28
	F04	31,074	6,955	0.06	0.05	1.31	0.26
	F05	72,325	12,355	0.09	0.06	1.18	0.25
	F06	118,308	14,173	1.02	0.52	1.20	1.54
TOTAL		426,310	73,921	0.95	0.39	0.97	0.72

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

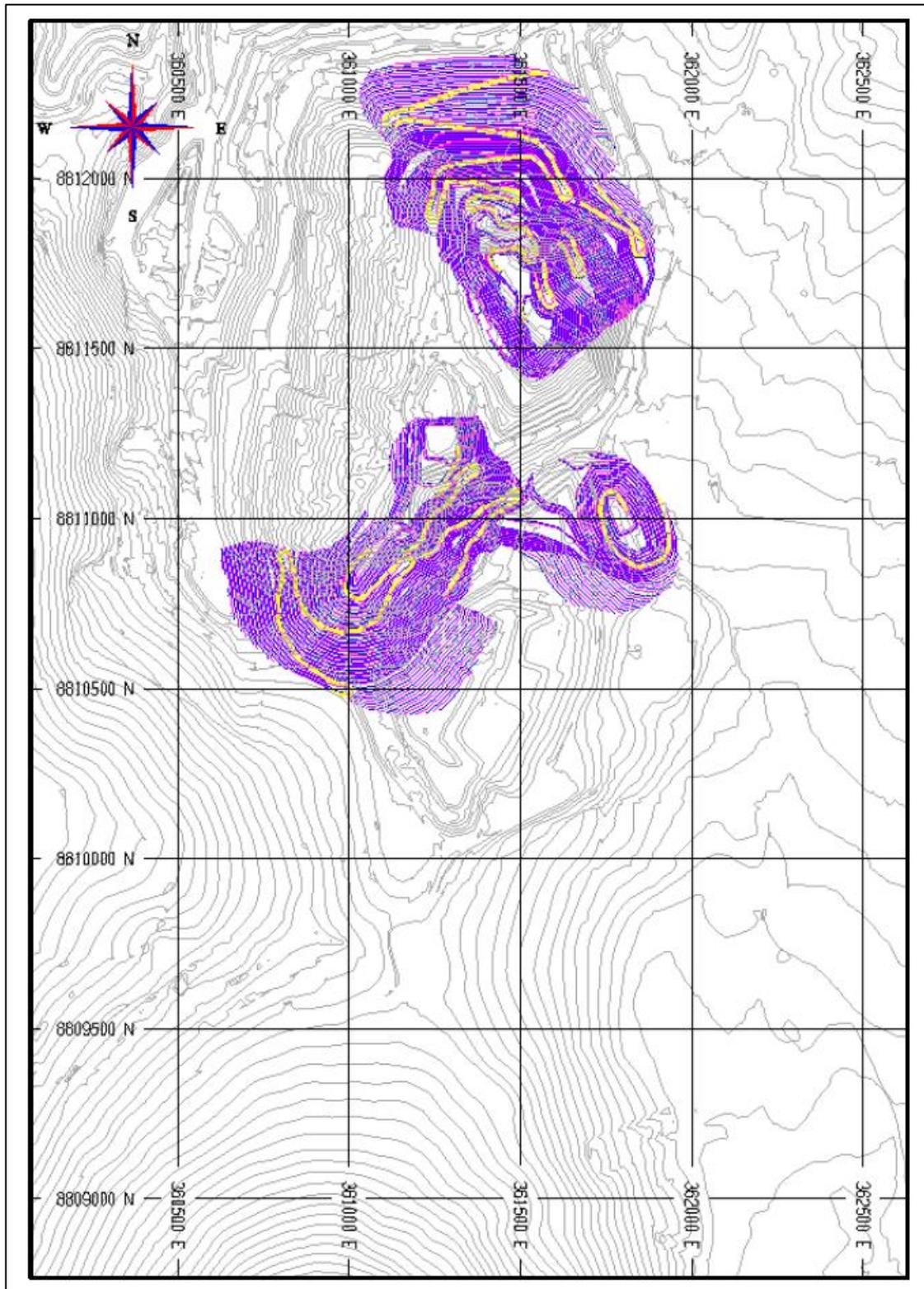
Para el diseño de fases se tomaron en consideración los Pitshells seleccionados en la optimización realizados según nuestras valorizaciones y la secuencia de minado. De esta Forma se determinó 11 fases, de las cuales 5 fases para el tajo norte y 6 Fases para el Tajo Smelter. A continuación, se muestra el contenido de las fases.

*Figura N° 16: Vista en Planta de las Fases*



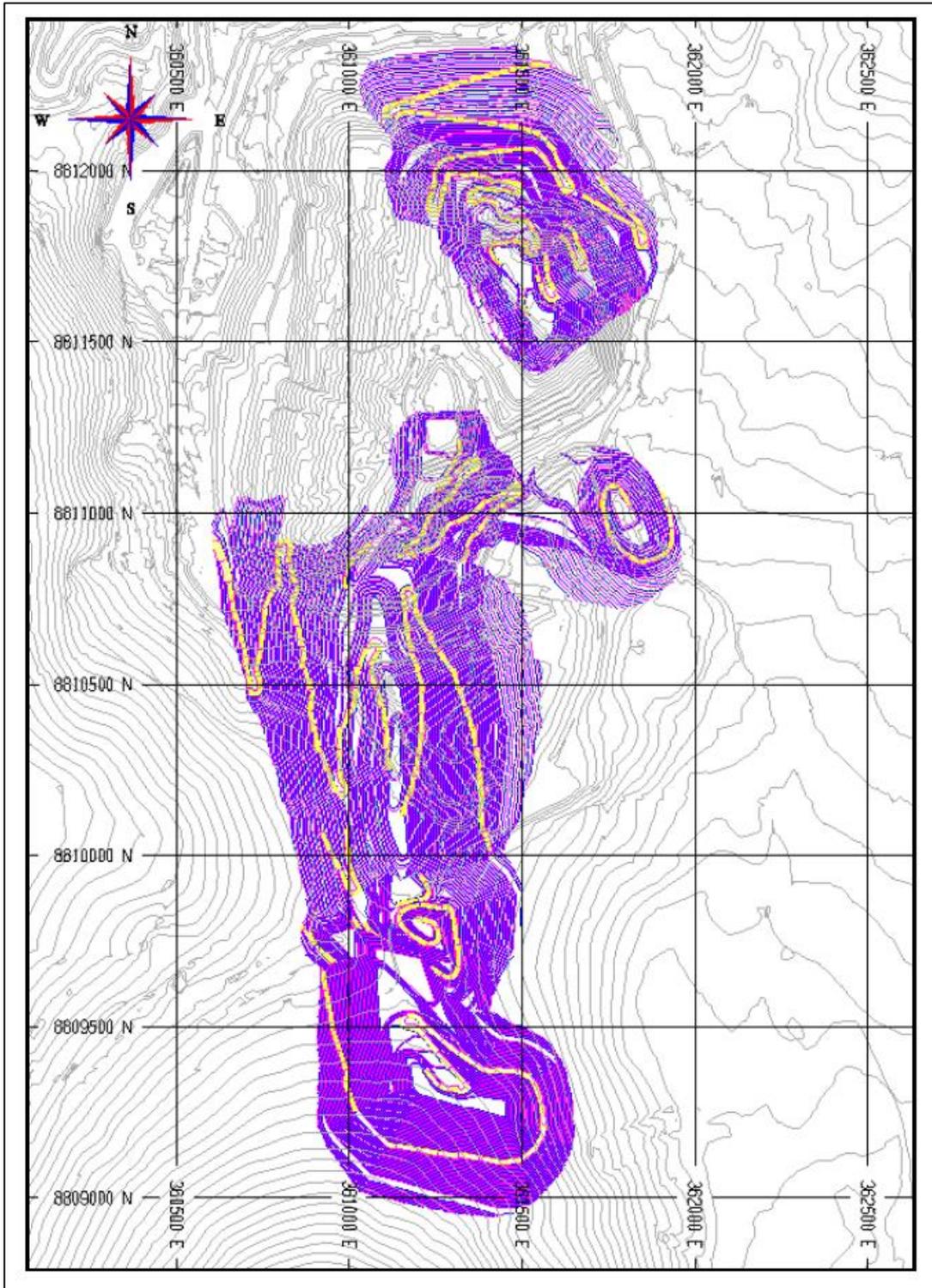
*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

*Figura N° 17: Diseño de Fases Tajo Norte*



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

*Figura N° 18: Diseño de Fases Tajo Smelter*



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

## **2.2.12. Estudio Geomecánico Detallado**

Los parámetros geotécnicos utilizados para la optimización y diseño del tajo fueron diferenciados en 47 sectores geotécnicos de acuerdo al estudio “Estabilidad de Taludes Tajo Norte – Smelter – Marcapunta” desarrollado por DCR Ingenieros SRL del 2016. Para la optimización, se actualizo algunos sectores considerando áreas de relleno o botaderos.

### ***2.2.12.1. Angulo de Talud del Tajo***

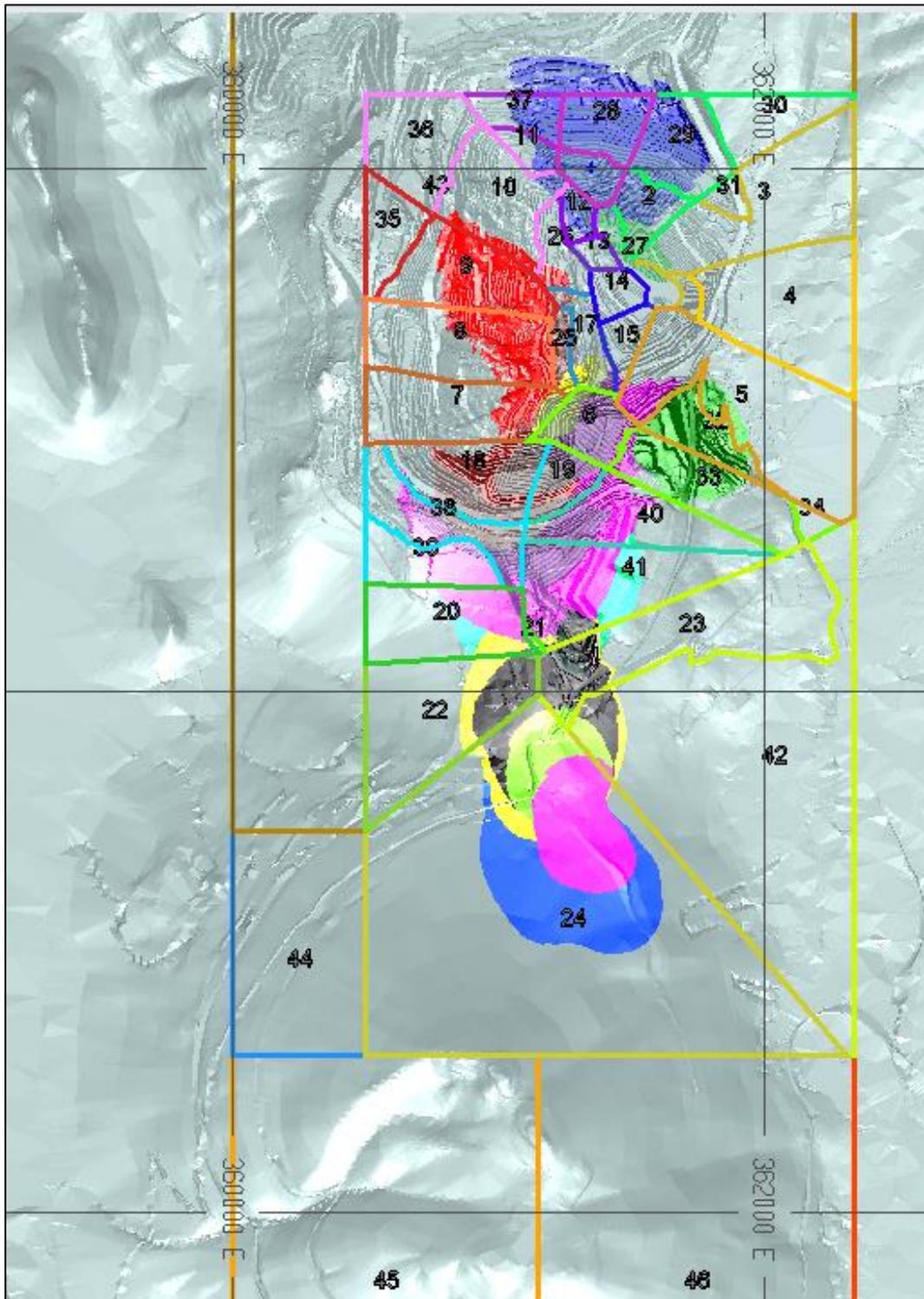
Los ángulos utilizados para la optimización del tajo fueron los ángulos global de Talud (AGT) para cada sector, dichos ángulos se presentan en la tabla 15 y la Figura 19 muestra los sectores geotécnicos.

**Tabla N° 15: Parámetros Geotécnicos para el Diseño del Tajo**

# SECTOR	AIR (°)	ATB (°)	AGT (°)
1	38	65	36.6
2	36	60	39.1
3	34	55	37.6
4	43	60	40.9
5	31	60	28.5
6	37	60	33
7	24	40	24
8	24	40	24.3
9	24	40	26.2
10	27	50	25.9
11	35	55	31.3
12	30	50	29.2
13	28	55	27.9
14	35	55	28
15	39	55	34.1
16	43	60	26.6
17	35	55	30.2
18	28	55	28.9
19	32	53	30
20	30	53	29.9
21	32	53	31.7
22	28	53	29.1
23	32	53	31.6
24	42	60	31.3
25	35	55	31.4
26	30	50	26.7
27	42	60	36.8
28	18.4	35	20
29	18.4	35	20
30	42	60	39.1
31	18.4	35	20
32	18.4	35	20
33	18.4	35	20
34	37	60	33
35	18.4	35	20
36	18.4	35	20
37	18.4	35	20
38	18.4	35	20
39	31	55	28.9
40	18.4	35	20
41	18.4	35	20
42	32	55	30.5
43	28	53	29.1
44	28	53	29.1
45	28	53	28.7
46	32	53	31.6
47	42	60	39.5

**Fuente: Elaboración Propia.**

*Figura N° 19: Sectores Geotécnicos*



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

### 2.2.12.2. Angulo de Talud de Botadero

Los diseños operativos que se tienen en el Botadero Condorcayán, se basan en el estudio de estabilidad de Taludes realizados por DCR Ingenieros SRL, 2008, y actualizados por SVS Ingenieros SAC, 2009, para su incorporación en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Ampliación de Operaciones a 18ktpd en Abril del 2010, por el cual se tienen estas recomendaciones en diseño y descarga del material.

La construcción del botadero se realizara por recrecimiento sucesivo en rebanada o bancos y se obtiene empleando taludes intermedios 1.4H:1V (equivalente 35.54° de conformidad con el ángulo de reposo del desmonte), altura de 12m. y ancho de bermas intermedias de 19.2 m o 15.6 m dependiendo de si el apilamiento se encuentra frente al tajo Norte o no, respectivamente. El talud general que se genera con esta disposición se muestra en la tabla 16.

**Tabla N° 16: Características de Apilamiento de Desmonte**

PREGRESIVA RESPECTO A DIQUE DE RETENCION		TALUD INTERMEDIO	ANCHO DE BERMA	ALTURA DE BANCOS (m)	TALUD DE APILAMIENTO GENERAL	DESCRIPCION
DE	A	ENTRE BANCOS	INTERMEDIA (m)			
0+025	1+025	1.4H:1V	19.2	12	3.0H:1V	FRENTE A TAJO NORTE
OTROS		1.4H:1V	19.2	12	2.7H:1V	OTROS FRENTE

**Fuente: Elaboración Propia.**

De acuerdo con los análisis de estabilidad desarrollados para el proyecto, los taludes empleados en el diseño son estables bajo solicitaciones estáticas y sísmicas.

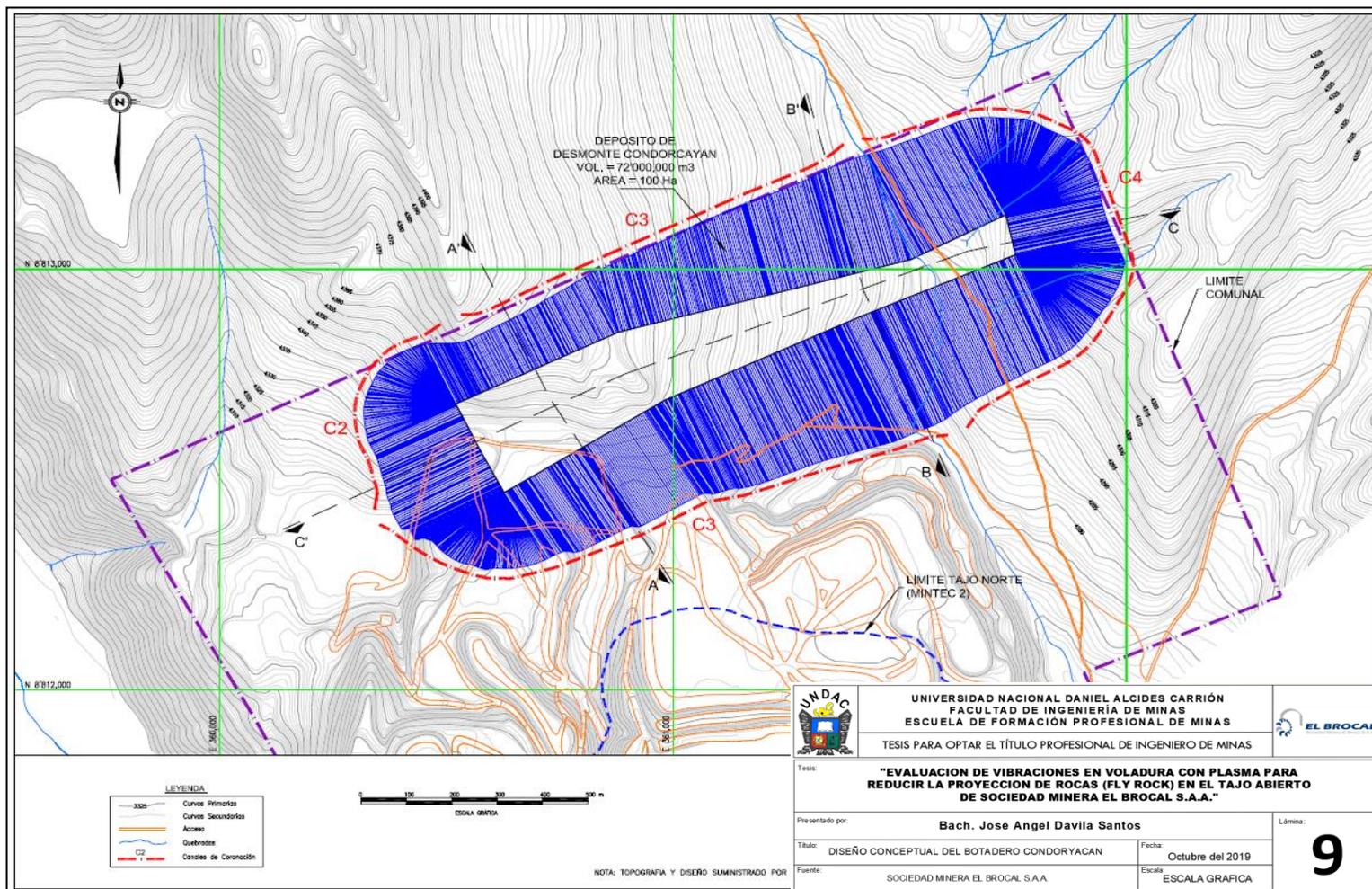
En la Tabla 17 se presentan los resultados del análisis de estabilidad de taludes para las secciones A, B y C consideradas como más críticas en el botadero de desmonte Condorcayán (ver Láminas N° 9 y Lámina N° 10).

**Tabla N° 17: Resultados Análisis Estabilidad Botadero Condorcayán**

Secciones Analizadas	Estatica	Pseudoestatica
A-A'	1.53	1.05
B-B'	1.52	1.04
C-C'	1.51	1.04

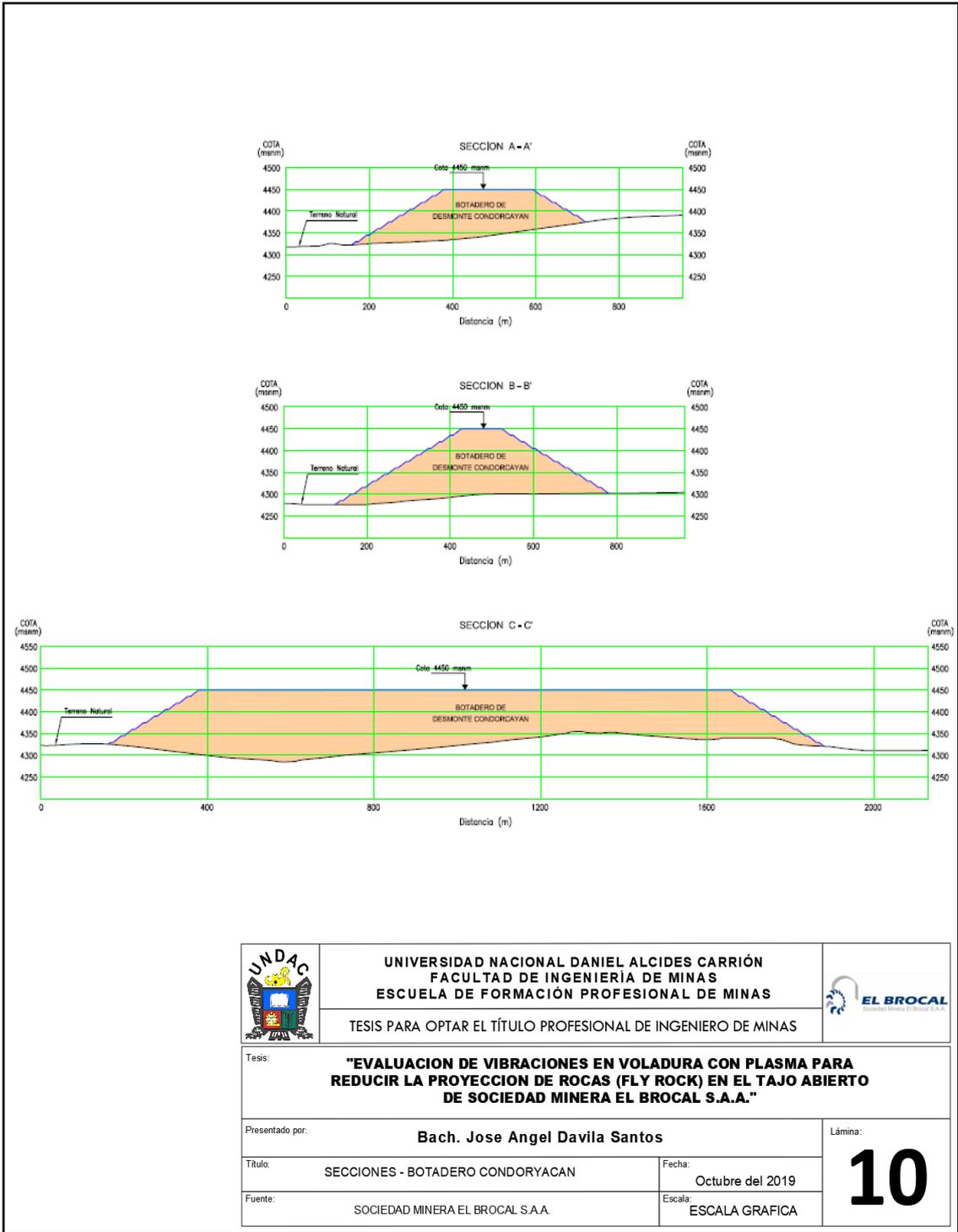
**Fuente: Elaboración Propia.**

Según los resultados obtenidos del análisis de estabilidad, los factores de seguridad obtenidos cumplen con lo exigido en la normativa vigente, por lo que, el botadero inicial de desmonte Condorcayán es estable bajo condiciones tanto estáticas como sísmicas, asumiendo que las condiciones en el campo no varían significativamente con respecto a las modeladas en este análisis.



**Lámina N° 9: Diseño Conceptual del Botadero Condorcayán**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**



**Lámina N° 10: Secciones – Botadero Concorcayán**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**

### 2.2.13. Diseño Detallado de los Polvorines

*Tabla N° 18: Diseño de Polvorines*

Contenedores	N°	Largo	Ancho	h	Area (m2)	Vol (m3)	Capacidad (Cajas)	Contenido
Contenedor (Accesorios de voladura)	N°01:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Digishot 15m.
Contenedor (Accesorios de voladura)	N°02:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Exanel 15m.
Contenedor 1 (Accesorios de voladura)	N°03:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Exanel 4.2m.
Contenedor 2 (Accesorios de voladura)	N°04:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Exanel 12.0m.
Contenedor 3 (Accesorios de voladura)	N°05:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Fanel 18m.
Contenedor 4 (Accesorios de voladura)	N°06:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Fanel 18m.
Contenedor 5 (Accesorios de voladura)	N°07:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Exanel de 18m y 12m.
Contenedor 6 (Accesorios de voladura)	N°08:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Exanel de 9.1 0m.
Contenedor 7 (Accesorios de voladura)	N°09:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no eléctrico: Exanel 12x800m, fulminante N°08 y guía ensamblada.
Contenedor 8 (Accesorios de voladura)	N°09:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no eléctrico: Exanel 12x800m, fulminante N°08 y guía ensamblada.
Contenedor 9 (Accesorios de voladura)	N°09:	6	2.5	2.8	15	42	230	detonador no electrónico: Digishot.
						<b>462</b>	<b>2530</b>	<b>Cajas en total - Superficie</b>

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

### **2.2.13.1. Diez (10) contenedores:**

Licencia de funcionamiento mediante Resolución de Gerencia N° 147-2014-GEPP-SUCAMEC (02 contenedores), Resolución de Gerencia N° 48-2013-GEPP-SUCAMEC (06 contenedores), y mediante Resolución de Gerencia N° 01277-2015-GEPP-SUCAMEC (02 contenedores) con una vigencia de cinco (05 años) a partir de la fecha de expedición. El piso es del tipo propio de los contenedores.

### **2.2.13.2. Ocho (08) Polvorines Tipo A (subterráneos)**

Para el almacenamiento de explosivos y accesorios de voladura con las siguientes características:

Poseen la licencia de funcionamiento mediante la Resolución de Gerencia N° 1013-2013-GEPP-SUCAMEC del 13 de Agosto del 2013 y con una vigencia de 05 años a partir de la fecha de expedición.

1. **Polvorín N°01** (Booster): Largo=8.60m, ancho= 1.80m, altura=3.50, área=15.48m<sup>2</sup>, volumen=54.18m<sup>3</sup>, capacidad=200cajas
2. **Polvorín N°02** (Cordón Detonante): Largo=8.60m, ancho= 1.80m, altura=3.50, área=15.48m<sup>2</sup>, volumen=54.18m<sup>3</sup>, capacidad=200 cajas.

3. **Polvorín N°03** (Emulsión Encartuchada): Largo=8.60m, ancho=1.80m, altura=3.50, área=15.48m<sup>2</sup>, volumen=54.18m<sup>3</sup>, capacidad=330 cajas.
4. **Polvorín N°04** (Emulsión Encartuchada): Largo=8.60m, ancho=1.80m, altura=3.50, área=15.48m<sup>2</sup>, volumen=54.18m<sup>3</sup>, capacidad=330 cajas.
5. **Polvorín N°05** (Emulsión Encartuchada): Largo=8.60m, ancho=1.80m, altura=3.50, área=15.48m<sup>2</sup>, volumen=54.18m<sup>3</sup>, capacidad=360 cajas, contiene Emulex 65 1 1/2x12.
6. **Polvorín N°06** (Emulsión Encartuchada): Largo=14.30m, ancho= 2.60m, altura=3.50, área=37.18m<sup>2</sup>, volumen=130.13m<sup>3</sup>, capacidad=360 cajas, contiene Emulex 65 1 1/2x12.
7. **Polvorín N°07** (Emulsión Encartuchada): Largo=14.70m, ancho= 2.60m, altura=3.50, área=38.22m<sup>2</sup>, volumen=133.77m<sup>3</sup>, capacidad=380 cajas, contiene Emulex 100 1 1/4x12.
8. **Polvorín N°08** (Emulsión Encartuchada): Largo=15.13m, ancho= 2.60m, altura=3.50, área=39.34m<sup>2</sup>, volumen=137.69m<sup>3</sup>, capacidad=380 cajas, contiene Emulex 100 1 1/4x12.

### ***2.2.13.3. Un polvorín Tipo A (Superficial)***

Para el almacenamiento de Nitrato de Amonio con las siguientes características:

Polvorín de Nitrato de Amonio: Largo=24.85m, ancho=11.90m, altura=4.25m, área=295.72m<sup>2</sup>, Volumen=1256.79m<sup>3</sup>; capacidad = 180TN.

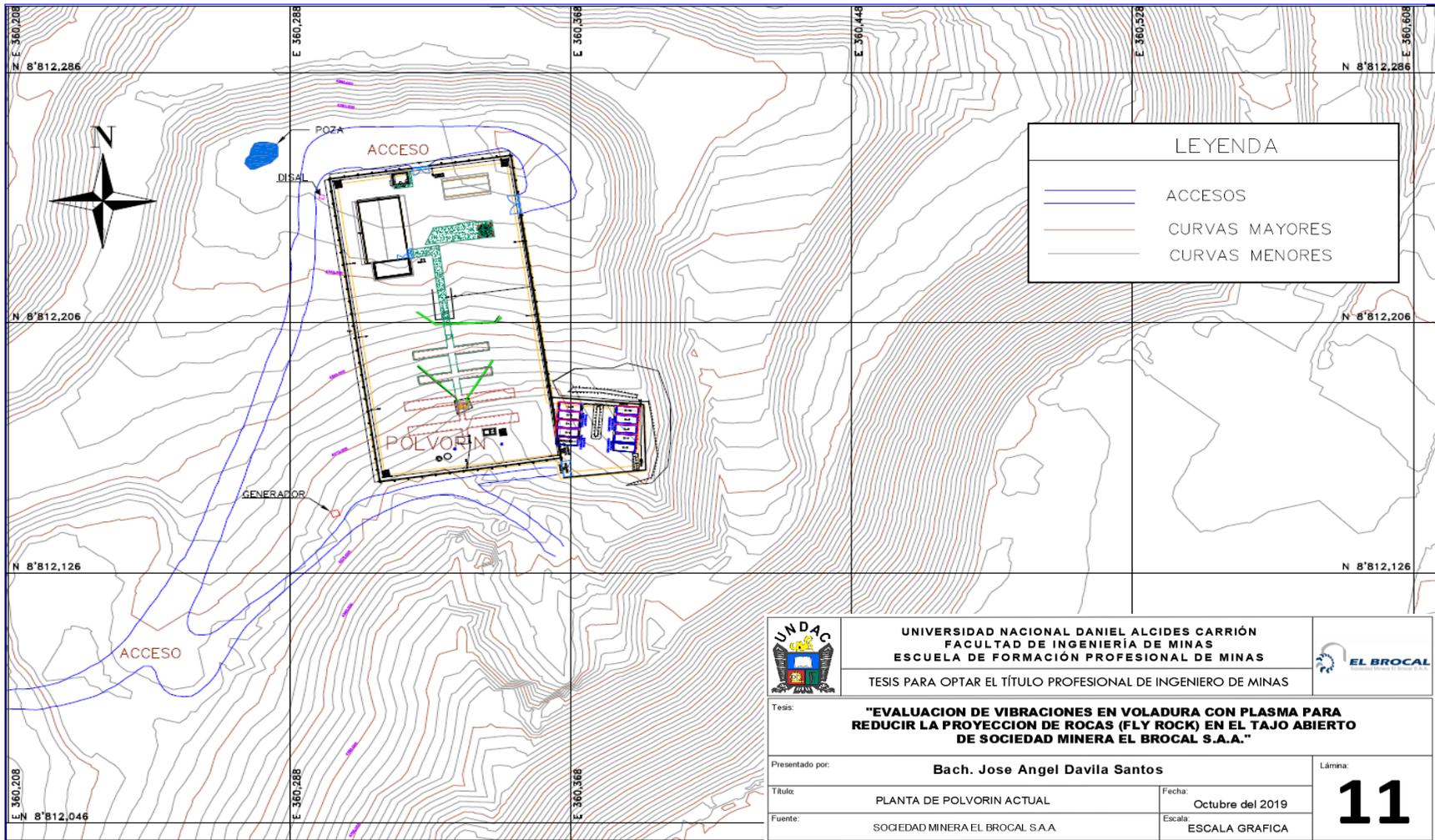
Dicho polvorín posee la licencia de funcionamiento mediante Resolución N°2118-2013-GEPP-SUCAMEC del 14 de Noviembre del 2013 y con una vigencia de 05 años.

#### ***2.2.13.4. Un silo***

Para el almacenamiento de Emulsión Matriz, con las siguientes características:

Silo (Emulsión Matriz): Diámetro=3.60m, volumen=53m<sup>3</sup>.

Dicho silo cuenta con licencia de funcionamiento con Resolución N°2018-2014-GEPP-SUCAMEC del 07 de Enero del 2014 con una vigencia de 05 años.



**Lámina N° 11: Planta de Polvorin Actual**

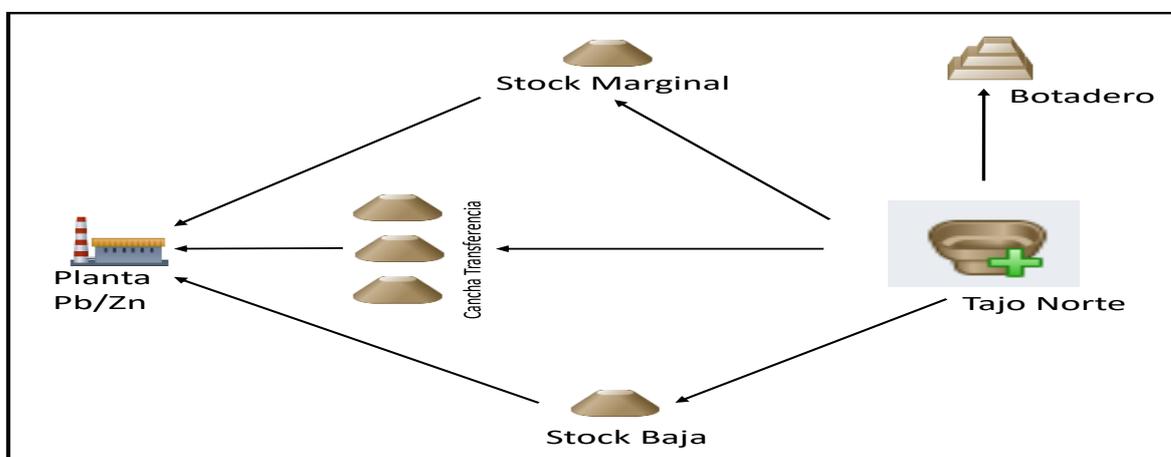
**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**

## 2.2.14. Método de Minado

El Plan de minado contempla un sistema de alimentación a chancado de 9.6 ktpd aproximadamente para el 2018, para la cual se tendrá un producción mina de 28.4 Mt, minando un total de 3.5 Mt de mineral con un desbroce de 7.11 en promedio.

El mineral extraído de mina será enviado a stocks, ya sea de mineral Marginal, Mineral de baja ley o a la cancha de transferencia (CT). El manejo del mineral de CT tendrá la prioridad para alimentar a la chancadora y en el caso de no cubrir el requerimiento, se enviará el mineral de los stocks. El esquema del movimiento de material de mina se muestra en la Figura 20.

*Figura N° 20: Esquema Movimiento Material Mina*



*Fuente: Elaboración Propia.*

El Plan Operativo para el año 2018 de la mina superficial Tajo Norte se estima minado de 3,509 Kt de mineral con una ley de 2.75%Zn y 1.48Pb y 1.51 oz/t Ag, con un movimiento de desmonte de 24,960 kt a una relación desbroce de 7.11 : 1 (estéril : mineral), como se muestra en la Tabla 19. La Lámina N° 12 muestra la topografía final del tajo de acuerdo al plan de minado 2018.

**Tabla N° 19: Plan de Minado 2018**

		Jan-18	Feb-18	Mar-18	Apr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Aug-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dec-18	2018
Days in Period		29	28	33	28	31	32	29	31	32	29	30	33	365
<b>Ore to Stock_PB/ZN</b>	Kt	262	260	229	207	250	289	290	303	397	268	160	39	2,954
Zn Grade	%	2.89	3.10	2.92	2.94	3.18	3.10	2.70	2.27	2.54	2.65	1.94	2.32	2.75
Pb Grade	%	0.78	1.05	1.11	1.55	1.67	1.66	1.76	1.61	2.00	1.46	1.25	1.46	1.49
Ag Grade	Oz/t	0.61	1.49	1.26	1.22	2.38	3.12	1.23	0.58	1.64	1.31	1.60	1.87	1.51
ZnOx Grade	%	0.29	0.34	0.33	0.33	0.39	0.38	0.36	0.29	0.32	0.32	0.38	0.67	0.34
PbOx Grade	%	0.27	0.39	0.37	0.35	0.41	0.45	0.46	0.29	0.38	0.38	0.28	0.25	0.37
Fe Grade	%	13.81	20.31	16.09	13.74	15.06	11.55	11.13	9.82	8.38	7.42	11.00	11.53	12.28
<b>Waste to Dump</b>	Kt	1,916	1,791	2,188	1,997	2,288	2,331	2,084	2,235	2,190	1,984	2,104	2,406	25,515
<b>Total Rock Mined</b>	Kt	<b>2,178</b>	<b>2,051</b>	<b>2,417</b>	<b>2,205</b>	<b>2,538</b>	<b>2,620</b>	<b>2,375</b>	<b>2,538</b>	<b>2,587</b>	<b>2,251</b>	<b>2,264</b>	<b>2,445</b>	<b>28,468</b>
<b>Strip Ratio</b>		<b>7.32</b>	<b>6.89</b>	<b>9.55</b>	<b>9.63</b>	<b>9.15</b>	<b>8.08</b>	<b>7.18</b>	<b>7.38</b>	<b>5.52</b>	<b>7.41</b>	<b>13.11</b>	<b>62.39</b>	<b>8.64</b>

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

En la Tabla 20 se muestra el detalle del plan de alimentación a chancadora, incluyendo los remanejos de material de Cancha de Transferencia y stocks.

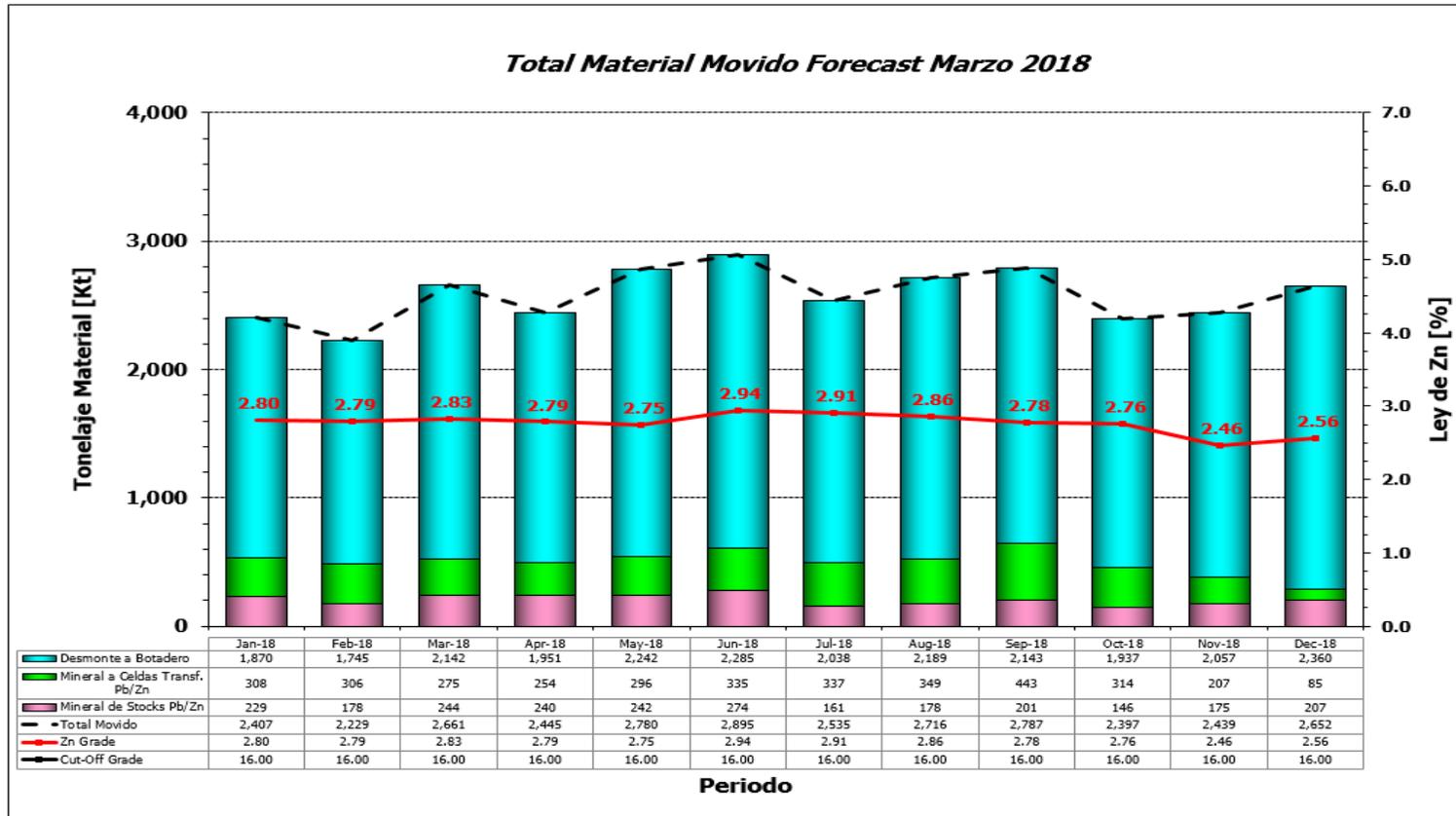
**Tabla N° 20: Plan de Alimentación a Planta Pb/Zn**

		Jan-18	Feb-18	Mar-18	Apr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Aug-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dec-18	2018
Days in Period		29	28	33	28	31	32	29	31	32	29	30	33	365
<b>Total Ore Mill</b>	Kt	<b>229</b>	<b>178</b>	<b>244</b>	<b>240</b>	<b>242</b>	<b>274</b>	<b>161</b>	<b>178</b>	<b>201</b>	<b>146</b>	<b>175</b>	<b>207</b>	<b>2,474</b>
Zn Grade	%	2.80	2.79	2.83	2.79	2.75	2.94	2.91	2.86	2.78	2.76	2.46	2.56	2.77
Pb Grade	%	0.76	0.84	0.93	1.07	1.18	1.35	1.52	1.67	1.74	1.77	1.62	1.61	1.30
Ag Grade	Oz/t	0.67	0.93	1.03	1.02	1.12	1.69	1.86	1.73	1.68	1.64	1.66	1.64	1.36
ZnOx Grade	%	0.28	0.30	0.31	0.31	0.33	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.36	0.39	0.33
PbOx Grade	%	0.25	0.29	0.32	0.33	0.34	0.37	0.41	0.40	0.39	0.38	0.35	0.35	0.35
Fe Grade	%	13.04	15.84	16.10	15.19	14.70	14.31	12.96	12.24	11.38	9.55	10.87	10.74	13.31

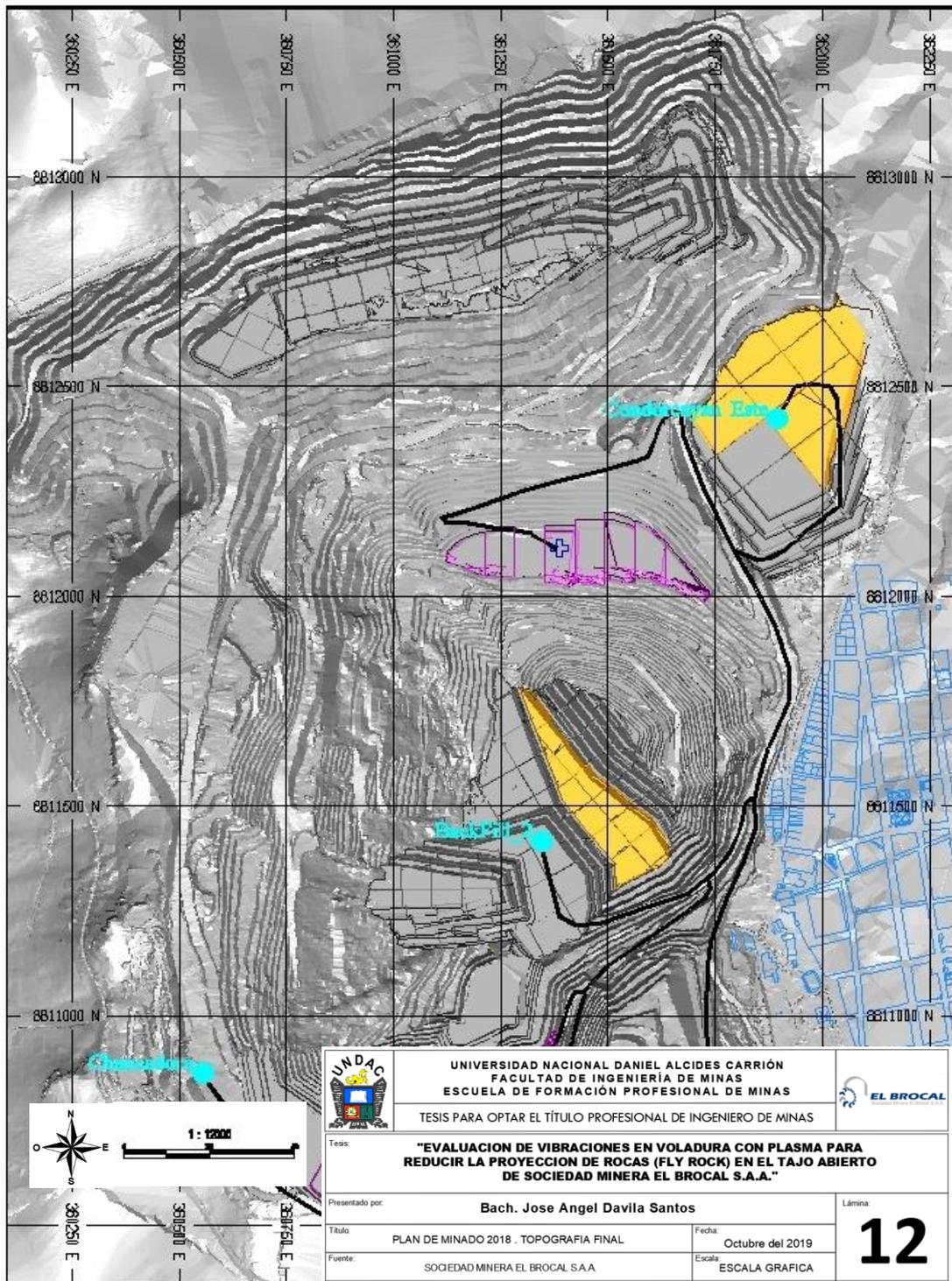
**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

En la Figura 21 se aprecia el movimiento de material que se realizará durante el 2018.

Figura N° 21: Movimiento de Material – Plan 2018



Fuente: Sociedad Minera El Brocal.



**Lámina N° 12: Plan de Minado 2018 – Topografía Final**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**

El área de minado se ampliará hacia la zona sur y Norte en las Fases 7 y 9 respectivamente. Para lo cual se requiere una ampliación en el área de minado de 34.4Ha, que representa un incremento de 20% al área aprobada en el EIA (166.7 Ha.)

El plan de minado para el 2018 se enfocara en las Fases 5, 6, 7 y 9; enviando 3.5Mt de mineral a las canchas de transferencias y 24.9Mt de Desmorte a los botaderos. El plan considera:

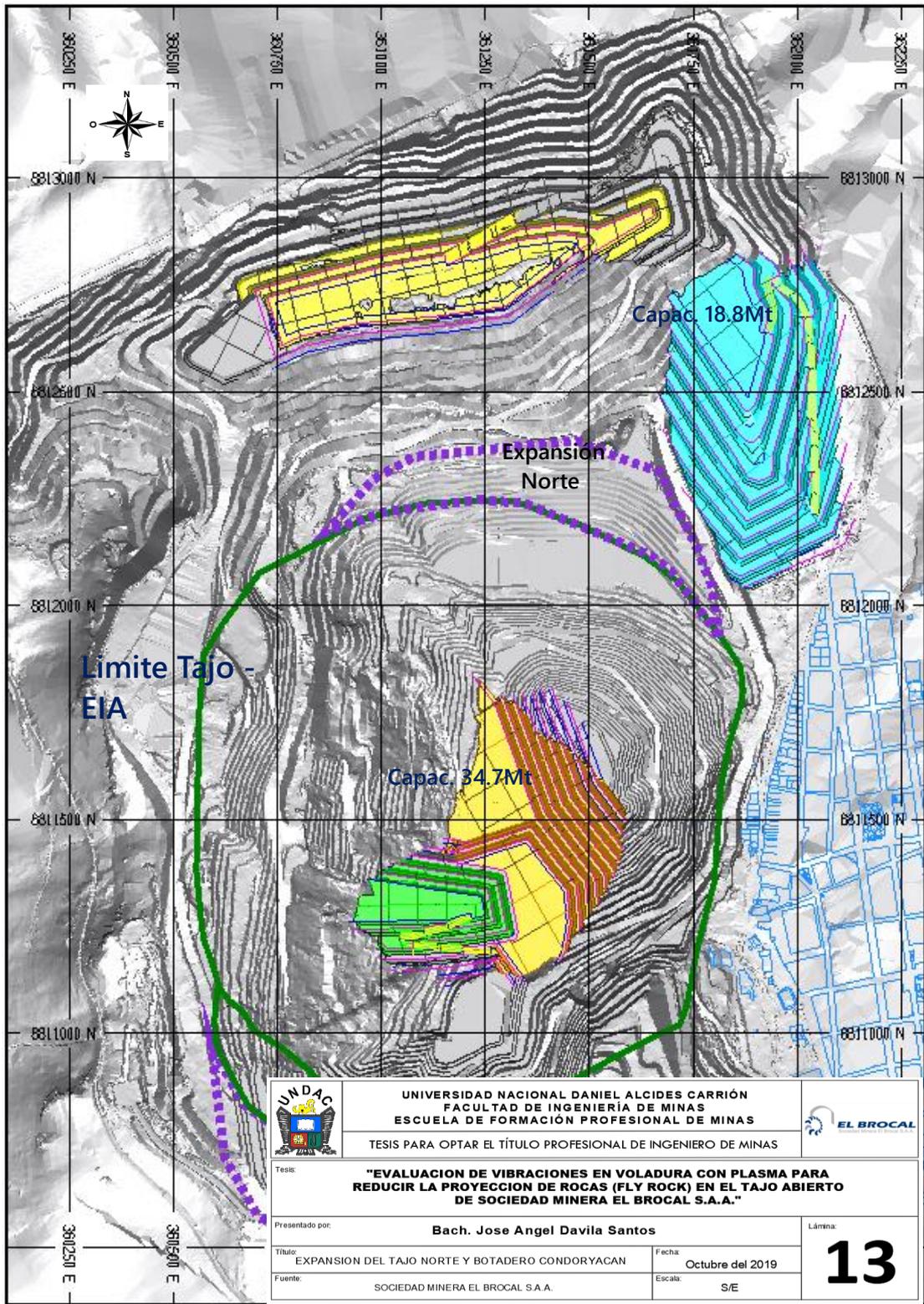
La Fase 05 aportará mineral a las canchas de transferencias de Enero a Noviembre del 2018.

La Fase 06 continuará el desbroce hasta el mes de Marzo 2018, y a partir de Abril empieza a enviar mineral a las canchas de transferencias.

La Fase 07 y 09 se inicia el desbroce en Marzo 2018, después de obtener los permisos del 4to ITS.

#### **2.2.15. Secuencia de descarga en botadero**

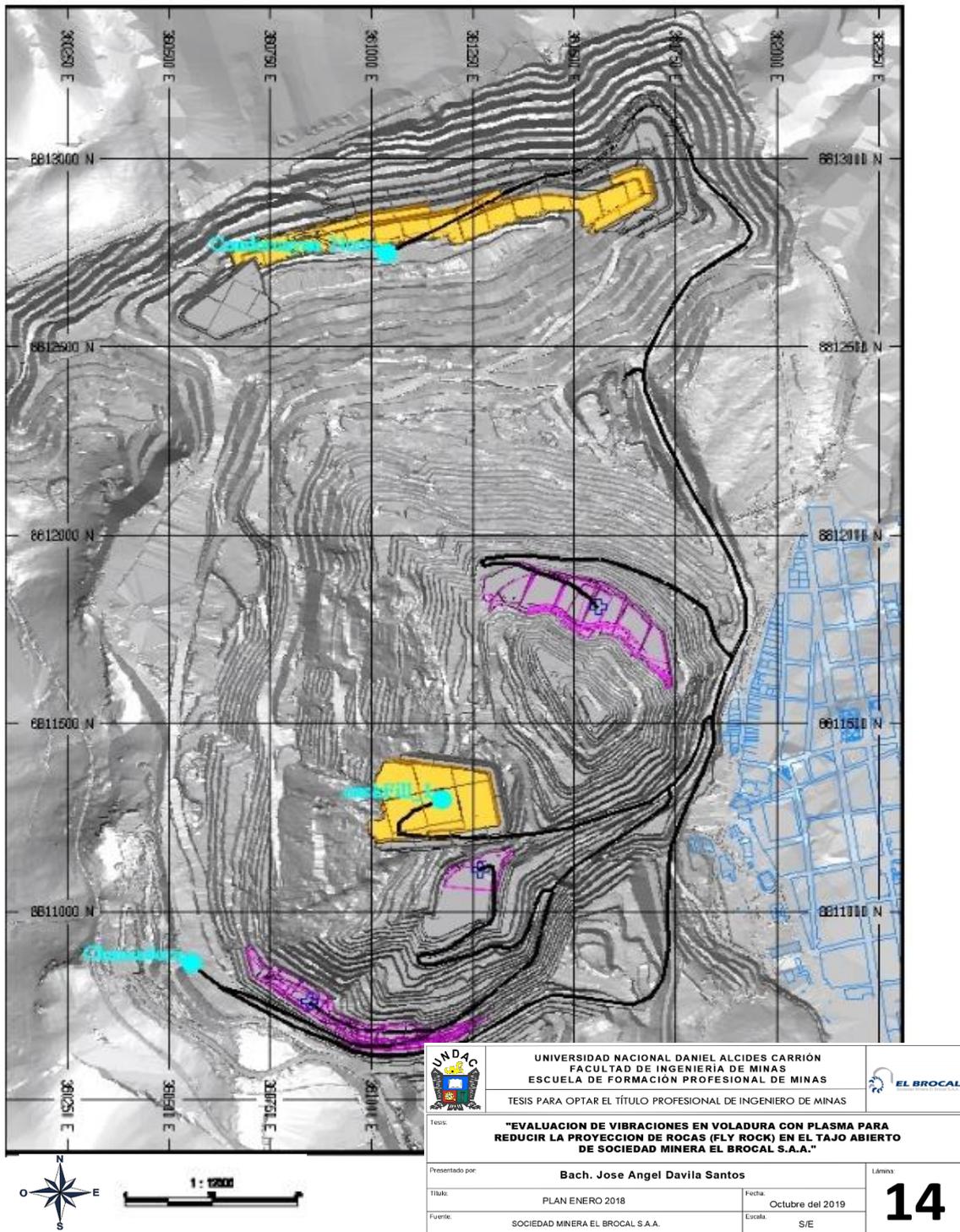
El botadero del Tajo Norte se continua completando algunas zonas del botadero Condorcayan hacia la parte norte para poder llegar a la capacidad máxima de dicho botadero, cumpliendo con los parámetros de diseño descritos en el punto 2.3.2, con un capacidad total de 55Mt como se muestra en la Figura 2-15. De acuerdo al plan de minado se dispondrá un máximo de 25Mt de desmorte, la cual por operatividad en las zonas de descargas también se cuentas con las Siguietes zonas de descarga como: la zona del Backfill 1ra etapa que solo dispondrá de una capacidad 2.2 MT para el 2018.



**Lámina N° 13: Expansión del Tajo Norte y Botadero Condor Cayán**

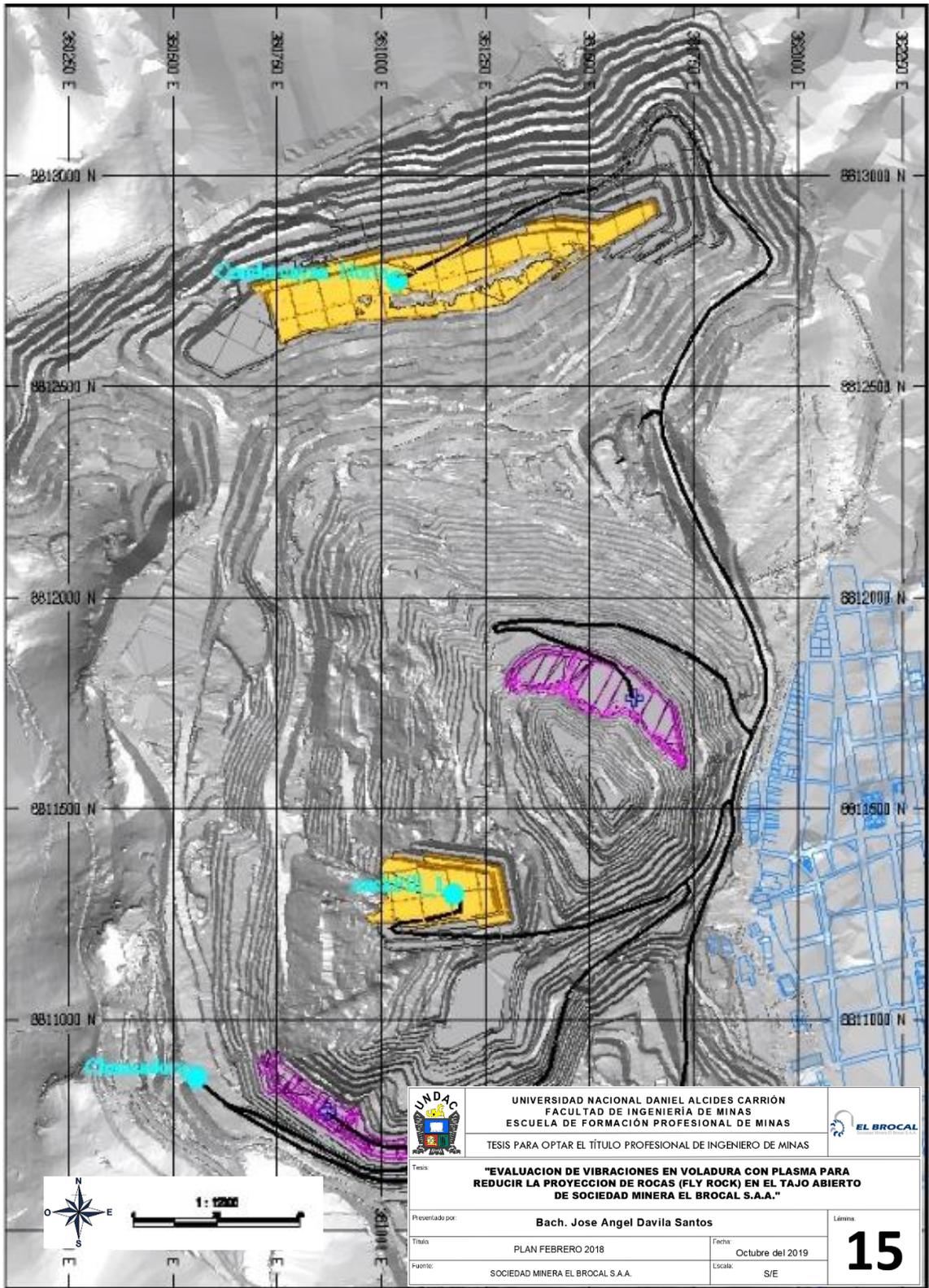
**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**

## 2.2.16. Plan de Minado 2018-Mensualizado



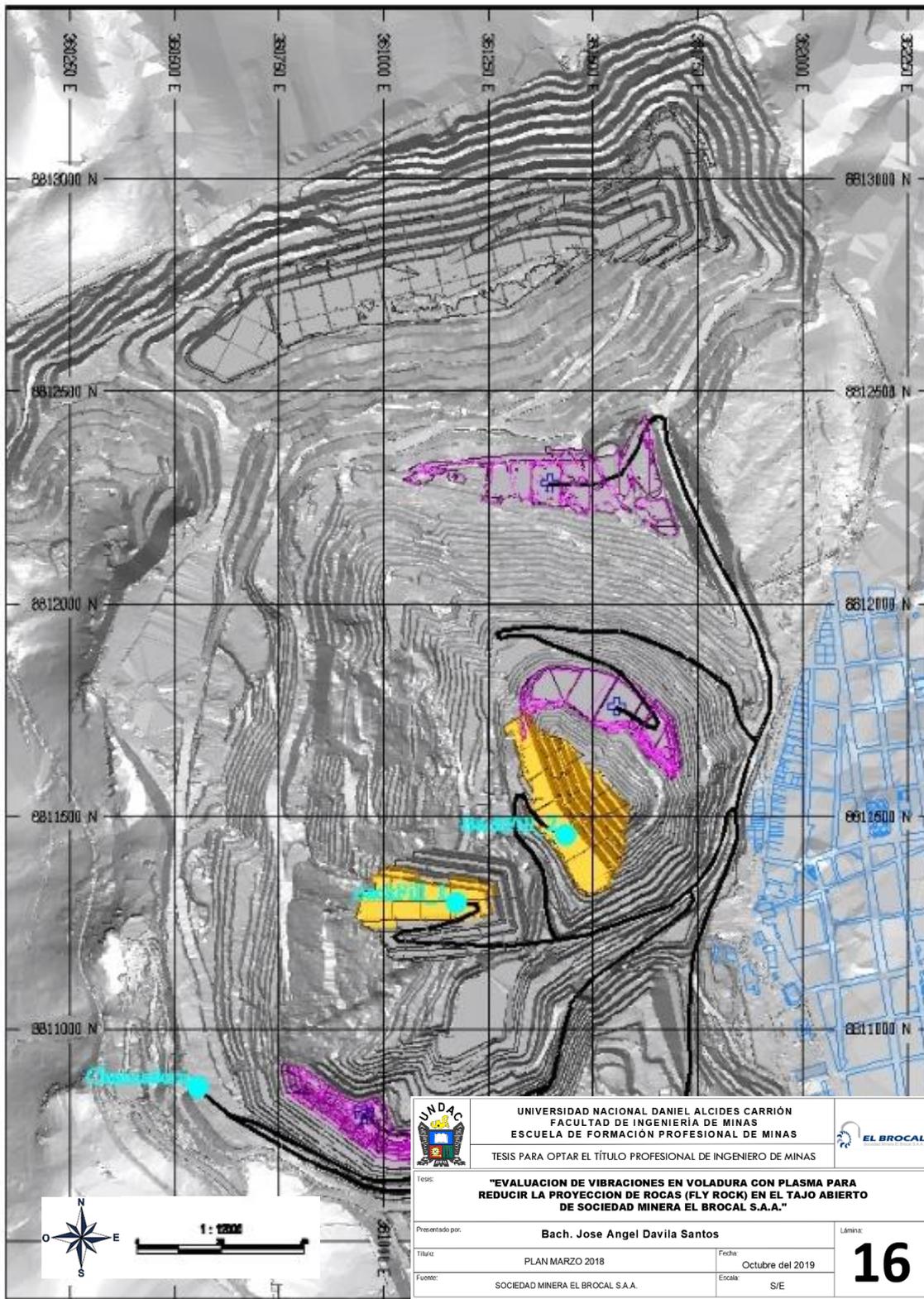
**Lámina N° 14: Plan Enero 2018**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal. S.A.A.**



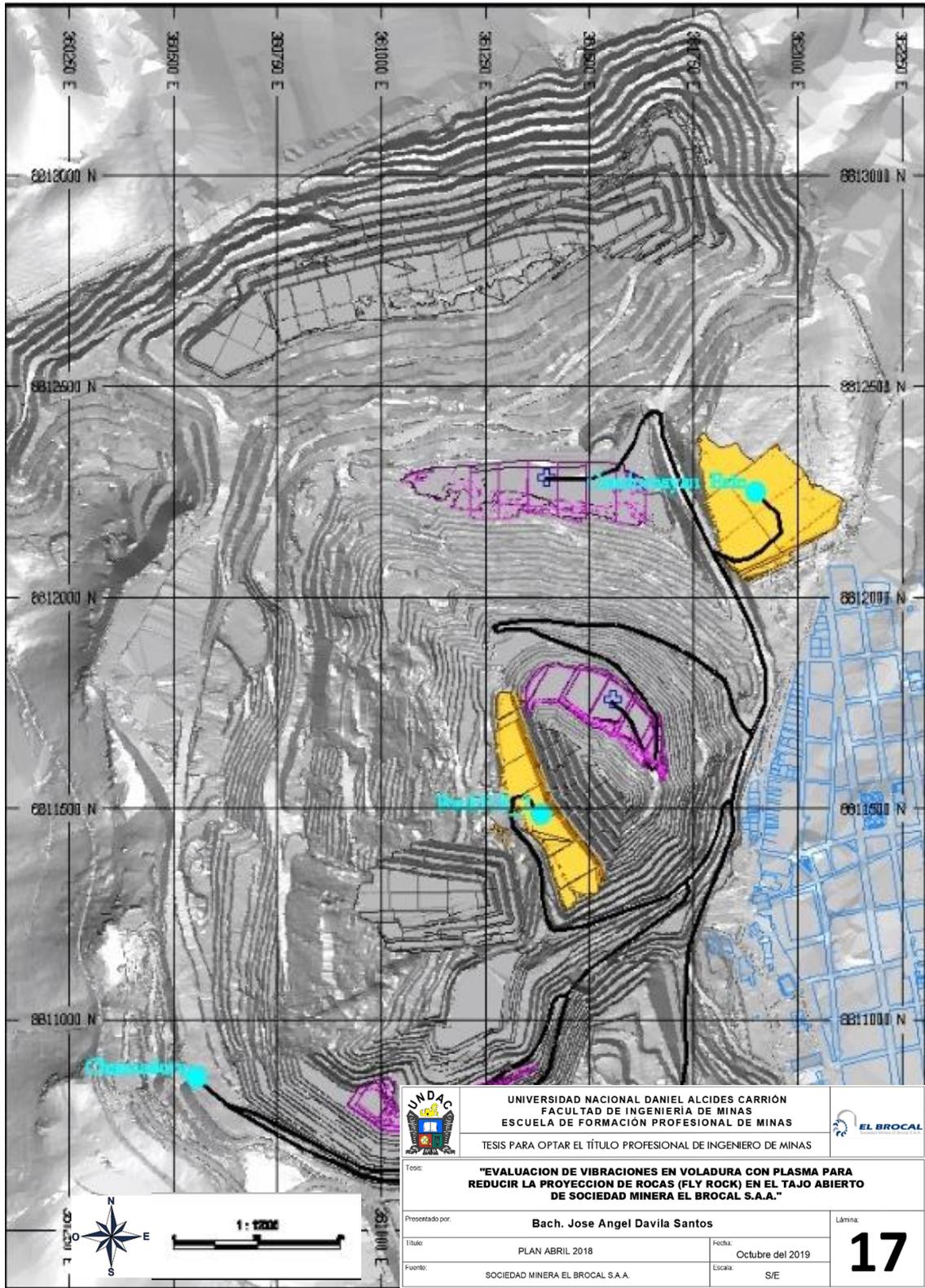
*Lámina N° 15: Plan Febrero 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



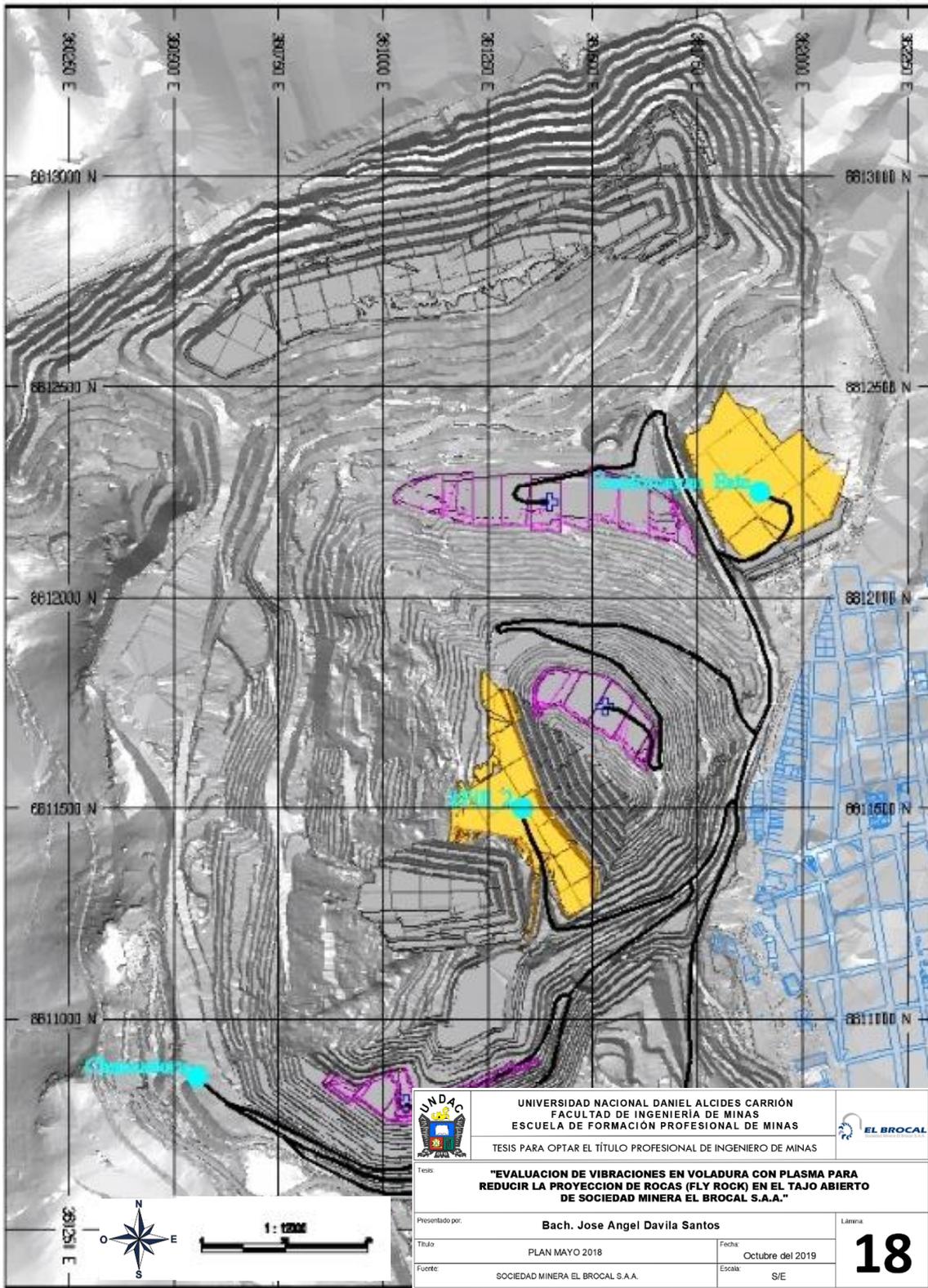
**Lámina N° 16: Plan Marzo 2018**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**



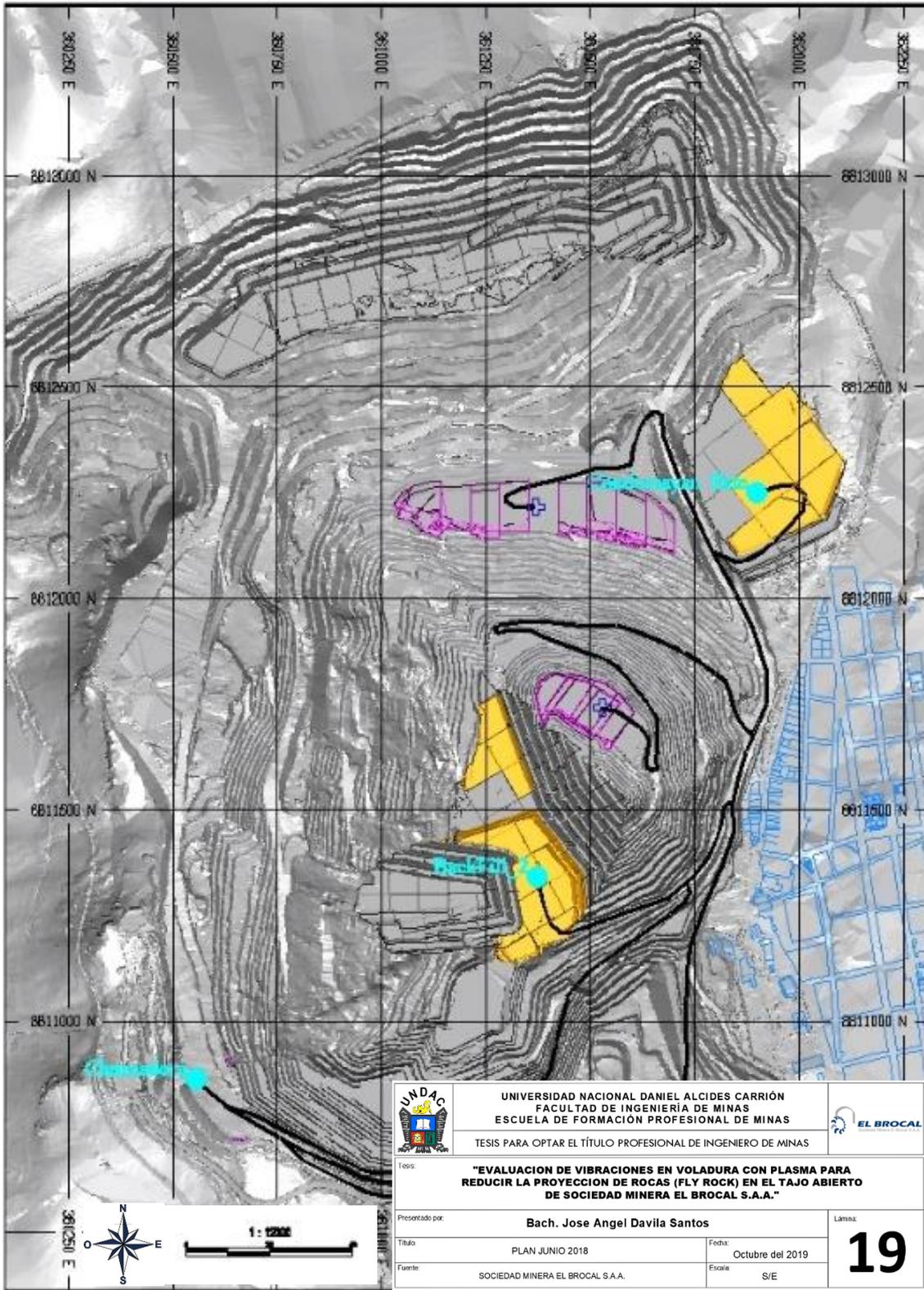
*Lámina N° 17: Plan Abril 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



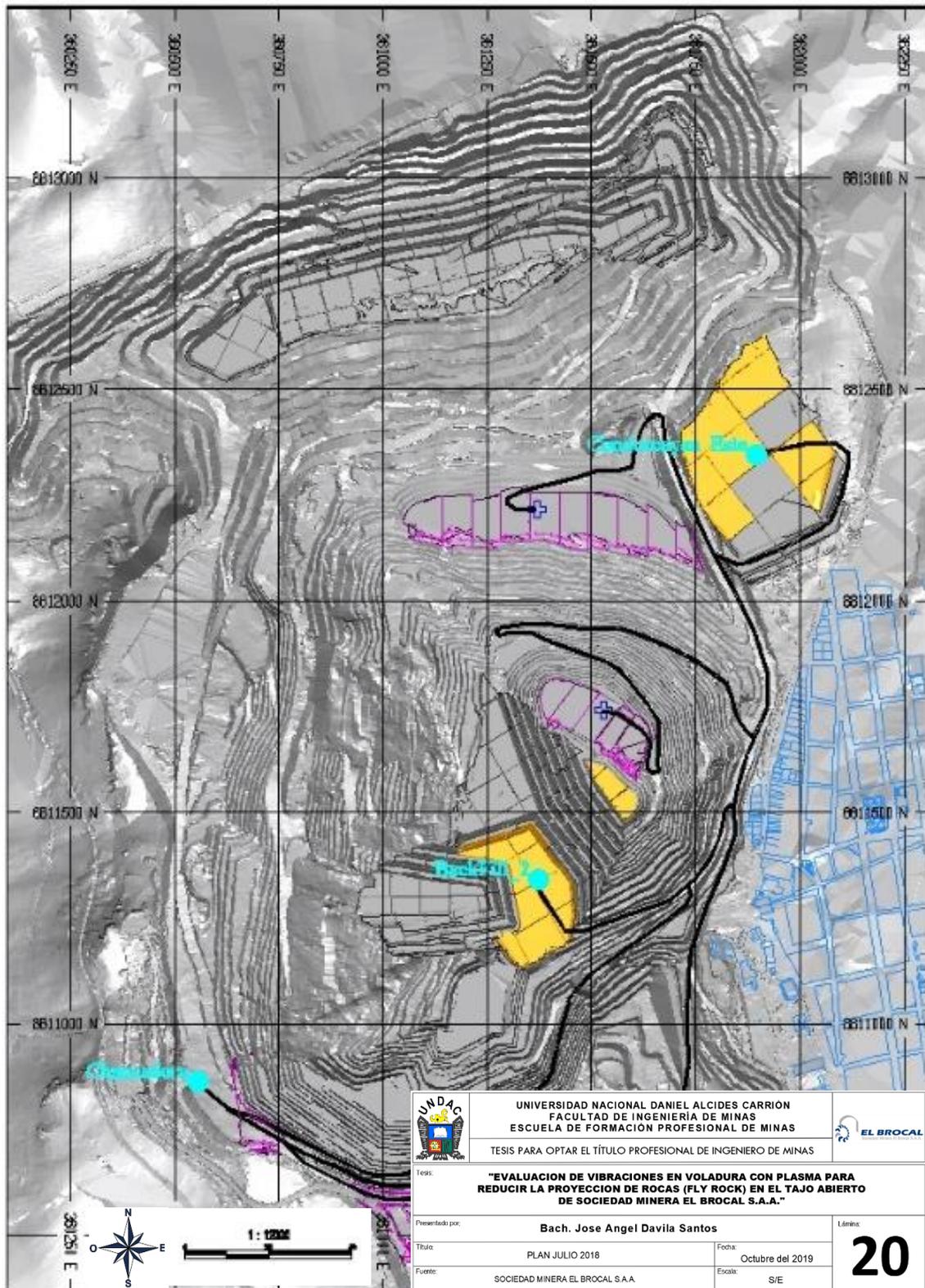
*Lámina N° 18: Plan Mayo 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



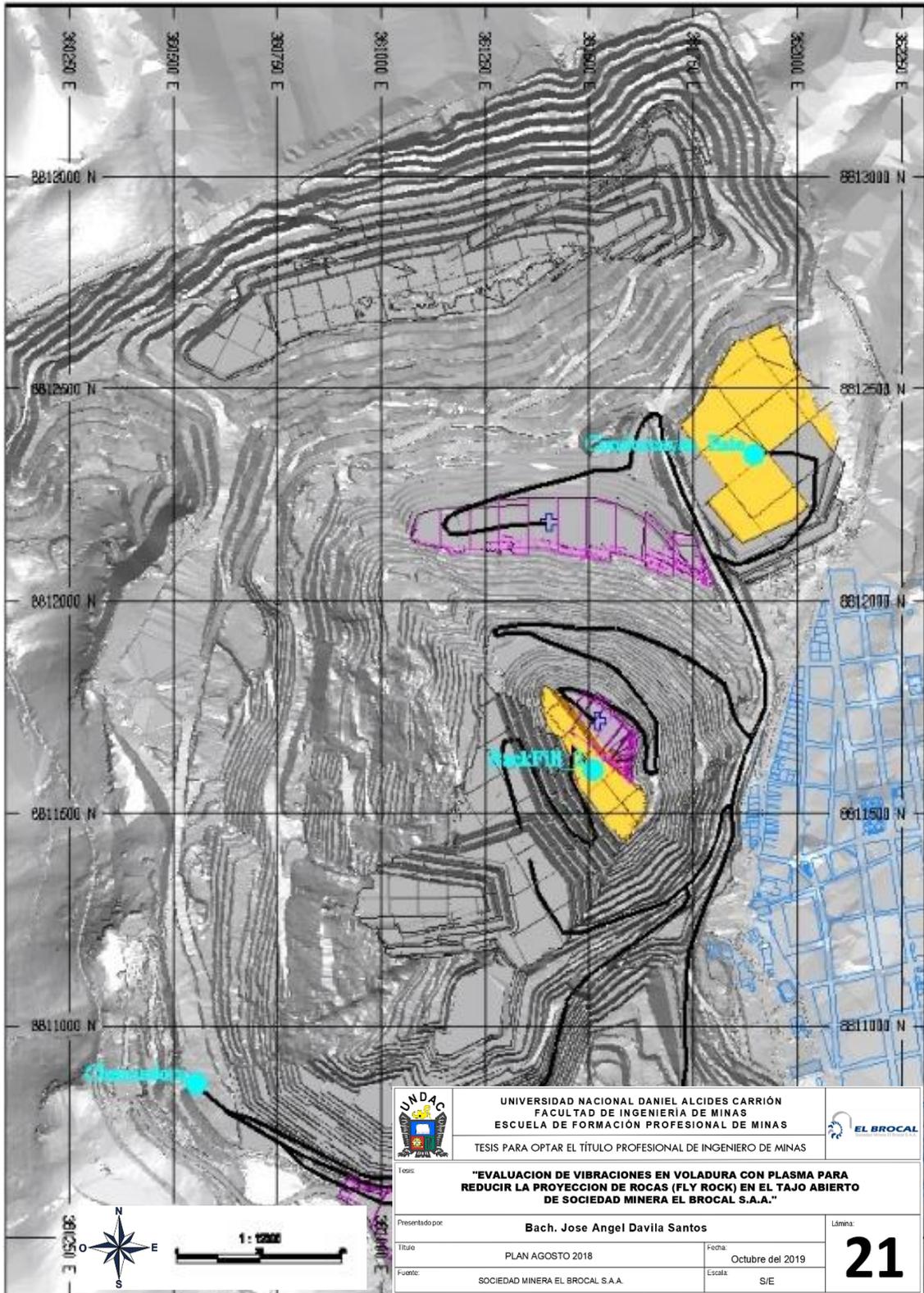
*Lámina N° 19: Plan Junio 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



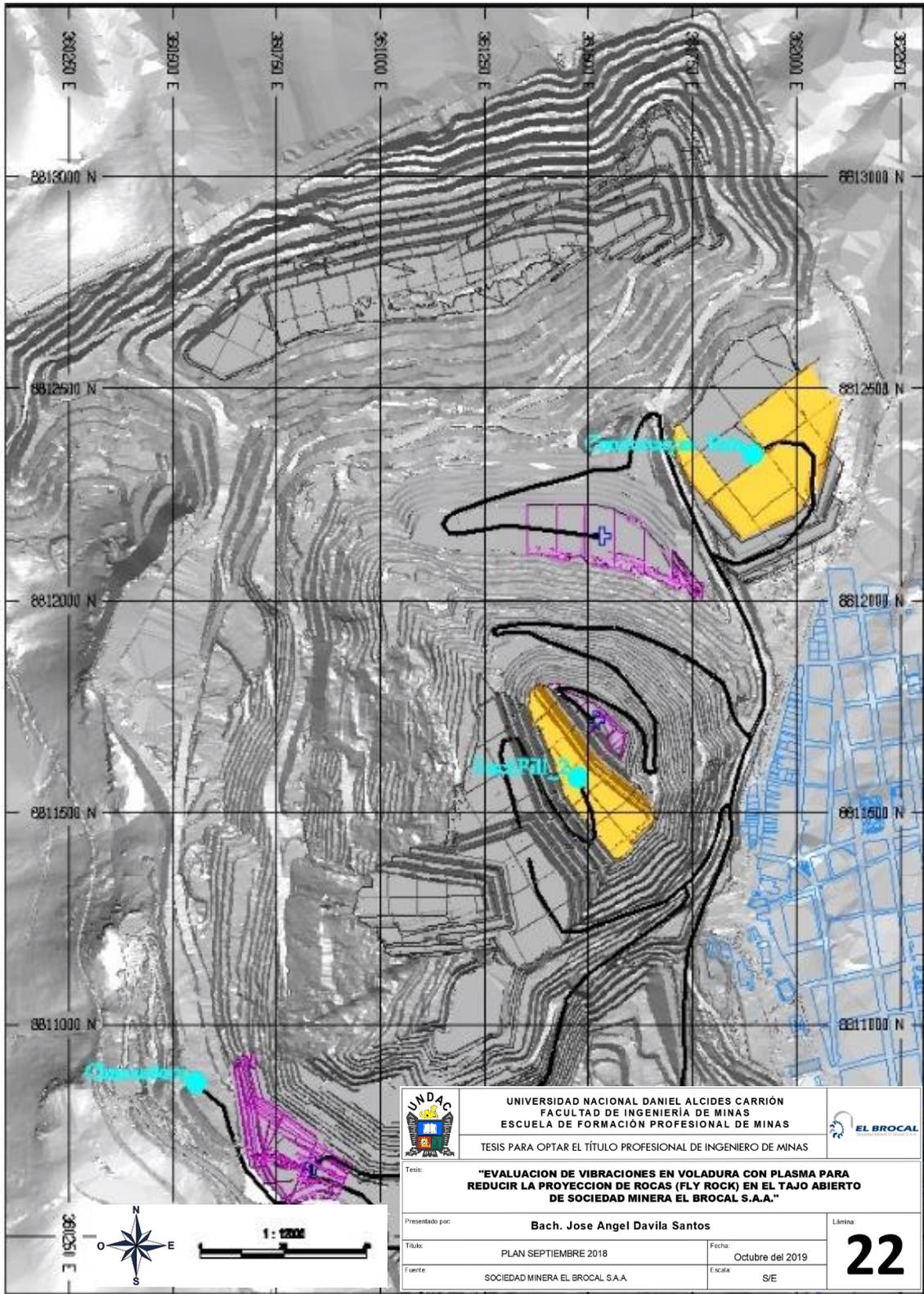
*Lámina N° 20: Plan Julio 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



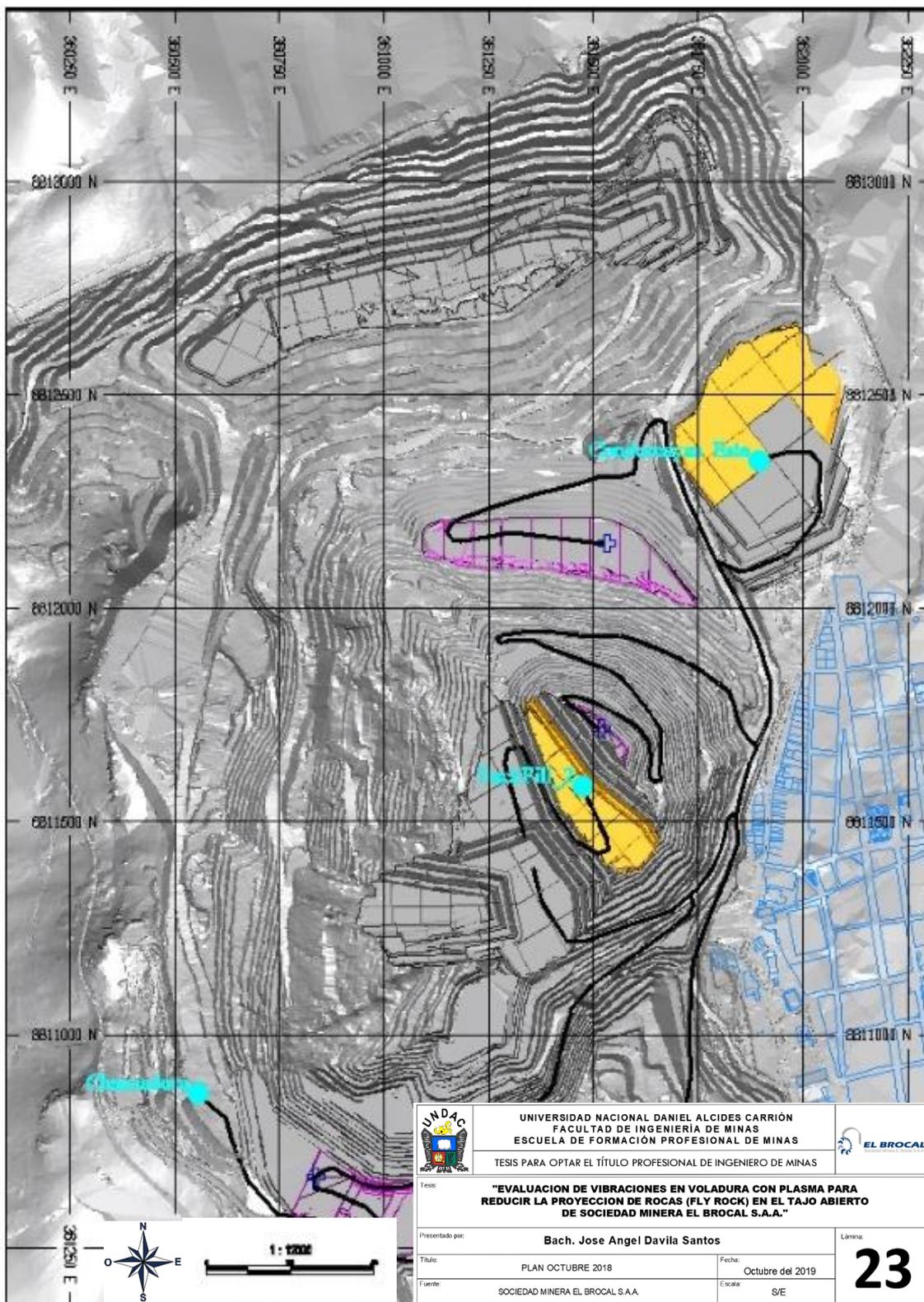
**Lámina N° 21: Plan Agosto 2018**

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.**



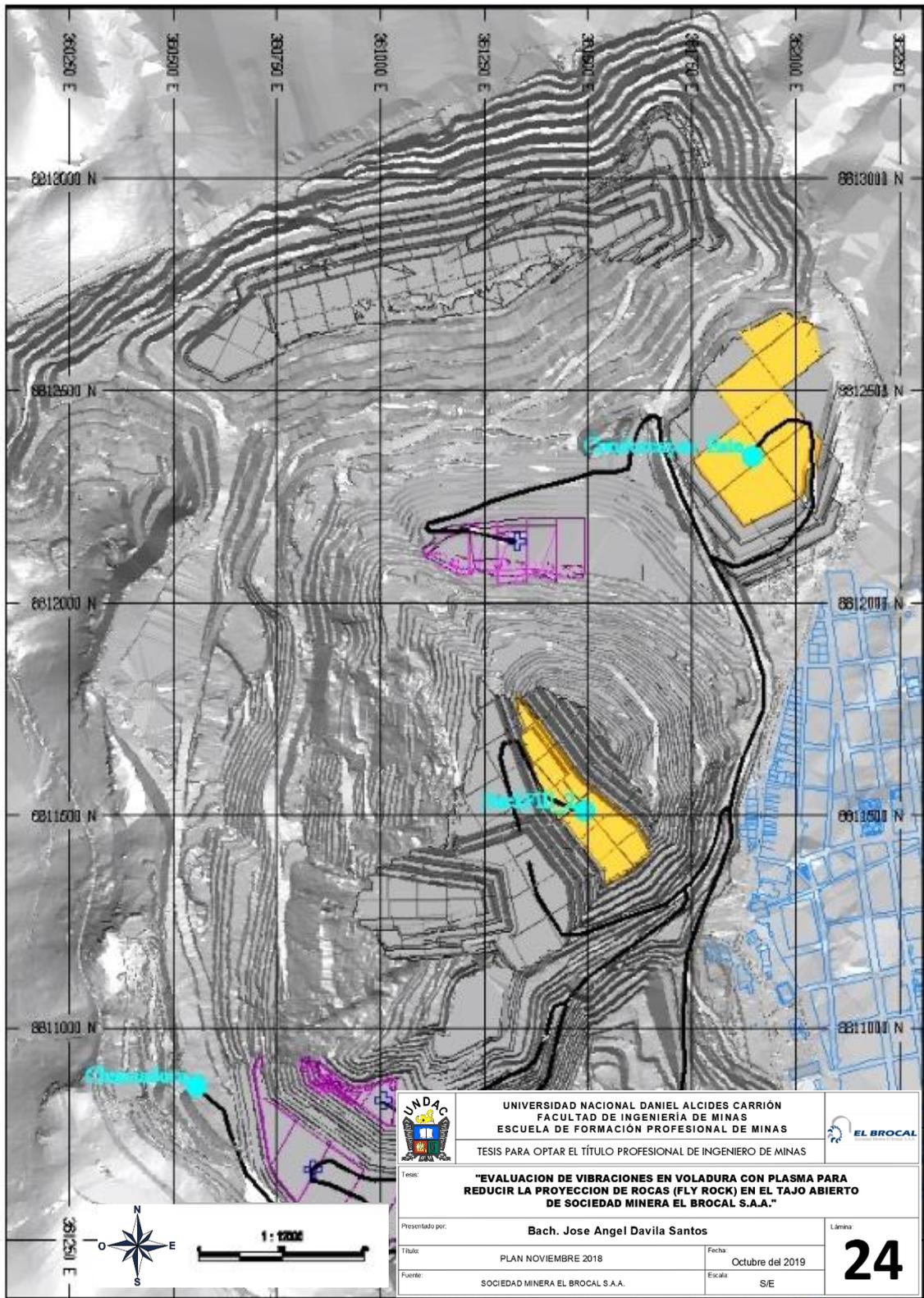
*Lámina N° 22: Plan Septiembre 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



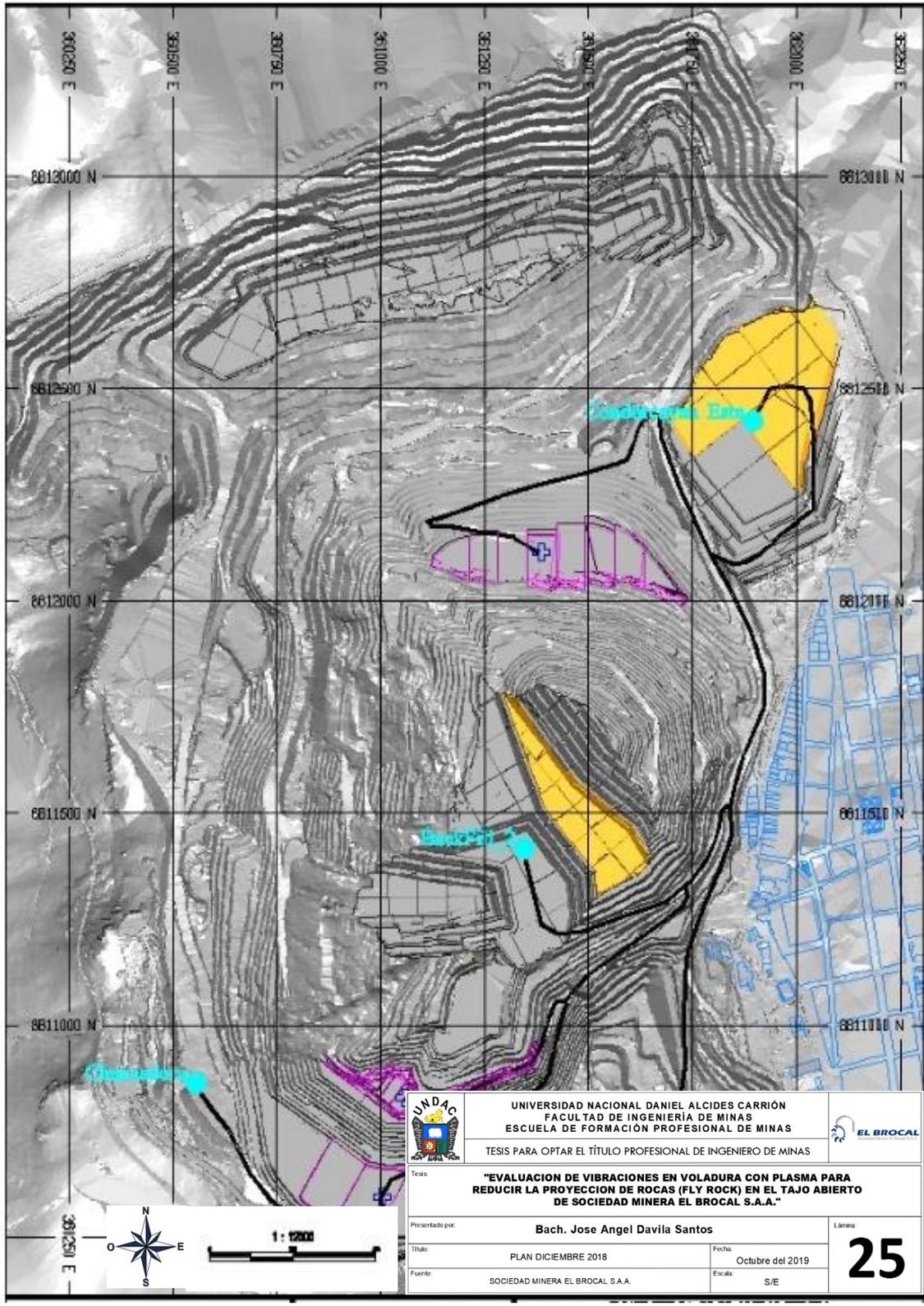
*Lámina N° 23: Plan Octubre 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



*/Lámina N° 24: Plan Noviembre 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*



*Lámina N° 25: Plan Diciembre 2018*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*

### 2.2.17. Programa de Perforación

De acuerdo a la visita y observaciones en campo por parte del personal de DCR y El Brocal, se van a realizar los siguientes trabajos en las plataformas de perforación en el lado Oeste del botadero Condorcayan:

- Se desarrollaran 3 perforaciones de aproximadamente 60 metros cada uno (180 metros aproximadamente). El diámetro a ser utilizado será HQ3 en triple tubo.
- Se desarrollarán ensayos de SPT-LPT. Los ensayos SPT/LPT se efectuarán cada 1 metro de perforación hasta encontrar rechazo (roca) o hasta que el supervisor DCR lo decida en base a las condiciones de campo.
- Se requiere que la empresa de perforación tenga 3 a 4 cápsulas Shelby para extracción de muestras inalteradas.
- Se requiere que la empresa de perforación tenga equipo para ensayos normalizados de permeabilidad Lugeon (2 por cada pozo) y Lefranc (2 por cada pozo); dependiendo de las condiciones del terreno.
- Se requiere que la empresa de perforación tenga materiales para instalación de piezómetros tipo Casagrande en cada uno de los pozos a perforar:
  - a) Tubería corrugada sólida de 2 pulg de diámetro: 100 m.
  - b) Tubería corrugada perforada de 2 pulg de diámetro: 20m.
  - c) Coplas de conexión para tubería corrugada: 20 unid (aprox).
  - d) Arena gravosa graduada: 30 kg.
  - e) Bentonita en pellets.

- NO se va a requerir orientador de estructuras.
- Se abastecerá de agua por parte del El Brocal.
- Movilización de perforadora por parte de El Brocal.

**Tabla N° 21: Ubicación de Perforaciones (aproximadamente)**

PERFORACION	ESTE	NORTE
EEC06-2018-BH-01		
EEC06-2018-BH-02		
EEC06-2018-BH-03		

**Fuente: Elaboración Propia.**

Las muestras extraídas de los ensayos SPT/LPT serán debidamente aisladas empleando bolsas plásticas y protecciones estándares para evitar la pérdida de humedad del material.

Los ensayos de permeabilidad Lugeon/Lefranc serán efectuados en base a las condiciones del tipo de material (roca o suelo) y deberá contar con la aprobación del supervisor de perforaciones.

Las muestras extraídas del casing de perforación serán llevadas al laboratorio de mecánica de suelos para desarrollar los siguientes ensayos:

**Tabla N° 22: Ensayos en el Laboratorio de Suelos**

Muestras de suelo	Muestras de roca
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graduación ASTM D – 422 (% que pasa por tamiz)</li> <li>• Límites de Attemberg (LL, LP. IP)</li> <li>• Clasificación SUCS ASTM D-2487</li> <li>• Humedad Natural</li> <li>• Densidad</li> <li>• Peso Volumétrico Seco Suelto</li> <li>• Ensayos de potencial de acidez (estático)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravedad específica</li> <li>• % de absorción</li> <li>• Resistencia a la compresión</li> <li>• Ensayos de potencial de acidez (estático)</li> </ul>

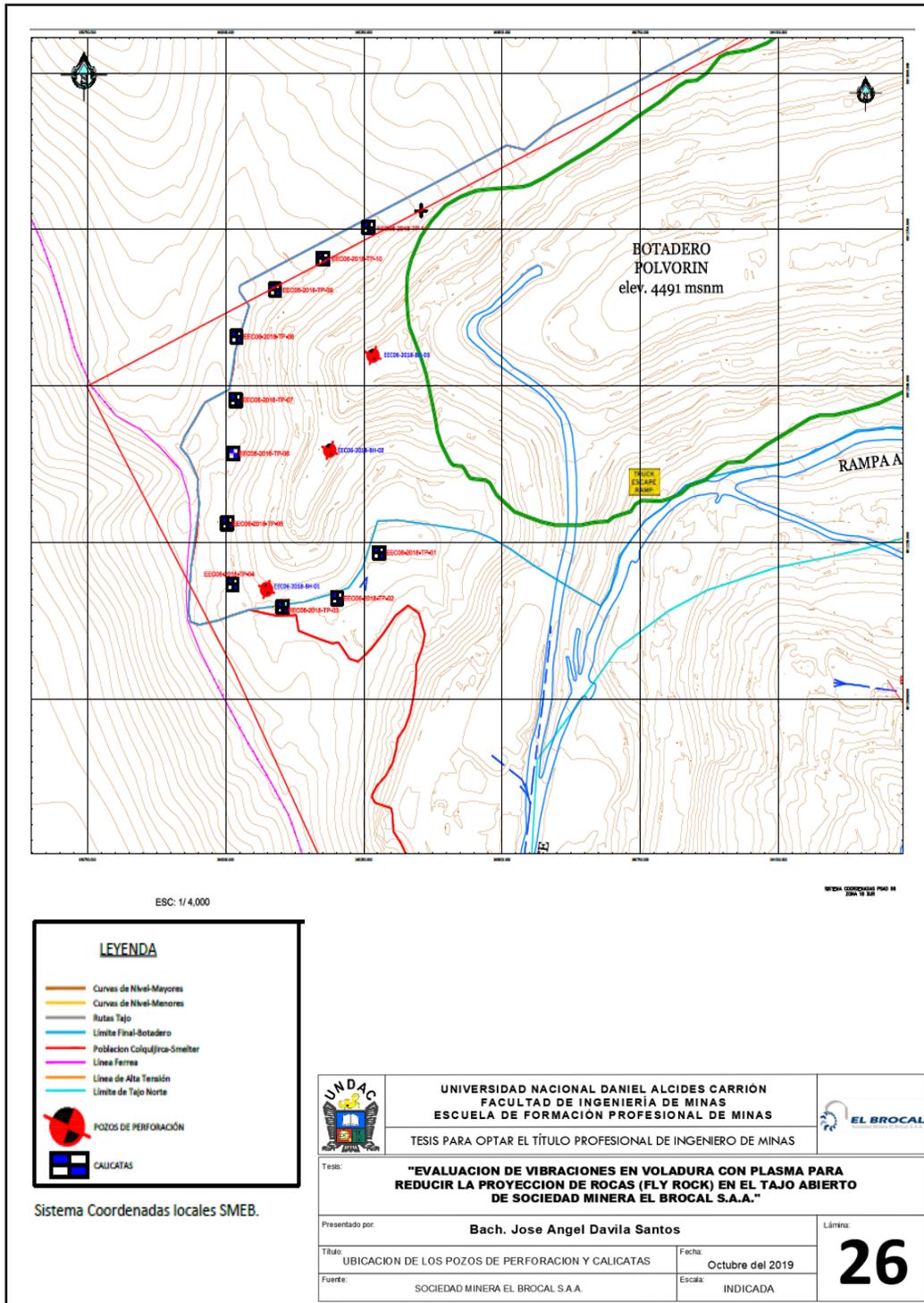
**Fuente. Elaboración Propia.**

Las muestras inalteradas extraídas de las cápsulas metálicas Shelby y de los depósitos de desmonte existentes, serán clasificadas y codificadas adecuadamente para ser llevadas al laboratorio de mecánica de suelos en Perú para efectuar los siguientes tipos de ensayos especiales:

**Tabla N° 23: Ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos**

Arcillas y material de cimentación (Shelbys)	Desmante de mina (sacos de material)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de Expansión (ASTM D 4546)</li> <li>• Consolidación (ASTM D 2435)</li> <li>• Corte Triaxial consolidado no drenado (CU), con presiones de 100, 300 y 600 kPa (ASTM D 4767)</li> <li>• Granulometría, límites de Attemberg, clasificación SUCS</li> <li>• Proctor Standard</li> <li>• Potencial de acidez estático (ABA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte Directo</li> <li>• Granulometría, límites de Attemberg, clasificación SUCS</li> <li>• Proctor Standard</li> <li>• Potencial de acidez estático (ABA)</li> </ul>

***Fuente: Elaboración Propia.***



**Lámina N° 26: Ubicación de Pozos de Perforación y Calicatas**

*(Ampliación Oeste - Botadero Condorcayan)*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*

## **2.2.18. TÉCNICAS DE VOLADURA CON PLASMA**

### ***2.2.18.1. Descripción***

PLASMA, es un sistema de fragmentación sostenible de roca y hormigón NO EXPLOSIVO que no genera contaminación ambiental ni acústica, minimizando las vibraciones y las proyecciones de material.

Su exclusiva mezcla de sales metálicas genera exotérmicamente una gran cantidad de energía que trabaja consiguiendo un elevado volumen de gas contenido, ínfima sonoridad y vibración, así como una escasa proyección de material del medio en el que se encuentra confinado.

Es una propuesta menos invasiva y con preocupación del medio ambiente que los métodos tradicionales u otros análogos de fragmentación.

### ***2.2.18.2. Proceso***

El proceso comienza con una perforación en el material a fragmentar, de acuerdo con una planificación previa, en donde se introduce la cápsula de PLASMA para retacarla posteriormente de forma adecuada.

Al aplicarle un impulso eléctrico desde el exterior al iniciador eléctrico que incorpora la cápsula se provoca una reacción termoquímica que produce elevada temperatura y una gran cantidad de gas inocuo cuya energía expansiva, debida a las presiones ocasionadas, conseguirá la fragmentación de la roca al instante sin ocasionar proyección, desplazamiento, ruido ni vibración ostensible.

Cuando el espacio donde se realiza la expansión se abre debido a la fractura ocasionada la energía expansiva se reduce abruptamente.

### ***2.2.18.3. Aplicaciones***

PLASMA no rompe, abre la roca u hormigón por sus líneas de menor resistencia; esta circunstancia nos permite también poder realizar cortes direccionales para la extracción íntegra de grandes volúmenes de roca en el sector minero.

PLASMA da solución a fragmentaciones especiales donde el explosivo convencional está limitado por las exigencias técnicas y de seguridad del medio adyacente a la fractura a realizar.

Esta tecnología es ideal para emplearla desde obras civiles hasta trabajos en minería, como trabajos urbanos y agrícolas de fragmentación de roca y en hormigón armado, así como en construcción de carreteras, de vías férreas, en el sector de la construcción, demolición de edificios, puentes, silos, fracturas de rocas, avance en túneles, apertura de zanjas, en obras submarinas.

### ***2.2.18.4. Ventajas***

#### ***2.2.18.4.1. No explosivo***

El PLASMA no posee ningún componente explosivo a diferencia de otros productos análogos, no obstante, nos permite obtener resultados similares, pero disminuyendo totalmente los riesgos de sufrir accidentes.

Su principal valor radica en la gran estabilidad de su mezcla química contra golpes, fricción, presión y altas temperaturas.

#### ***2.2.18.4.2. Sin paralización de la producción***

Con esta novedosa tecnología de fragmentación de roca el radio de evacuación se reduce a tan solo de 50 metros del punto de fractura con lo que no obliga a la detención de procesos productivos cercanos.

Incluso se puede acceder al área de trabajo de forma inmediata.

#### ***2.2.18.4.3. Muy baja vibración***

Debido a que posee una velocidad de reacción de carácter subsónica el nivel de vibración es un 90% inferior al de los explosivos convencionales.

En el caso de los explosivos la velocidad de detonación en la roca es mayor a la velocidad del sonido, lo que genera ondas de esfuerzo que viajan por el macizo rocoso. Por esta circunstancia PLASMA permite realizar trabajos en zonas extremadamente sensibles al daño, ya sea por condiciones geotécnicas específicas del sector o por la presencia de equipos sensibles a las vibraciones, ruido y proyección de roca.

La conservación del patrimonio arquitectónico, por ejemplo, es una de las razones que lleva a recurrir al uso del PLASMA ya que no

conlleva riesgos de que las vibraciones dañen monumentos u obras cercanas al lugar de fractura.

#### ***2.2.18.4.4. Mínima proyección de material***

La principal característica que permite aplicar PLASMA Expansor en la fragmentación de roca en zonas sensibles es su escasa proyección de partículas debido a la corta duración del pulso de presión que producen los gases generados.

Esta circunstancia contrasta fuertemente con los explosivos que normalmente tienen un carácter ultrasónico y los productos de reacción son gases que permanecen en ese estado durante el desarrollo de la voladura ocasionando la proyección de partículas de roca.

#### ***2.2.18.4.5. Mínimo nivel de ruido***

El ruido generado en cada evento de fragmentación con PLASMA es el ocasionado por la propia roca al quebrarse, tan solo es apreciable si el retacado no ha sido correcto y el gas se escapa por la boca de la perforación efectuada.

#### ***2.2.18.4.6. Tecnología limpia***

PLASMA funciona con motivo de una reacción exotérmica alcanzando altas temperaturas y presión, al disminuir ambas debido a la fractura provocada en la roca el gas se disipa sin contaminar el ambiente ni afectar a la fauna ni a la flora circundante.

#### ***2.2.18.4.7. Desplazamiento reducido***

PLASMA genera desplazamientos controlados de la roca, desde una fractura in situ hasta unos escasos metros de desplazamiento.

#### ***2.2.18.4.8. Idoneidad subacuática***

PLASMA es un producto totalmente apto para trabajos de fraccionamiento subacuáticos en contraste con otros métodos más complejos y costosos, manteniendo los mismos ratios de rendimiento y eficacia que los conseguidos al aire libre.

#### ***2.2.18.4.9. Alta productividad***

El sistema de iniciación de RBS para el PLASMA tiene la capacidad de activar, al menos, hasta 50 cápsulas por evento; se pueden iniciar hasta 6 eventos con una sola carga de batería.

Para procesos que requieran una mayor productividad se disponen de cápsulas y procedimientos que se adaptan puntualmente a cualquiera de las necesidades que se requieran por parte del sector.

#### ***2.2.18.4.10. Flexibilidad de uso, transporte y almacenamiento***

Al ser PLASMA un producto no explosivo no está sujeto a controles administrativos en cuanto al transporte, uso y almacenamiento de sus cápsulas, evitando los engorrosos trámites a los que están sujetos los productos explosivos y pirotécnicos.

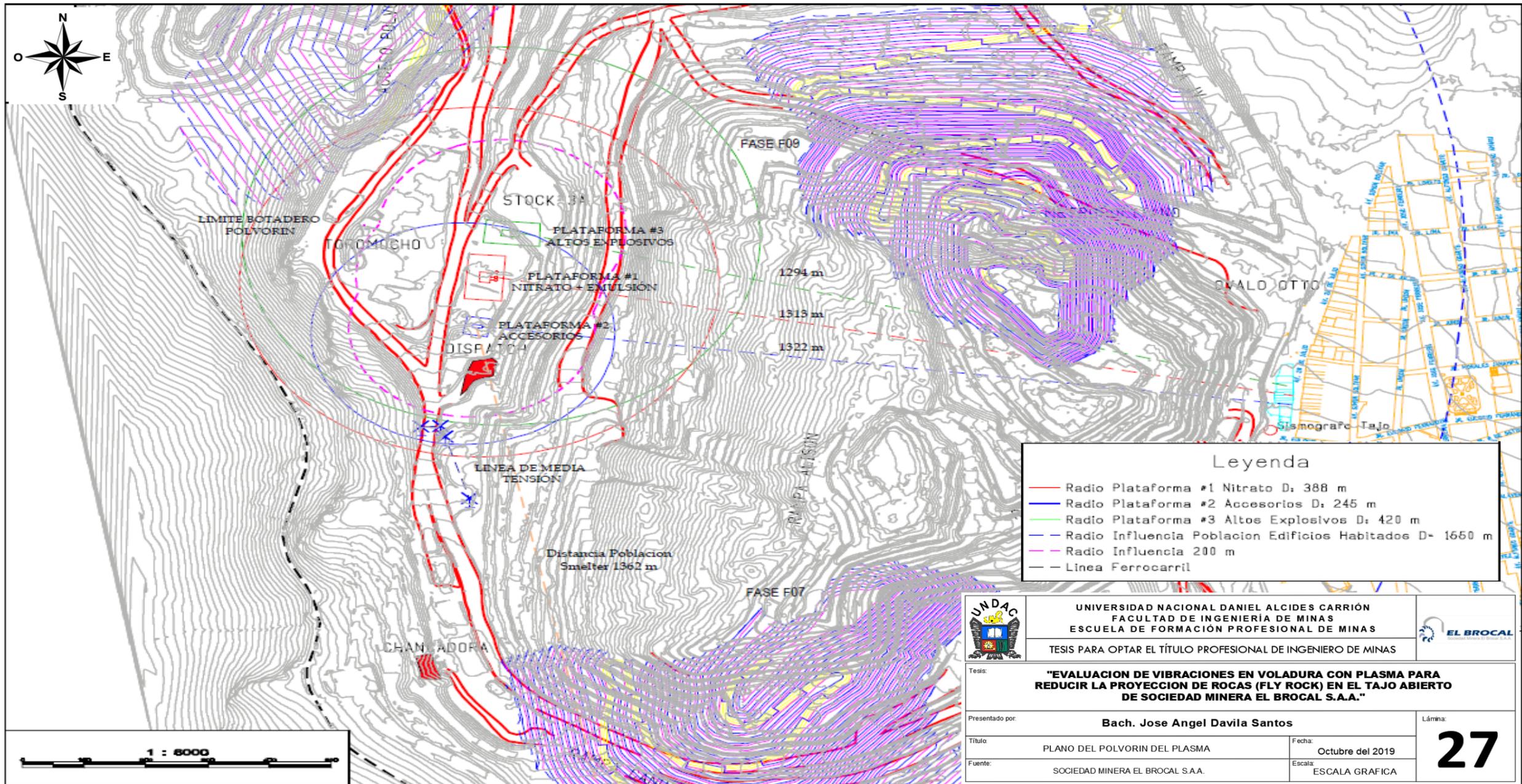
El uso de PLASMA debe realizarse por profesionales así como adecuarse a las recomendaciones y especificaciones técnicas indicadas en la guía de uso del fabricante.

#### **2.2.19. Carguío de taladros**

El Plasma se puede cargar en cartuchos, en perforaciones de diferentes largos, con conexión en serie de todas las cápsulas (no trabaja por simpatía). También se carga a granel, en mangas plásticas conectadas en serie en el hoyo y circuito final.

**Plano del polvorín de plasma.** Los resultados de voladura dependen de la interacción entre el explosivo y la roca. Es por ello que los diseños de voladura, basados en experiencia y conocimiento de ambos elementos explosivo y roca deben considerarse como diseños de partida, los cuales irán siendo ajustados a la medida de la necesidad y en función de los resultados. Por ello, estos diseños iniciales deben ser siempre conservadores, en precaución a los efectos colaterales indeseados para, posteriormente, irse ajustando en pos de mejorar la fragmentación, por ejemplo, manteniendo al mínimo y totalmente bajo control de tales efectos.

En consecuencia, los diseños que a continuación proponemos deben ser considerados como de partida o iniciales, de manera que, a la luz de los primeros resultados, se irán ajustando adecuadamente para optimizar dichos resultados, manteniendo las vibraciones, el airblast y los fly rocks dentro de los límites permisibles o impuestos.



*Lámina N° 27: Plano del polvorín de plasma*

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.*

1. Desde Nv.4228 hasta niveles inferiores

a) Taladros Producción

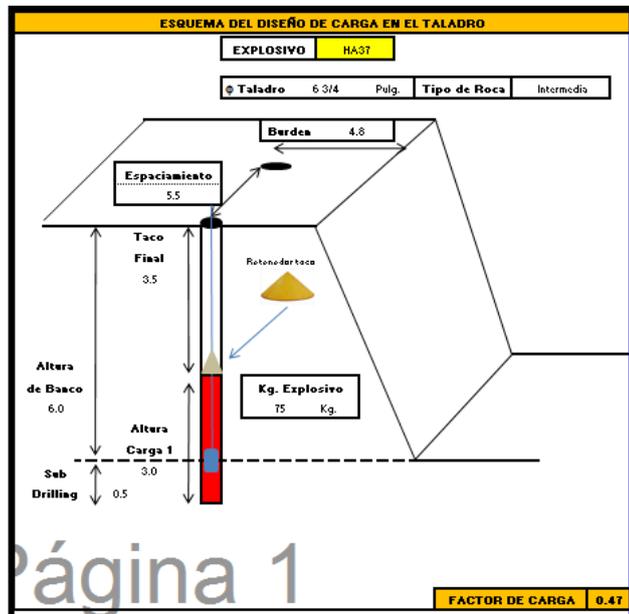
En terreno seco se aplicarán los siguientes parámetros.

*Tabla N° 24: Taladros de producción*

Parámetros	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0.5
Burden	4.8
Espaciamiento	5.5
Tipo Explosivo	HA37
Altura carga (m)	3
Altura taco (m)	3.5
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.47
Scaled depth of burial (SD)	1.4

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 22: Taladros de Producción*



*Fuente: Elaboración Propia.*

b) Diseño de taladros de producción sin agua.

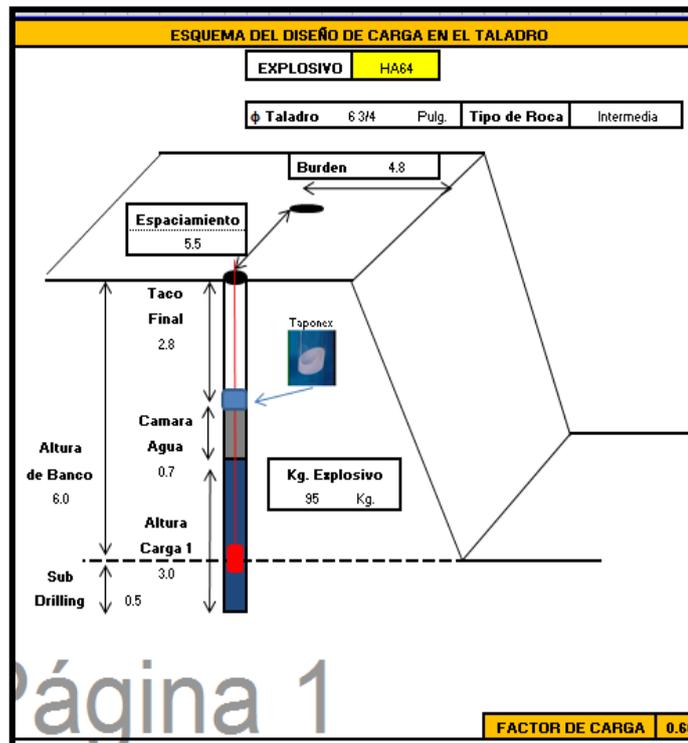
En zonas con presencia de agua (altura de agua mayor a 1m).

*Tabla N° 25: Taladro de Producción sin Agua.*

Parámetro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0.5
Burden	4.8
Espaciamiento	5.5
Tipo Explosivo	HA64
Altura carga (m)	3
Altura cámara de agua	0.7
Altura taco (m)	2.8
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.6
Scaled depth of burial (SD)	1.4

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 23: Taladros de Producción sin Agua*

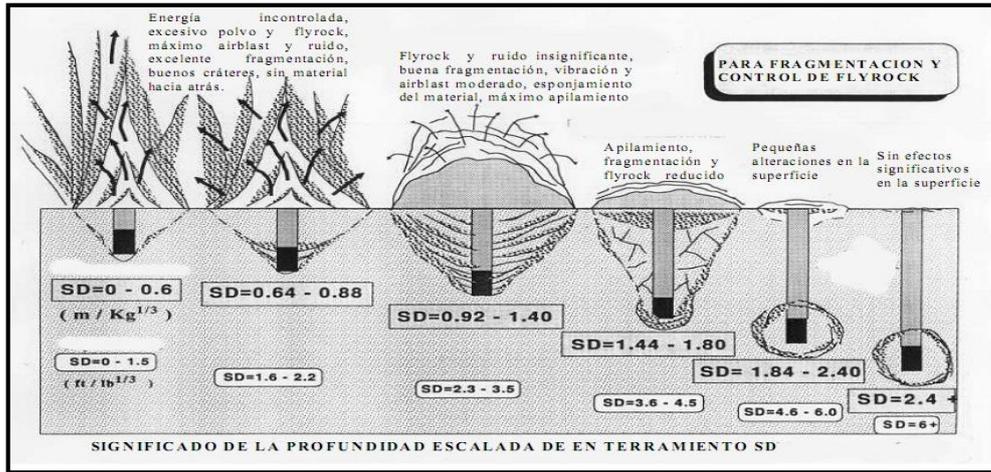


*Fuente: Elaboración Propia.*

c) Diseño de taladros de producción con agua.

Scaled depth of burial nos ayuda a calcular la fragmentación y fly rock de un diseño de voladura, los datos obtenidos de 1.40 y 1.29 m/kg 1/3 están dentro del rango de un fly rock y ruido como se muestra en el cuadro.

**Figura N° 24: Taladros de Producción con Agua**



*Fuente: Elaboración Propia.*

**d) En Taladros Buffer**

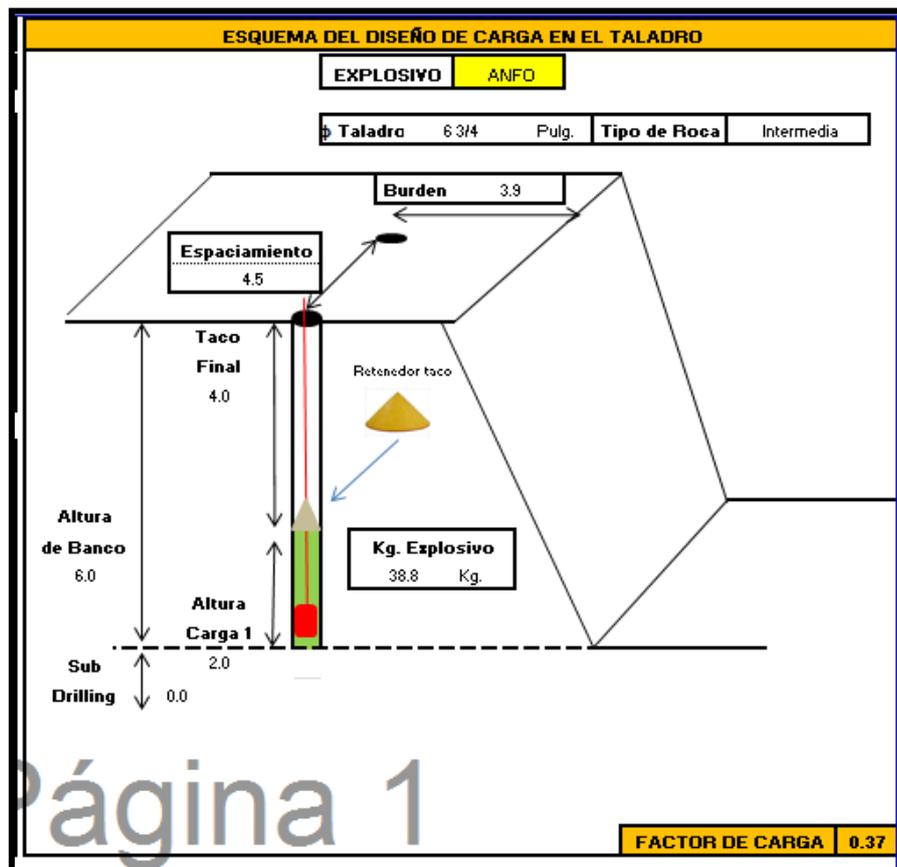
En terreno seco se aplicarán los siguientes parámetros:

Tabla N° 26: Parámetros en Terreno Seco

Parámetro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0
Burden	3.9
Espaciamiento	4.5
Tipo Explosivo	ANFO
Altura carga (m)	2
Altura taco (m)	4
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.37
Scaled depth of burial (SD)	1.7

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 25: Diseño de Taladros Buffer sin Agua.



Fuente: Elaboración Propia.

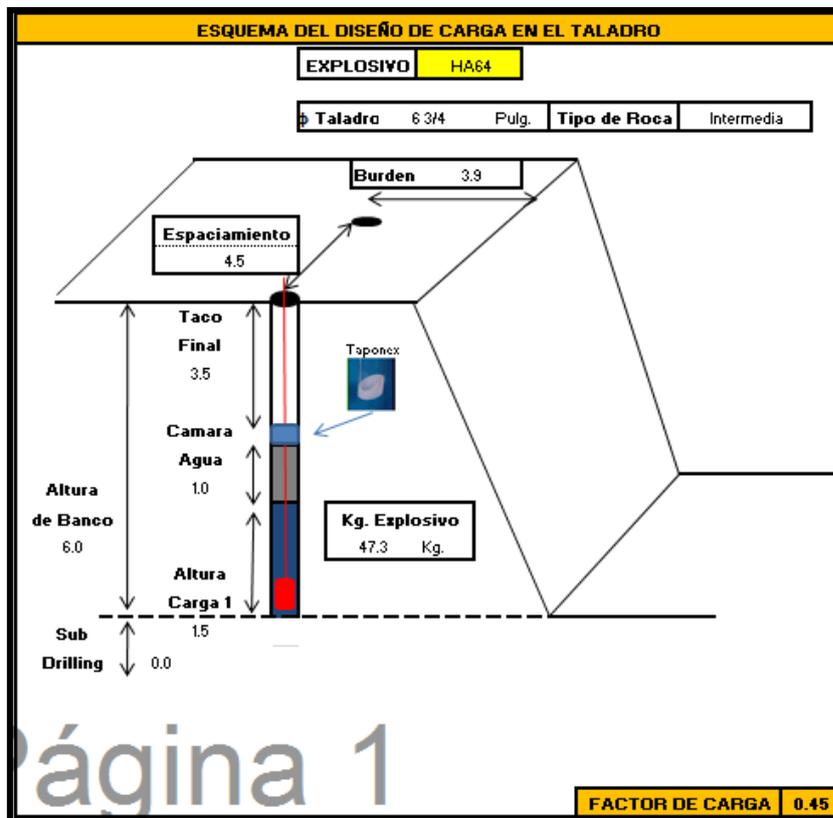
En zonas con presencia de agua (altura de agua mayor a 1m):

*Tabla N° 27: Parámetros en Presencia de Agua.*

Parámetro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0
Burden	3.9
Espaciamiento	4.5
Tipo Explosivo	HA64
Altura carga (m)	1.5
Altura cámara de agua	1
Altura taco (m)	3.5
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.45
Scaled depth of burial (SD)	1.29

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 26: Diseño de Taladros Buffer con Agua*



*Fuente: Elaboración Propia.*

e) **En Taladros de Pre-corte.**

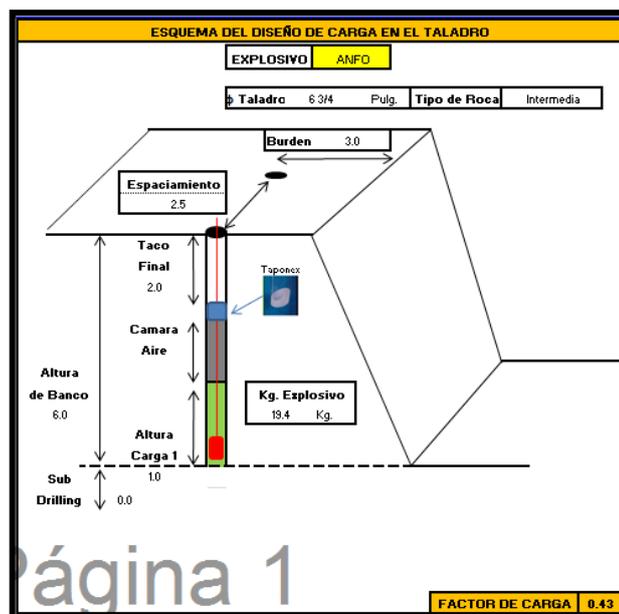
Se va trabajar con un diámetro de 6 3/4” y se cargaría 1.0 m con Anfo, teniendo un espaciamiento entre taladros de 2.50 m.

*Tabla N° 28: Parámetros con Taladros de Pre-corte.*

Parametro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0
Burden	3
Espaciamiento	2.5
Tipo Explosivo	ANFO
Altura carga (m)	1
Altura taco (m)	2
Cámara de aire (m)	3
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.43

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 27: Diseño de Taladros de Pre corte Carga Acoplada.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

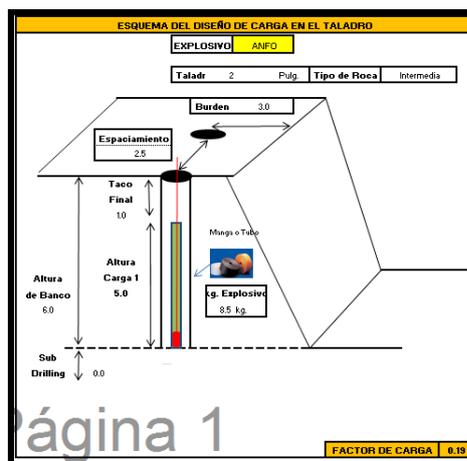
Alternativamente y usando las mismas mallas, se pueden cargar con un tubo de PVC de 2”, relleno con ANFO en toda su longitud, el que se colocará centrado en el taladro. Esto hará que la carga total por taladro sea poco más de la mitad del diseño anterior y que se produzca el efecto amortiguador de una carga desacoplada, pudiendo, entonces, dispararse varios taladros a la vez para conformar la grieta entre dichos taladros.

**Tabla N° 29: Taladros de Pre corte Usando Manga Plástica.**

Parámetro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0
Burden	3
Espaciamiento	2.5
Tipo Explosivo	ANFO
Altura carga (m)	5
Altura taco (m)	1
Diámetro del taladro (in)	6.75
Diámetro del tubo (in)	2
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.19

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura N° 28: Diseño para Taladros de Pre corte Usando Manga Plástica.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

2. Desde Nv.4228 hasta niveles superiores.

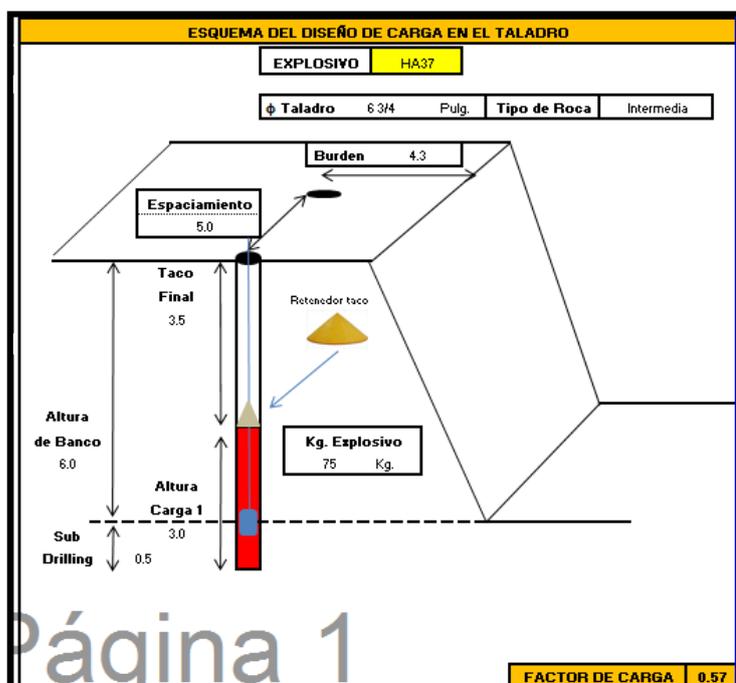
En Taladros de Producción. En terreno seco se aplicarán los siguientes parámetros.

Tabla N° 30: Parámetros en Terreno Seco.

Parámetro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0.5
Burden	4.3
Espaciamiento	5
Tipo Explosivo	HA37
Altura carga (m)	3
Altura taco (m)	3.5
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.57
Scaled depth of burial (SD)	1.4

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 29: Diseño para Taladros de Producción Sin Agua.



Fuente: Elaboración Propia.

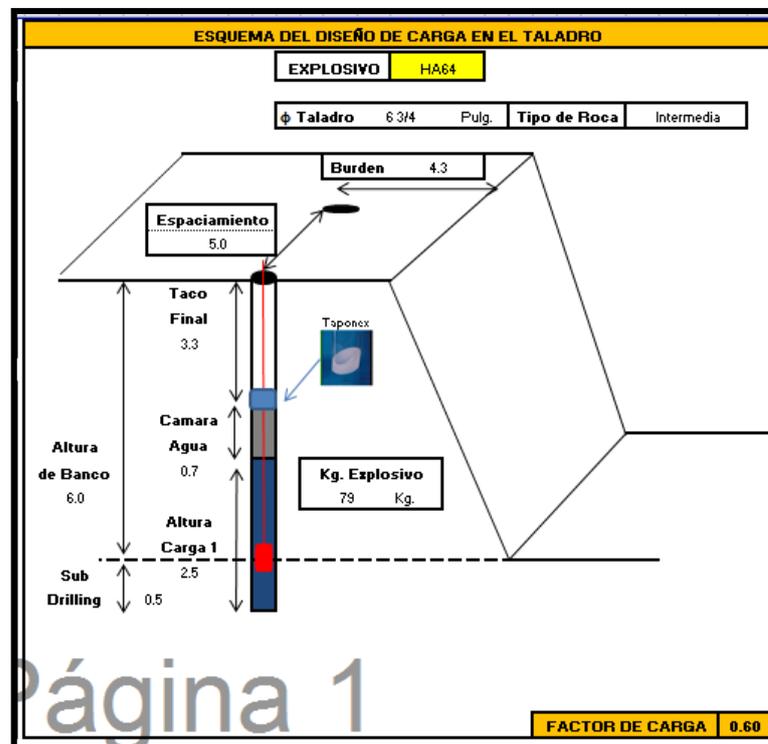
En zonas con presencia de agua (altura de agua mayor a 1m).

**Tabla N° 31: Parámetros con Presencia de Agua**

Parámetro	Valor
Altura banco (m)	6
Sobre perforación (m)	0.5
Burden	4.3
Espaciamiento	5
Tipo Explosivo	HA64
Altura carga (m)	2.5
Altura cámara de agua	0.7
Altura taco (m)	3.3
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.6
Scaled depth of burial (SD)	1.23

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura N° 30: Diseño para Taladros con Presencia de Agua**



*Fuente: Elaboración Propia.*

## **2.2.20. EVALUACIÓN DE VIBRACIONES**

### ***2.2.20.1. Generalidades técnicas***

La magnitud de la sobre presión del aire (airblast) y las vibraciones generadas por la voladura son controladas por la cantidad de explosivo y los tiempos de retardo asignados a cada taladro de la misma. Para confirmar que tales efectos están dentro de los límites impuestos, la empresa, Sociedad Minera El Brocal, monitoreará la presión de la onda aérea y las vibraciones resultantes (onda P) en los lugares previamente acordados (serán, preferentemente, los puntos ubicados al borde de la zona urbana, más cercanos al disparo, es decir en el escenario más desfavorable). Los equipos utilizados para este monitoreo, tienen la certificación de calibración actualizado.

**Figura N° 31: Mapa general, zona de seguridad y zona de monitoreo**



**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

Debido a la necesidad de reiniciar las labores de perforación y voladura en las áreas cercanas al pueblo de Colquijirca, será necesario llevar un estricto control y registro de cada voladura, a fin de eliminar toda posibilidad de daño. Por otra parte, y conforme a la normativa vigente, la zona comprendida dentro de la circunferencia de 500 m de radio, en el Mapa General arriba mostrado, debe ser completamente evacuada antes de cada voladura y ubicada en un lugar seguro, fuera del perímetro o área de exclusión.

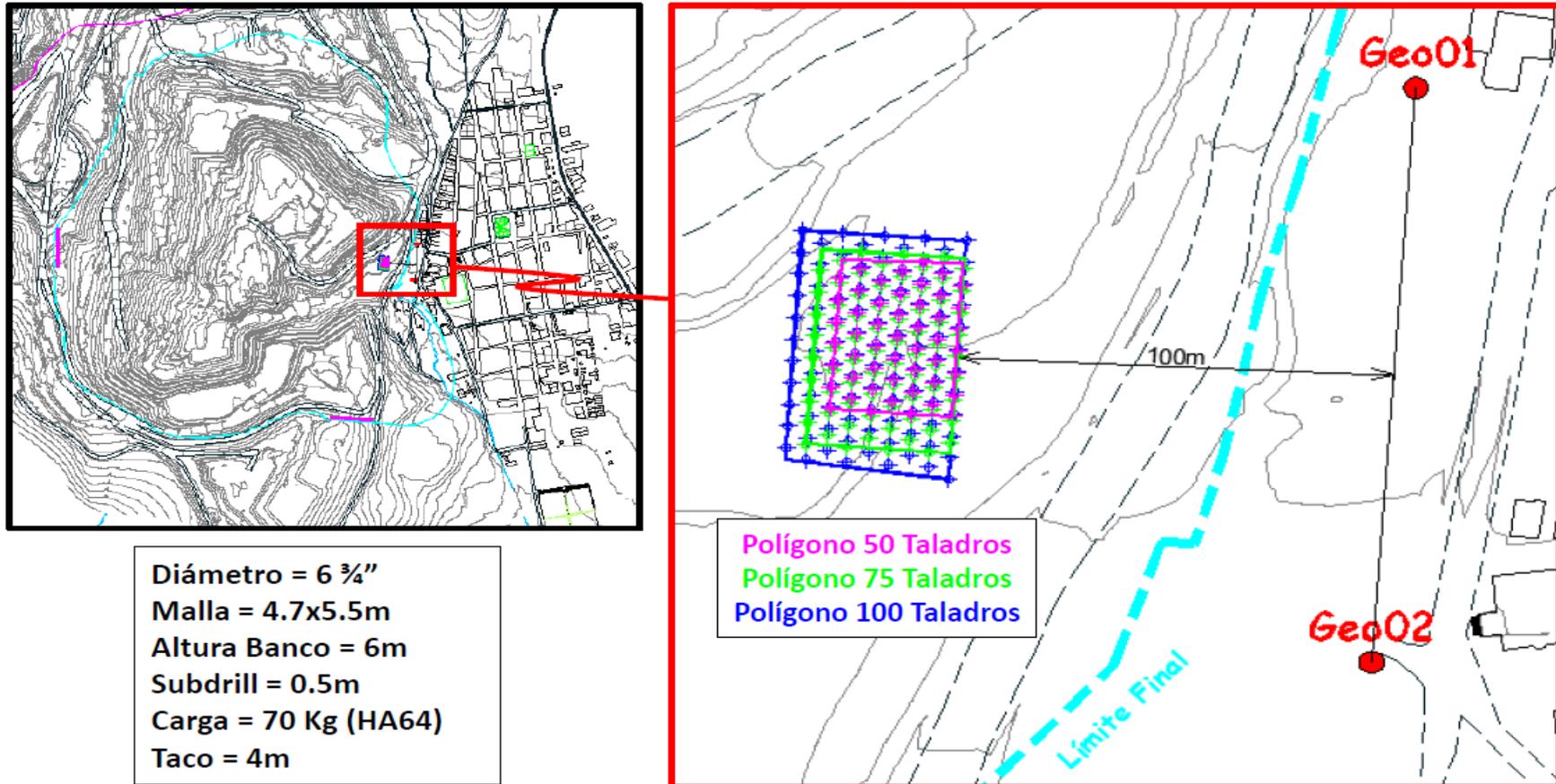
Como se aprecia, para el sector en cuestión, la zona de seguridad incluye una importante extensión del pueblo que será necesario evacuar lo cual implica retirar de sus casas a las personas en cada disparo. Por tanto, mientras menor sea la frecuencia de los disparos, tanto menos incómodo y más tolerable para la población. Esta medida precautoria, que es, además, exigida por la ley.

Respecto a la medición de las vibraciones y el ruido se puede apreciar en el mismo Mapa General, la ubicación sugerida para los sismógrafos, que miden ambos efectos. Proponemos contar con, al menos, dos sismógrafos para tener más de una medición, lo que nos permite un análisis más acertado, pero también en prevención a una falla o error en la lectura de uno de ellos.

#### **2.2.21. Instrumentos y equipos de medición**

##### **Simulación de vibración.**

Figura N° 32: Mapa simulación de vibración



Fuente: Elaboración propia.

### Simulación de vibraciones (malla completa)

Combinación de tiempo utilizada 35ms entre taladro, al terminar el último de la fila, se utilizó otros 35ms para pasar a la siguiente.

*Tabla N° 32: Simulación de vibraciones*

100 Taladros	PPV-90%	Distancia Pozo	Carga Aparente
Pto	mm/s	metros	kilos
Geo1	3.26	180.8	73.2
Geo2	7.00	108.4	70.2

75 Taladros	PPV-90%	Distancia Pozo	Carga Aparente
Pto	mm/s	metros	kilos
Geo1	3.23	182.3	73.4
Geo2	6.63	112.3	70.2

50 Taladros	PPV-90%	Distancia Pozo	Carga Aparente
Pto	mm/s	metros	kilos
Geo1	6.31	116.2	70.6
Geo2	6.36	115.4	70.3

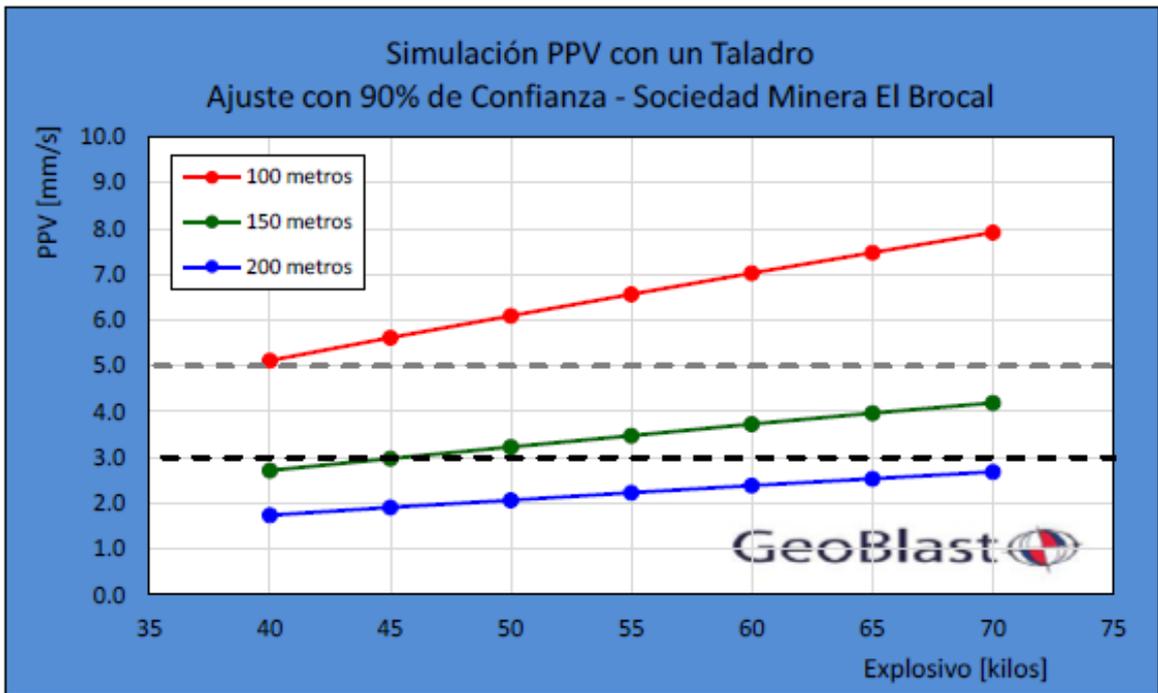
### Simulación Vibraciones (Con Taladro Individual)

*Tabla N° 33: Simulación de vibraciones campo lejano*

Simulación Vibraciones Campo Lejano (PPV Taladro individual)						
Distancia	100 metros		150 metros		200 metros	
% de Confianza	90%	50%	90%	50%	90%	50%
Explosivo	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
70 kilos	7.9	6.0	4.2	3.2	2.7	2.0
65 kilos	7.5	5.7	4.0	3.0	2.5	1.9
60 kilos	7.0	5.3	3.7	2.8	2.4	1.8
55 kilos	6.6	5.0	3.5	2.6	2.2	1.7
50 kilos	6.1	4.6	3.2	2.5	2.1	1.6
45 kilos	5.6	4.3	3.0	2.3	1.9	1.4
40 kilos	5.1	3.9	2.7	2.1	1.7	1.3

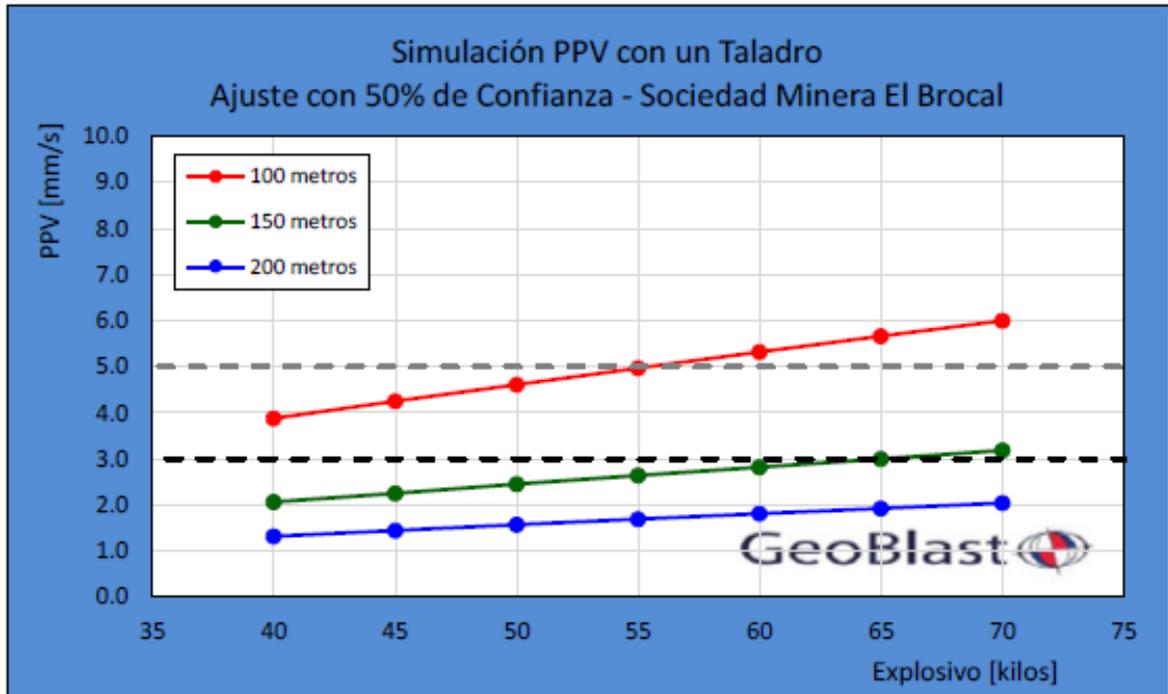
*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

*Figura N° 33: Simulación PPV con un taladro (Ajuste con 90% de confianza)*



*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura N° 34: Simulación PPV con taladro (Ajuste con 50% de confianza)



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.22. Reglamento de manejo de vibraciones

Finalmente, sobre este punto, y de acuerdo a las normas internacionales detalladas en el marco teórico de vibración sugerimos establecer los límites de vibración y airblast basados en la norma alemana que es la más rígida en los siguientes valores (medidos en los puntos indicados):

- Vibración máxima: PPV de 5 mm/s en frecuencias > 10 Hz
- PPV de 3 mm/s en frecuencias < 10 Hz
- Presión de onda aérea: 90 dB a cualquier frecuencia.
- Normas Internacionales Sobre Vibraciones Generadas Por Voladura

A continuación, se detallan las normas internacionales más representativas sobre el tema de vibraciones generadas por voladura en las cuales se toma como valores representativos la velocidad pico partícula PPV y la frecuencia (Hz).

1. **Norma Alemana DIN 4150 De 1999.** Ella establece los valores límites de velocidad de vibración de la partícula en mm/s, considerando el tipo de estructura civil y el intervalo de frecuencia en Hz, en los cuales demuestran estar fuera de riesgo de daños los edificios. Las tres clases de edificios definidas por la norma son:

- Edificios estructurales o industriales
- Edificios residenciales
- Edificios históricos y construcciones sensibles (madera, barro, etc.)

Las frecuencias son analizadas en tres intervalos, o sea, valores menores de 10Hz, valores entre 10-50Hz y valores entre 50-100Hz. La norma prevé que para frecuencias encima de 100Hz, a estructura soporta niveles altos de vibración.

**Tabla N° 34: Normas Internacionales sobre Vibraciones**

TIPO ESTRUCTURA	Nivel de Fundacion Frecuencia Hz			Piso mas alto Cualquier Frec.
	0 - 10	10-50	50-100	
Industrial	20mm/s	20-40mm/s	40-50 mm/s	40 mm/s
Habitaciones	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s	15 mm/s
Edificios Delicados	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s	8 mm/s

**Fuente: Elaboración Propia.**

2. **Norma Suiza SN 640312 1978.** Norma, introducida en abril de 1992, incluye los efectos en los edificios, acrecentando criterios de evaluación de los daños materiales, manteniendo, sin embargo, los valores de  $V_{pp}$  mostrados en la tabla.

*Tabla N° 35: Norma Suiza*

Tipo de Estructura	Frecuencia (Hz)	Vp maxima (mm/s)
I. Edificios de Concreto armado	10-60	30
	60-90	40
II. Construcciones normales de Edificios	10-60	18
	60-90	18-25
III. Habitaciones	10 - 60	12-18
IV. Edificios Delicados	10-60	8
	60-90	8-12

*Fuente: Elaboración Propia.*

3. **Norma Española Une 22-381-93.** Dicha norma es aplicable a diferentes tipos de trabajos que impliquen la utilización de voladuras para realizar sus actividades, dentro de estos tipos de trabajos tenemos: Trabajos de explotación en minas y canteras, tanto para las labores de extracción como para labores complementarias; trabajos de construcción de en obras públicas y para trabajos de demolición.

Dentro de la norma se clasifican tres tipos de estructuras que son las siguientes:

- Grupo I: Edificios y naves industriales (Estructuras de hormigón armado o metálicas).
- Grupo II: Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreación.

- Grupo III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico.

**Tabla N° 36: Norma Española.**

Norma Española UNE 22 -381 - 93		Frecuencia principal en Hertz		
		2 a 15	15 a 75	mayor a 75
		Velocidad PPV (mm/s)	desplazamiento (mm)	Velocidad PPV (mm/s)
TIPO DE ESTRUCTURA	I	20	0.212	100
	II	9	0.095	45
	III	4	0.042	20

*Fuente: Elaboración Propia.*

4. **Norma Portuguesa.** Los valores límites son establecidos de acuerdo con las características de las condiciones de fundación, del tipo de construcción y de las fuerzas dinámicas

Esta norma propone, además de consideraciones de las características anteriormente mencionadas, una consideración de frecuencia. El parámetro usado para evaluar el nivel de vibración es la suma vectorial de las tres componentes ortogonales de velocidad de la partícula, o simplemente se toma el valor máximo de cada eje, el resultado de este estudio es mostrado en la tabla siguiente.

**Tabla N° 37: Normal Portuguesa**

Tipo de Suelo			
	Suelos incoherentes (arenas no consolidadas)	Suelos de consistencia muy dura, dura a media; suelos compactos incoherentes	Suelos de alta coherencia y rocas
Velocidad de la onda	Cp < 1000 m/s	1000 < Cp < 2000 m/s	Cp > 2000 m/s
Tipo de construccion	Frecuencia		
	< 10	10 a 40	> 40
Construcciones que requieren cuidados especiales Monumentos historicos, museos, etc	3	5	10
Construcciones normales (habitaciones)	5	10	20
Construcciones reforzadas ( a prueba de terremotos)	15	30	60

*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

5. **Norma EE UU Bureau Of Mines.** La Norma propuesta por el U.S. Bureau of Mines, divide las estructuras en dos tipos: Casas modernas y casas antiguas, colocando los límites de ocurrencia de daños a estas estructuras dentro de dos tipos de frecuencias, una baja frecuencia (inferior a los 40Hz) y una alta frecuencia (superior a los 40Hz), dentro un rango de velocidad dependiente del tipo de estructura.

**Tabla N° 38: Tipo de Estructura**

Tipo de Estructura		Baja Frecuencia < 40 Hz	Alta Frecuencia > 40 Hz
Tipo I	casas modernas con paredes revestidas de material diferente del revoque comun yeso o cemento	19 mm/s	50 mm/s
Tipo II	Casas antiguas con paredes revocadas (quincha o barro)	12.5 mm/s	50 mm/s

*Fuente. Elaboración Propia.*

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Los términos que a continuación se definen, son los más utilizados en el desarrollo del trabajo de investigación.

- **ACARREO:**

Es la acción de trasladar por carro o de otro modo, incluso inmaterial, una cosa (material o inmaterial) del sitio en que estaba a otro.

- **BANCO:**

Los recortes horizontales del piso a lo largo de los cuales se realiza el minado en una mina de tajo abierto. A medida que la mina progresa hacia niveles más bajos, se deja bancos de seguridad en las paredes para que capturen cualquier roca que caiga desde arriba.

- **BOTADERO:**

Una pila de roca o mineral rotos en la superficie de la tierra.

Chancadora (primaria, secundaria y terciaria):

Una máquina para chancar roca, mineral u otro material.

- **CONCENTRADO:**

Un producto intermedio fino y polvoriento del proceso de molienda formado por la separación de un metal valioso del desperdicio.

- **DEPÓSITO:**

Un cuerpo mineralizado que se ha delimitado físicamente con suficiente perforación, excavación de zanjas y/o trabajos subterráneos y que se ha encontrado contiene una ley promedio suficiente de metal o metales para

garantizar la exploración y/o los gastos de desarrollo. Un depósito como éste no califica como un cuerpo de mineral comercialmente minable, ni como uno que contenga reservas de mineral, hasta que se hayan resuelto los factores legales, técnicos y económicos finales.

- **DESBROCE:**

El proceso de remoción de la roca sobreyacente al depósito mineral para exponer el mineral.

- **DESECHO:**

Roca que no tiene suficiente ley ni otras características de mineral a minarse económicamente.

- **DILUCIÓN (PÉRDIDA QUE SE EXTRAE):**

El proceso por el cual la roca retirada junto con el mineral en el proceso de extracción disminuye la ley del mineral.

- **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA):**

Informe escrito, compilado antes de la decisión de producción, que revisa los efectos que las actividades mineras propuestas tendrán en los alrededores naturales.

- **EXPLORACIÓN:**

Prospección, muestreo, manejo, perforación diamantina y otros trabajos comprendidos en la búsqueda de mineral.

- **EXPLOSIVO:**

Un explosivo es aquella sustancia que por alguna causa externa (roce, calor, percusión, etc.) se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve.

- **EXPLOTACIÓN:**

Actividades relacionadas con un depósito mineral que empiezan en el punto en que se puede estimar de manera razonable que existen reservas económicamente recuperables y que, en general, continúan hasta que la producción comercial empiece.

- **EXTRACCIÓN:**

Proceso de tratamiento que comprende el molido fino del mineral seguido de la extracción de minerales.

- **GEOLOGÍA:**

Ciencia que estudia las rocas que componen la Tierra.

Ley de corte: La ley más baja de material mineralizado considerado de valor económico. La ley de corte se utiliza en el cálculo de las reservas de mineral de un depósito dado.

- **MINERAL:**

Una sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química definidas y que, si se forma en condiciones favorables, tiene una forma de cristal definida.

- **MUESTRA:**

Una pequeña porción de roca o de un depósito mineral que se toma para poder determinar por ensayo el contenido de metales.

- **MUESTREO:**

La selección de una parte fraccional pero representativa de un depósito mineral para el análisis.

- **PROYECTO:**

Un proyecto es un prospecto que luego del programa de perforación inicial indica la existencia de un posible depósito mineral que requiere mayor evaluación a través de un extenso programa de perforaciones para continuar con la evaluación.

- **RELAVES:**

Material de desecho de una molienda luego de que se ha recuperado los minerales valiosos. Los cambios de precios en los metales preciosos y las mejoras de la tecnología a veces pueden hacer que los relaves adquieran un valor económico y se reprocesen en una fecha posterior.

- **REPRESAS (ESTANQUES) DE RELAVES:**

Una depresión a un nivel inferior que se utiliza para confinar los relaves, la función primaria de la cual es permitir suficiente tiempo para que los metales pesados se sedimenten o para que el cianuro se destruya antes de descargar el agua en los cursos de agua locales.

- **RESERVA:**

Esa parte de un depósito mineral que se puede extraer o producir de manera económica y legal en el momento de la determinación de la reserva.

- **RESERVAS DE MINERAL:**

El tonelaje y ley calculados de mineralización que se pueden extraer con rentabilidad, clasificados como posibles, probables y probados de acuerdo con el nivel de confianza que se pueda atribuir a los datos.

- **RESERVAS PROBABLES:**

Reservas para las cuales la cantidad y la ley se calculan a partir de información similar a la que se utiliza para las reservas probadas, pero los sitios de inspección, muestreo y revisión están más alejados o están menos adecuadamente espaciados. El grado de seguridad, aunque menor que el de las reservas probadas, es suficientemente alto como para asumir una continuidad entre los puntos de observación.

- **RESERVAS PROBADAS:**

Reservas para las cuales (a) se calcula cantidades a partir de dimensiones que se revelan en los afloramientos, zanjas, obras o huecos de voladura; (b) la ley y/o la calidad se calculan a partir de los resultados de muestreo detallado; y (c) los sitios para la inspección, el muestreo y las mediciones se espacian tan estrechamente que el carácter geológico está suficientemente definido como para que el tamaño, la forma, la profundidad y el contenido mineral de las reservas que se encuentren bien determinados.

- **SEGURIDAD:**

Se constituye en un medio ambiente de trabajo adecuado, con condiciones de trabajo justas, donde los trabajadores y trabajadoras puedan desarrollar una actividad con dignidad y donde sea posible su participación para la mejora de las condiciones.

- **TAJO ABIERTO:**

Se llaman minas a cielo (o rajo) abierto, a las explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno, a diferencia de las subterráneas, que se desarrollan bajo ella. Para la explotación de una mina a cielo abierto, a veces, es necesario excavar, con medios mecánicos o con explosivos, los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento. Estos materiales se denominan, genéricamente, estéril, mientras que a la formación a explotar se le llama mineral. El estéril excavado es necesario apilarlo en escombreras fuera del área final que ocupará la explotación, con vistas a su utilización en la restauración de la mina una vez terminada su explotación. Las minas a cielo abierto son económicamente rentables cuando los yacimientos afloran en superficie, se encuentran cerca de la superficie, con un recubrimiento pequeño o la competencia del terreno no es estructuralmente adecuada para trabajos subterráneos como ocurre con la arena o la grava. Cuando la profundidad del yacimiento aumenta, la ventaja económica del cielo abierto disminuye en favor de la explotación mediante minera subterránea.

- **VIBRACIÓN POR VOLADURA:**

Las voladuras generan vibraciones del terreno que pueden tener diferentes efectos sobre las estructuras de la masa rocosa (discontinuidades como fallas, diaclasas, juntas, contactos), pudiendo ocasionar deslizamientos, causando en consecuencia, efectos graves, como por ejemplo el cierre de acceso hacia otras zonas de la mina y/o afectar equipos o personal.

- **VOLADURA:**

Es la acción de fracturar o fragmentar la roca, el suelo duro, el hormigón o de desprender algún elemento metálico, mediante el empleo de explosivos. Las mismas se realizan para lograr un objetivo predeterminado, pueden ser controladas, o no, puede ser a cielo abierto, en galerías, tajes o debajo del agua.

- **VOLADURA CON PLASMA:**

Es una mezcla de sales metálicas de expansión rápida, capaz de iniciar una reacción termo química al suministrarle una chispa de alto voltaje en un espacio confinado.

- **YACIMIENTO:**

Es el lugar donde se encuentran de forma natural los minerales, rocas o fósiles. Por lo general, los minerales se encuentran mezclados con otros elementos no explotables, pero la concentración exclusiva de minerales, en un área específica, es a la que llamamos yacimiento minero.

## **2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

La Hipótesis son las respuestas preliminares a los problemas de investigación. Por esta razón, se plantean las siguientes hipótesis de Investigación.

### **2.4.1. Hipótesis General**

El nuevo sistema de voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

#### ***2.4.2.1. Hipótesis Específica 1***

El control de las vibraciones en la voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

#### ***2.4.2.2. Hipótesis Específica 2***

El control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

#### ***2.4.2.3. Hipótesis Específica 3***

El control de los costos de perforación y voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

## **2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

### **2.5.1. Variables de la Hipótesis Principal**

X = Sistema de voladura con plasma en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Y = Reducción de la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### **2.5.2. Variables de las Hipótesis Secundarias**

X<sub>1</sub> = Control de las vibraciones en la voladura con plasma.

X<sub>2</sub> = Control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma.

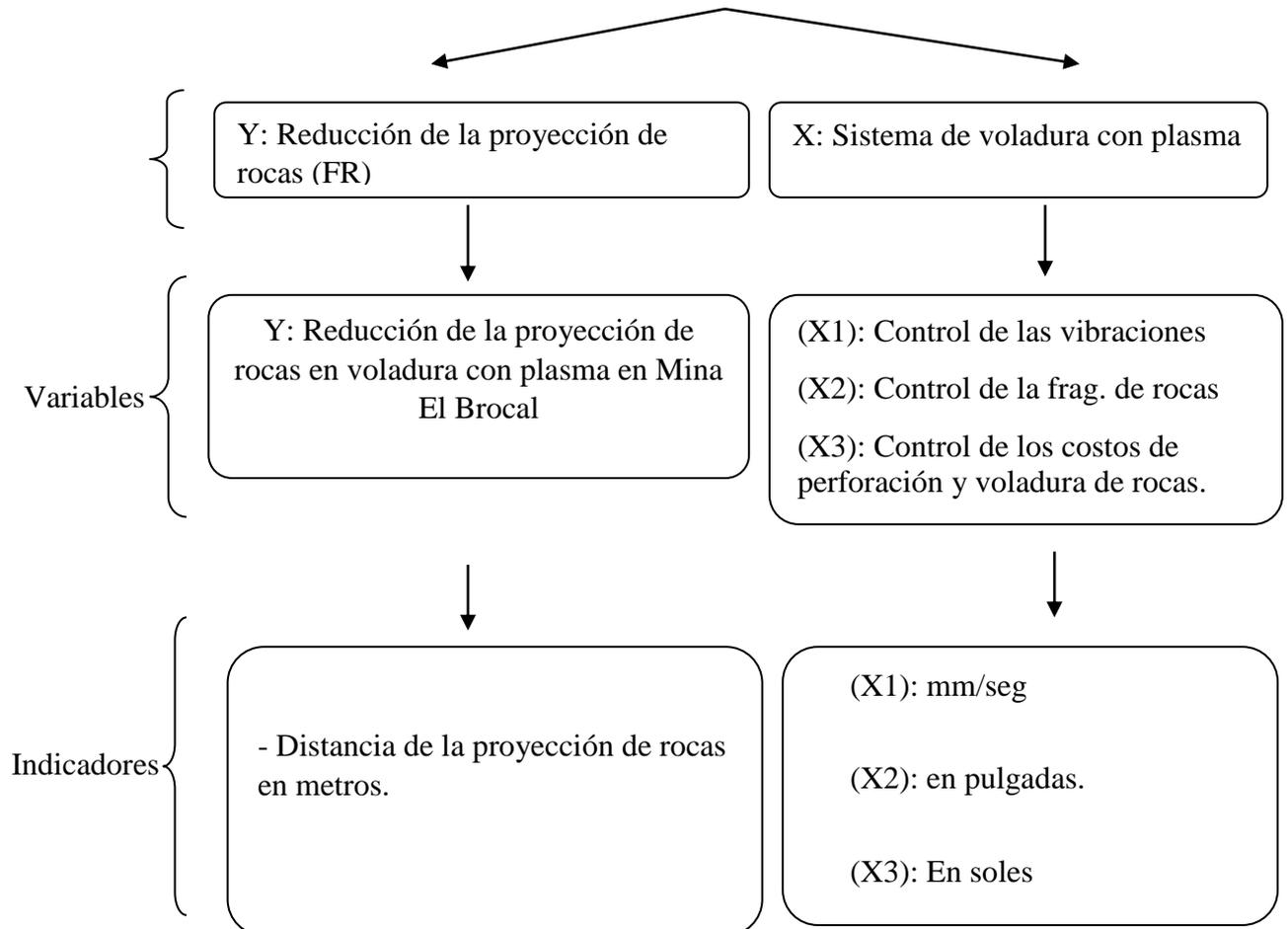
X<sub>3</sub> = Control de los costos de perforación y voladura con plasma.

Y<sub>1</sub> = Proyección de las rocas (fly rock)

## 2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

### 2.6.1. Definición Operacional de Variables

*Figura 1: Variables Dependiente e Independientes*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N° 39: Operacionalización de Variables**

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica de análisis</b>	<b>Instrumento de análisis</b>	<b>Fuentes de datos</b>
<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>X = Sistema de voladura con plasma.</p>	<p>X<sub>1</sub>= Control de las vibraciones en la voladura con plasma.                      X<sub>2</sub>= Control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma.                      X<sub>3</sub>=Control de los costos de perforación y voladura con plasma.</p>	<p>En mm/seg<sup>2</sup>.                      En pulgadas.                      En soles</p>	<p>Documental</p>	<p>Cálculos.</p>	<p>Datos de la mina.                      Oficina de proyectos.</p>
<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Y = Reducción de la proyección de rocas (fly rock)</p>	<p>Y<sub>1</sub> = Proyección de rocas (fly rock)</p>	<p>En metros.</p>	<p>Documental.</p>	<p>Cálculos.</p>	

*Fuente: Elaboración propia.*

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. De acuerdo al Propósito

La investigación es de **tipo aplicada** ya que tiene como objetivo de resolver un determinado problema o planteamiento específico.

##### 3.1.2. De acuerdo al Nivel de Investigación

La investigación es de tipo **explicativa** y **descriptiva** ya que permite establecer las causas que originan la proyección de rocas usando la voladura con plasma.

##### 3.1.3. De acuerdo al Diseño

La investigación es **No Experimental**, ya que se realiza sin manipular deliberadamente las variables.

##### 3.1.4. De acuerdo al Método

Hipotético deductivo.

#### 3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el presente estudio de tipo descriptivo se optó por un diseño **NO EXPERIMENTAL** el cual es el más adecuado para la presente investigación,

y estará clasificado como TRANSVERSAL al elegirse el periodo que durará el proyecto que son 7 meses.

### 3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental.

### 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.4.1. Población

La población está constituida por todo los frentes del tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

#### 3.4.2. Muestra

La muestra, está constituido por los frentes donde se realizó las pruebas de voladura con plasma en el tajo abierto de Sociedad Minera el Brocal S.A.A.

La muestra del estudio se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Nz_{\alpha}^2pxq}{d^2x(N - 1) + Z_{\alpha}^2pxq}$$

Donde:

Z = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%).

p = Proporción esperada (en este caso 5% = 0.05).

q= 1-p (en este caso 1-0.05 = 0.95).

N = total de la población.

a = Nivel de significancia (a = 0.05).

d = precisión en la investigación (use d = 3 %).

n = Tamaño óptimo de la muestra.

Reemplazando, tenemos:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

$$n = \frac{4 \times 1.96^2 \times 0.05 \times 0.95}{0.03^2 \times (4 - 1) + 1.96^2 \times 0.05 \times 0.95}$$

n = 2 frentes.

### **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1. Técnicas**

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

Las principales técnicas a usar serán:

- Entrevistas y encuestas.
- Análisis documental.
- Observación.
- Medición, etc.

#### **3.5.2. Instrumentos**

Los principales instrumentos a utilizarse serán:

- Guía de entrevista.
- Cuestionario.
- Guía de análisis documental.

- Guía de observación.

### **3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

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

### **3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

#### **3.7.1. Diseño Estadístico**

El **diseño estadístico** es un factor esencial para la evaluación de impacto. Este permite definir el esquema de muestreo, el **diseño** de la muestra, la selección y la forma de ampliar los resultados obtenidos en una muestra al conjunto del universo de predios estudiados (los factores de expansión). En el estudio utilizaremos el muestreo aleatorio simple.

## 3.7.2. Estrategia de la Prueba de Hipótesis

### 3.7.2.1. Hipótesis Principal

**H<sub>0</sub>**: El nuevo sistema de voladura con plasma **No** reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### 3.7.2.2. Hipótesis Secundarias

- **H<sub>01</sub>**: El control de las vibraciones en voladura con plasma **No** afecta en la reducción de la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.
- **H<sub>02</sub>**: El control de la fragmentación de rocas en voladura con plasma **No** afecta en la reducción de la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.
- **H<sub>03</sub>**: El control de los costos de perforación y voladura con plasma **No** afecta en la reducción de la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### 3.7.2.3. Procedimiento de la Estrategia

Se empleará la inferencia estadística o estadística inferencial para las afirmaciones con respecto a la población completa. La hipótesis estadística es la afirmación con respecto al parámetro de relación de los parámetros de la aplicación de un sistema de identificación de

factores y su efecto en la reducción de los accidentes por desprendimiento de rocas en las excavaciones mineras subterráneas.

Los pasos son los siguientes:

### **Paso 1: Definición de la hipótesis nula y la hipótesis alterna**

-H<sub>0</sub>: Las variables en estudio son independientes.

-H<sub>a</sub>: Las variables en estudio no son independientes.

### **Paso 2: Determinación del nivel de significancia**

El nivel de significancia a considerar será de 95% (p<0.05)

### **Paso 3: Utilización del estadístico de prueba**

El estadístico de prueba a utilizar será “Chi cuadrado”

$$X^2_{calc} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

- f<sub>o</sub>: Frecuencia del valor observado
- f<sub>e</sub>: Frecuencia del valor esperado

### **Paso 4: Definición de la regla de decisión**

- Si p < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula
- Si p > 0.05 entonces se aceptará la hipótesis nula.

### **Paso 5: Toma de decisiones**

Conforme a la regla anterior se aprueba o rechaza la hipótesis propuesta.

### **3.8. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

El análisis de los datos se realizará utilizando los programas: E-view, Excel, SPSS y Minitab.

### **3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA**

Hoy en día la investigación es una herramienta fundamental para el desarrollo del conocimiento, por esta razón es necesario que se tenga información en la cual se pueda confiar, para lo cual se debe ser cuidadoso en los aspectos éticos relacionados con la publicación de un trabajo. La parte final del proceso de investigación debe incluir la presentación de los datos en forma de una publicación científica. Por lo tanto, es necesario que tengamos una formación apropiada que nos permita presentar la información obtenida a través del proceso de investigación de la mejor manera posible. Se considera que un buen investigador debe tener un adecuado conocimiento sobre cómo se debe escribir un artículo, además de las normas generales establecidas para las publicaciones. (Sanjuanelo et al., 2007)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

##### 4.1.1. Evaluación de niveles de vibraciones

###### Resumen de fractura

###### 1. P40-4246

*Tabla N° 40: Evaluación de Niveles de Vibraciones.*

CONSUMO	
Cargas Usadas	161
Taladros cargados según diseño	41
Canales empleados	4
Canales iniciados eléctricamente	4
Cable de iniciación (m)	2900

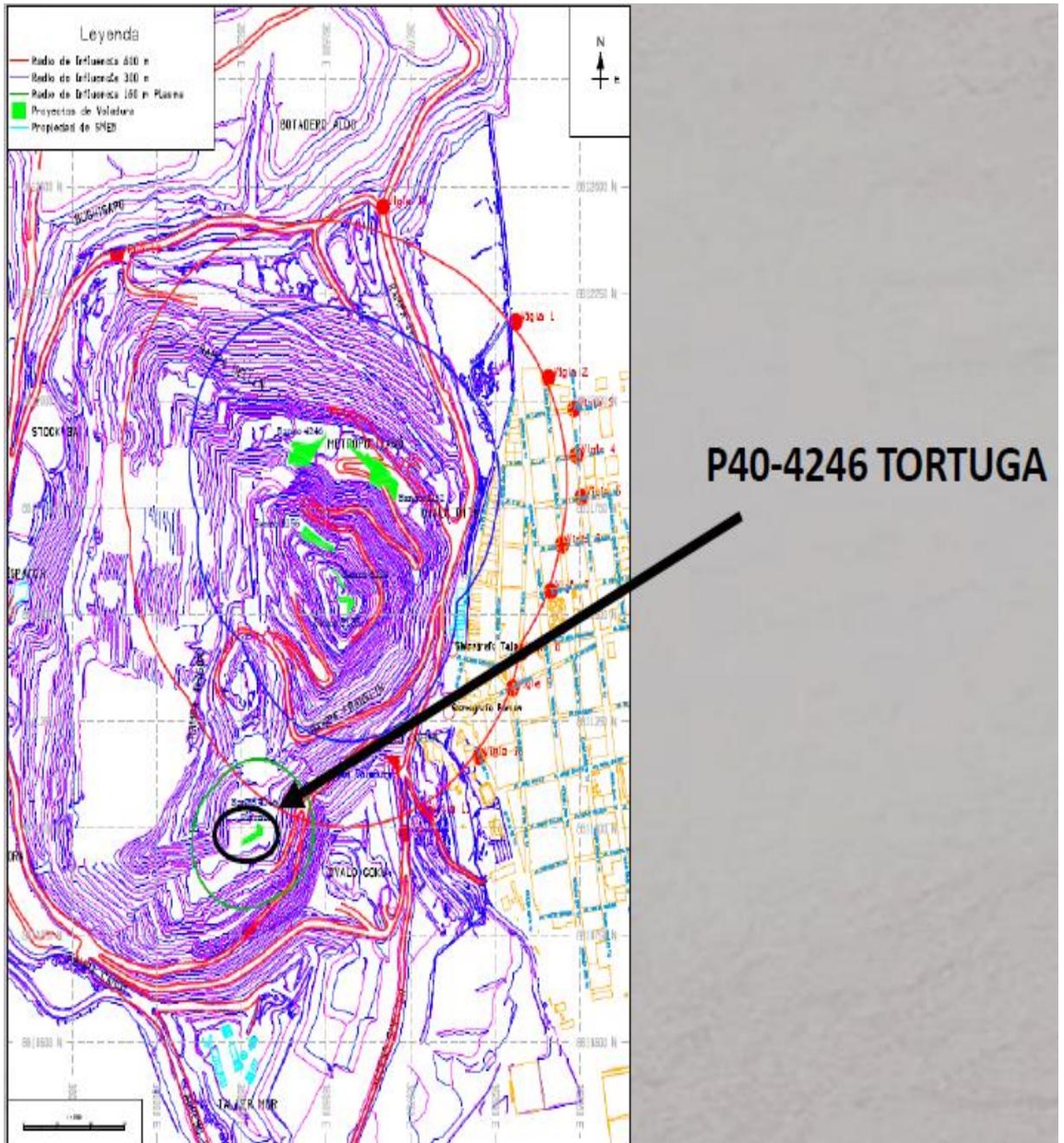
*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 41: Secuencia de Tiempo*

SECUENCIA DE TIEMPO	
Tipo de salida	Filas
Tiempo entre canales	0/300 ms

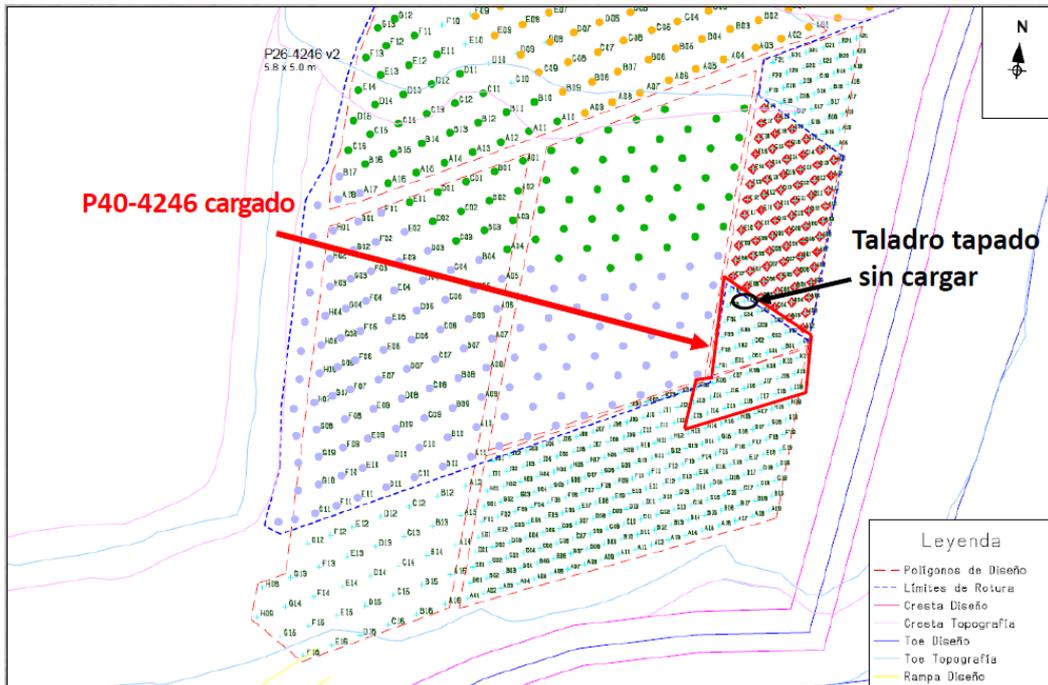
*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 35: Plano de influencia*



*Fuente: Sociedad Minera El Brocal.*

**Figura N° 36: Malla Real Cargada**



**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 37: Imagen Pre-Voladura**



**Fuente: Elaboración Propia.**

***Figura N° 38: Imagen Post- Voladura***



***Fuente: Elaboración Propia.***

***Figura N° 39: Imagen Post- voladura***



***Fuente: Elaboración Propia.***

*Figura N° 40: Imagen Post - Voladura*



*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 41: Imagen Post Voladura*



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 4.1.2. Registro de vibraciones

El registro de vibraciones máxima en onda vertical. 23.14mm/s Geófono Tortuga (Enaex).

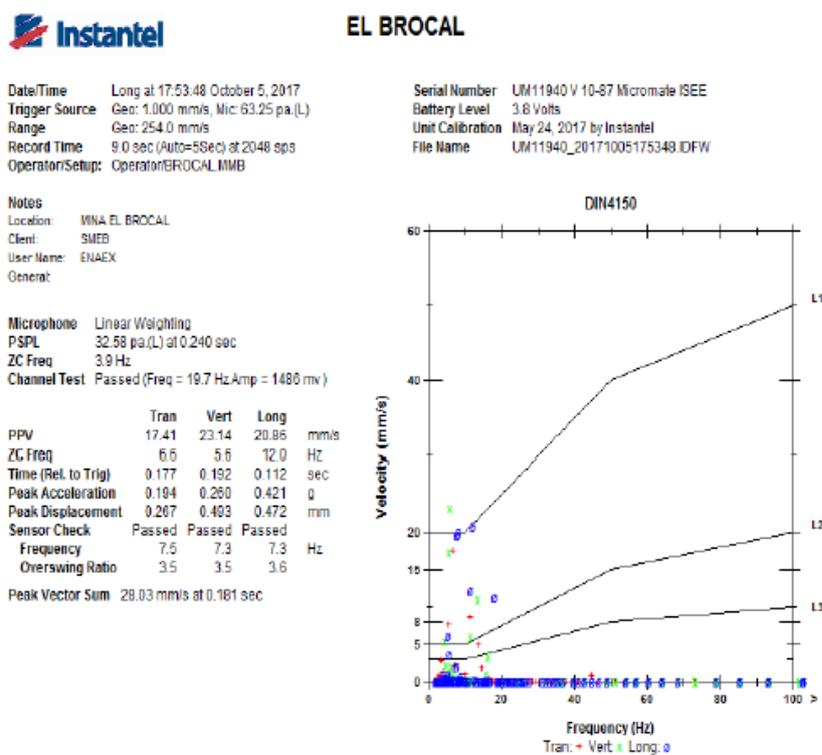
Distancia de la fragmentación al punto de monitoreo  $D = 53$  m.

**Tabla N° 42: Monitoreo de Vibraciones**

Fecha	PROYECTO MONITOREADO	PPV (mm/s)			PVS (mm/s)	Ubicación Geófono	Tipo de Geófono
		Trans.	Vert.	Long./Rad.			
05-Oct	P40 - 4246	<u>17.41@6.6 Hz</u>	<u>23.14@5.6 Hz</u>	<u>20.86@12 Hz</u>	28.03	53 m de la fragmentación	Superficial

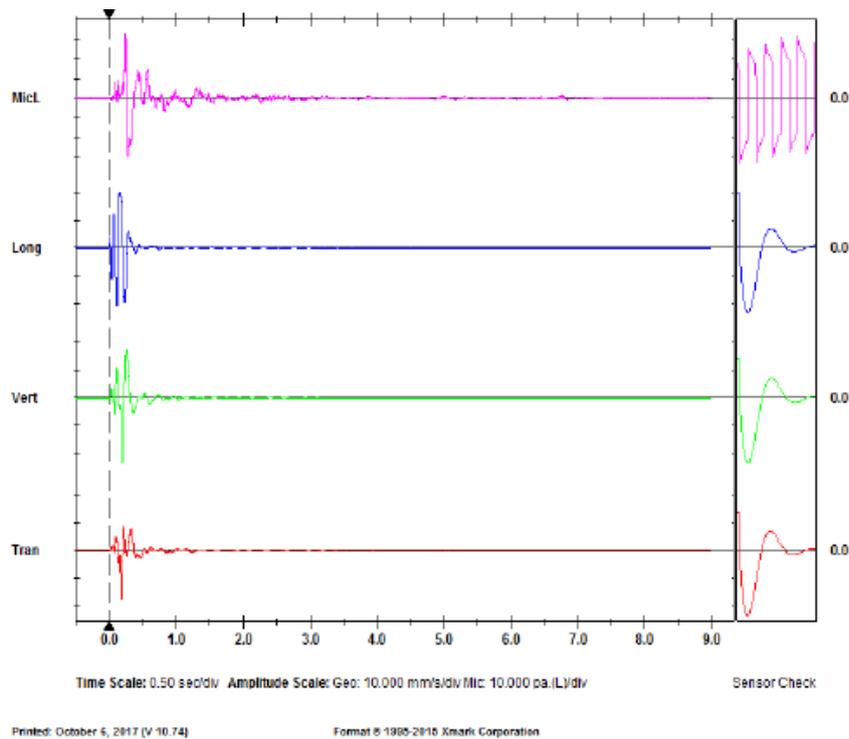
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 42: Análisis de Vibraciones**



**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 43: Análisis de Vibraciones**



**Fuente: Elaboración Propia.**

**2. P37-4246**

**Tabla N° 43: Evaluación de Niveles de Vibraciones.**

<b>CONSUMO</b>	
<b>Cargas Usadas</b>	280
<b>Taladros cargados según diseño</b>	71
<b>Canales empleados</b>	4
<b>Canales iniciados eléctricamente</b>	4
<b>Cable de iniciación (m)</b>	4500

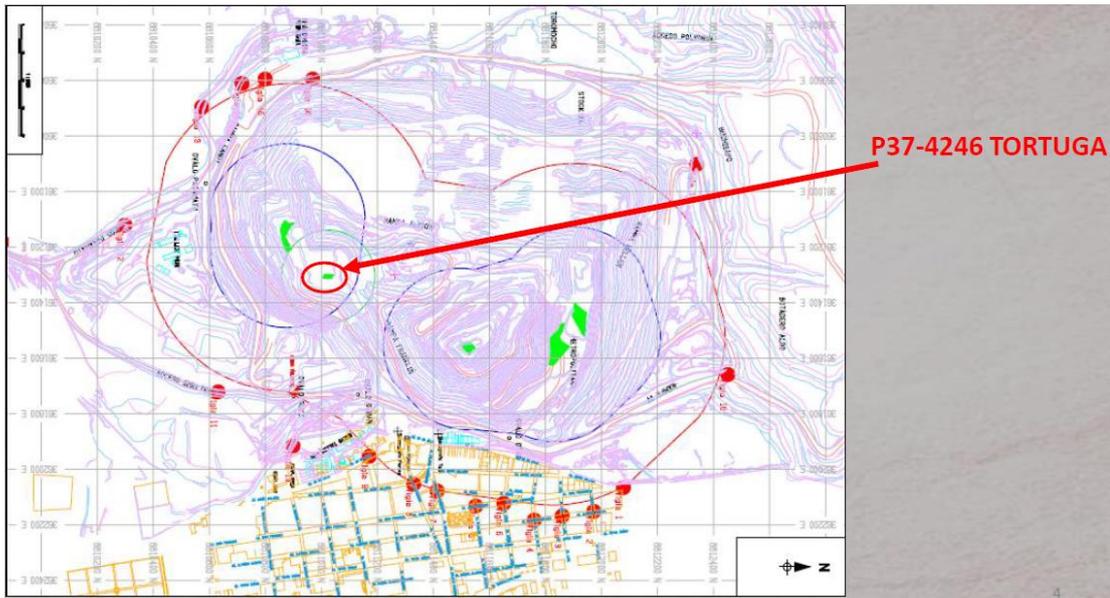
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Tabla N° 44: Secuencia de Tiempo.**

<b>SECUENCIA DE TIEMPO</b>	
<b>Tipo de salida</b>	Filas
<b>Tiempo entre canales</b>	0/300 ms

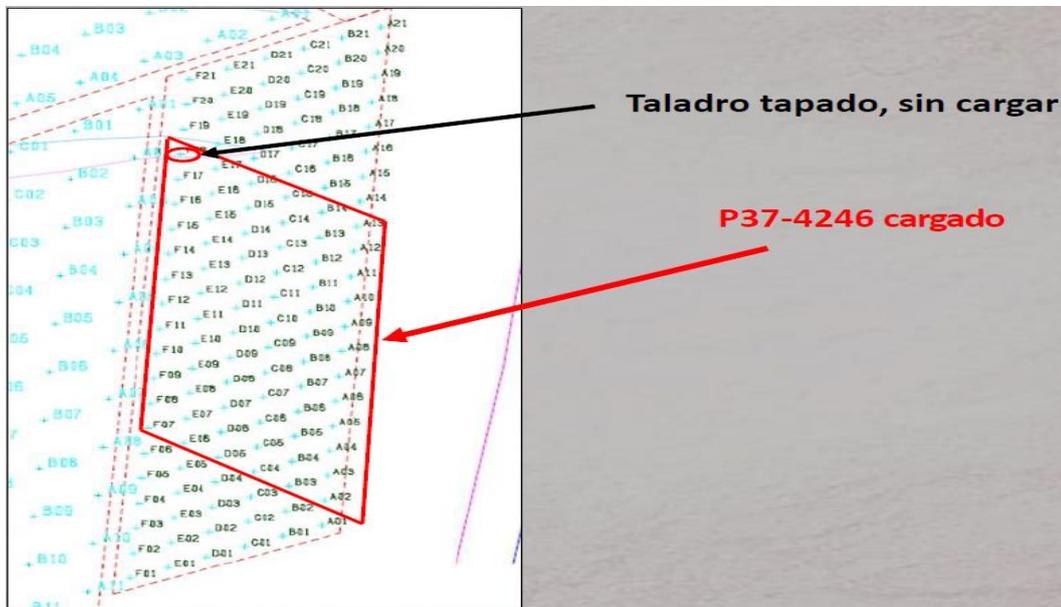
**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 44: Plano de Influencia**



**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

**Figura N° 45: Malla Real Cargada**



**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 46: Imagen Pre-Voladura**



**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 47: Imagen pre voladura**



**Fuente: Elaboración Propia.**

***Figura N° 48: Imagen Post- voladura***



***Fuente: Elaboración Propia.***

***Figura N° 49: Imagen Post- voladura***



***Fuente: Elaboración Propia.***

**Figura N° 50: Imagen Post- voladura**



**Fuente: Elaboración Propia.**

#### **4.1.3. Análisis de vibraciones**

El registro de vibraciones máxima en onda long. mm/s Geófono Tortuga (Enaex).

Distancia de la fragmentación al punto de monitoreo  $D = 76$  m.

**Tabla N° 45: Proyecto Monitoreado**

PROYECTO MONITOREADO	PPV (mm/s)			PVS (mm/s)	Ubicación Geófono	Tipo de Geófono
	Trans.	Vert.	Long./Rad.			
P37 - 4246	3.933@8.7 Hz	4.193@6.6 Hz	5.478@7.3 Hz	6.680	76m de la fragmentación	Superficial

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura N° 51: Análisis de Vibraciones**

Date/Time Long at 13:15:39 October 2, 2017  
 Trigger Source Geo: 1.000 mm/s, Mic: 63.25 pa.(L)  
 Range Geo: 254.0 mm/s  
 Record Time 9.0 sec (Auto=5Sec) at 1024 sps  
 Operator/Setup: Operator/BROCAL.MMB

Serial Number UM11940 V 10-87 Micromate ISEE  
 Battery Level 3.8 Volts  
 Unit Calibration May 24, 2017 by Istantel  
 File Name UM11940\_20171002131539.IDFW

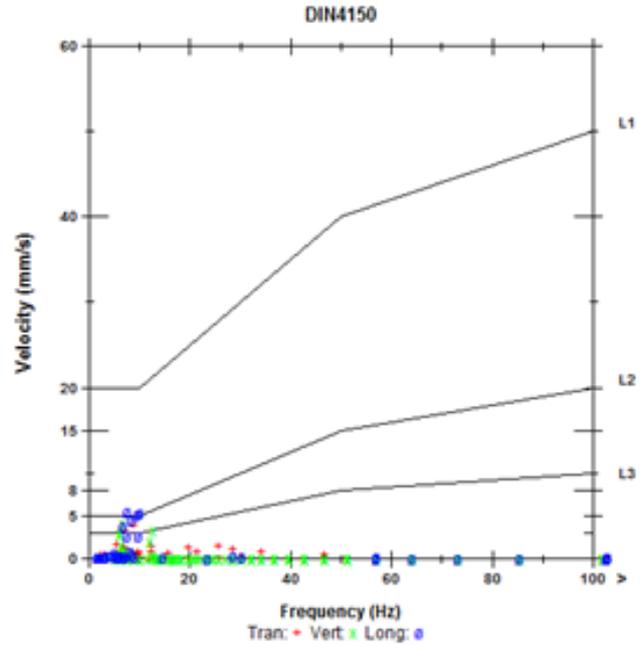
**Notes**

Location:  
 Client:  
 User Name: ENAEX  
 General:

Microphone Linear Weighting  
 PSPL 28.18 pa.(L) at 1.021 sec  
 ZC Freq 20 Hz  
 Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 1274 mv)

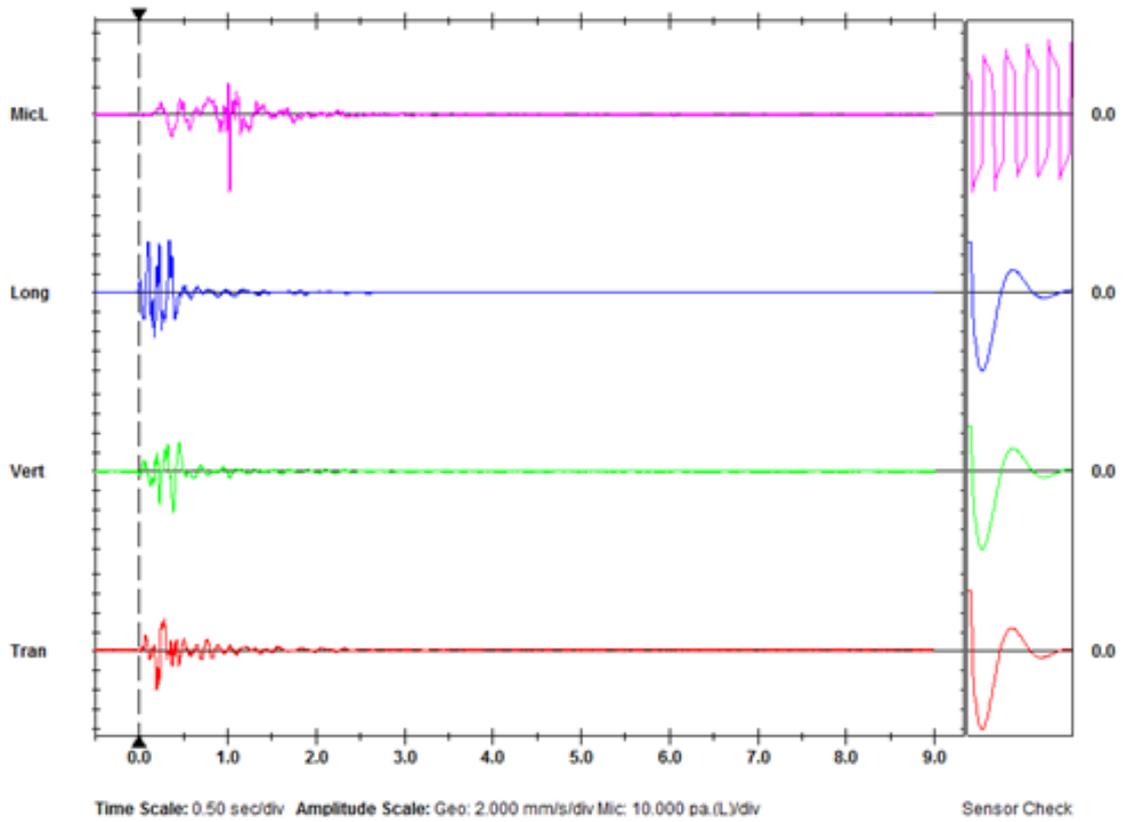
	Tran	Vert	Long	
PPV	3.933	4.193	5.478	mm/s
ZC Freq	8.7	6.6	7.3	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.192	0.381	0.336	sec
Peak Acceleration	0.081	0.069	0.096	g
Peak Displacement	0.085	0.077	0.097	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.3	7.3	Hz
Overswing Ratio	3.5	3.5	3.6	

Peak Vector Sum 6.680 mm/s at 0.224 sec



*Fuente: Elaboración Propia.*

*Figura N° 52: Análisis de Vibraciones*



Printed: October 2, 2017 (V 10.74)

Format © 1995-2015 Xmark Corporation

*Fuente: Elaboración Propia.*

## 4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

### 4.2.1. Pruebas de voladura

*Tabla N° 46: Prueba de voladura (1)*

BANCO - PROYECTO	4246 - PY 40
<b>1. DISEÑO DE AMARRE</b>	
DISEÑO CON PLANO	SI
SE CAMBIO RETARDOS	NO
SE CAMBO LÍNEA TRONCAL	NO
CAMBIO DE DISEÑO	NO
OBSERVACIONES	Se disparó con Plasma a modo de prueba (ENAEX). Se realizó una prueba con el plasma, fuera de los 500m.
<b>2. RESULTADOS DE LA VOLADURA</b>	
ÍTEM	OBSERVACIONES
Fragmentación	Regular
Esponjamiento	2.5 m
Desplazamiento	Se tenía cara libre
Sobre rotura	No se aprecio
Eyección	No se aprecio
Humos	No se aprecio

*Fuente: Elaboración propia.*

#### Comentarios del disparo:

1. Diseño de malla es de B=3.0 y E=3.0 producción.
2. El diseño de malla solo considera taladros de producción. Zona lejos del talud.
3. Producción 36kg, dejando una altura de taco de 3m. Se disparó 41 taladros.
4. No hubo daño en las zonas circundantes al disparo primario.
5. Tipo de salida en "filas". Los canales fueron iniciados eléctricamente.
6. No hubo presencia de gases, fragmentación regular.

7. Los canales fueron iniciados eléctricamente.
8. No hubo presencia de agua en la columna del taladro.
9. En las fotos 1 y 2 se observa el proyecto antes y después del disparo, respectivamente.
10. La foto 3 muestra el esponjamiento del material fragmentado.
11. La foto 4 corresponde a una vista en planta del proyecto detonado.
12. Fecha de disparo 05-10-2017.

**Tabla N° 47: Prueba de voladura (2)**

<b>BANCO - PROYECTO</b>	<b>4246 - PY 37</b>
<b>1. DISEÑO DE AMARRE</b>	
<b>DISEÑO CON PLANO</b>	SI
<b>SE CAMBIO RETARDOS</b>	NO
<b>SE CAMBO LÍNEA TRONCAL</b>	NO
<b>CAMBIO DE DISEÑO</b>	NO
<b>OBSERVACIONES</b>	Se disparó con Plasma a modo de prueba (ENAEX). Se realizó una prueba con el plasma, fuera de los 500m.
<b>2. RESULTADOS DE LA VOLADURA</b>	
<b>ÍTEM</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Fragmentación</b>	Regular
<b>Esponjamiento</b>	1.5 m
<b>Desplazamiento</b>	Se tenía cara libre
<b>Sobre rotura</b>	No se aprecio
<b>Eyección</b>	No se aprecio
<b>Humos</b>	No se aprecio

**Comentarios del disparo.**

1. Diseño de malla es de B=3.0 y E=3.0 producción.
2. El diseño de malla solo considera taladros de producción. Zona lejos del talud.
3. Producción 36kg, dejando una altura de taco de 3m.
4. No hubo daño en las zonas circundantes al disparo primario.

5. Tipo de salida en "filas". Los canales fueron iniciados eléctricamente.
6. No hubo presencia de gases, fragmentación regular.
7. Los canales fueron iniciados eléctricamente.
8. No hubo presencia de agua en la columna del taladro.
9. En las fotos 1 y 2 se observa el proyecto antes y después del disparo, respectivamente.
10. La foto 3 muestra el esponjamiento del material fragmentado.
11. La foto 4 corresponde a una vista en planta del proyecto detonado.

#### 4.2.2. Costos de voladura

*Tabla N° 48: Datos para costos de voladura*

BANCO	PROYECTO	Malla (B x E)	Cantidad plasma / Taladro (kg)	N° Taladros disparados	Plasma (kg)	Vol. Disparado (Desmonte)	Factor Carga (kg/m <sup>3</sup> )	Factor Potencia (kg/ton)
4246	37A	3.0 x 3.0	35	71	2520	3834	0.66	0.269
4246	37B - 40A	3.0 x 3.0	35	41	1449	2214	0.65	0.2677

*Tabla N° 49: Datos para costos de voladura*

SISMÓGRAFO PORTON		SISMÓGRAFO TAJO		SISMÓGRAFO ENAEX	
Vpp (mm/s)	Distancia	Vpp (mm/s)	Distancia	Vpp (mm/s)	Distancia
0.76	591	0.81	670	6.68	76
1.59	608	1.60	692	28.03	53

*Tabla N° 50: Costos de voladura*

<b>Rend. Carguío Planeado (tn/hr)</b>	<b>Rend. Carguío con Plasma(tn/hr)</b>	<b>% Cumplimiento - Plasma</b>	<b>Fragmentación - P80 (in)</b>
760	639	84%	8.5
760	707	93%	

<b>kg</b>	<b>p.u</b>	<b>costo</b>	<b>tonelaje</b>	<b>\$/ton</b>
3969	7.74	30720.06	14787.36	2.077453988

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

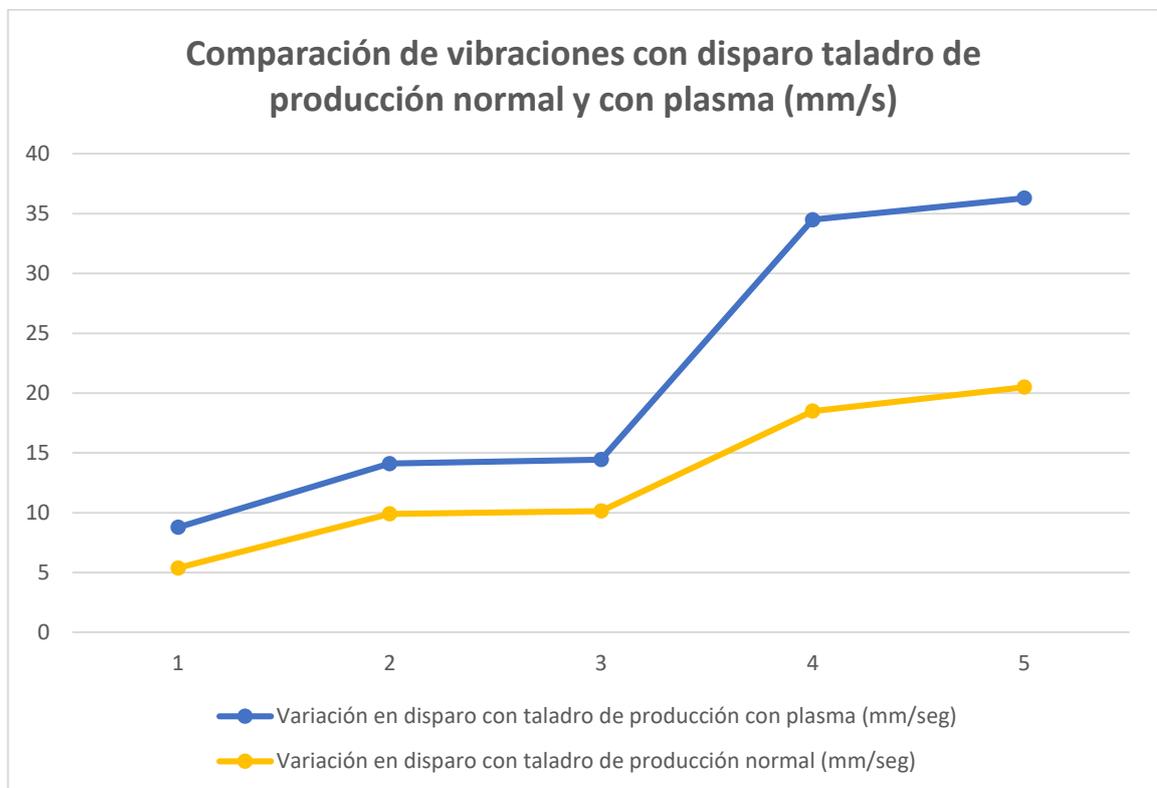
#### 4.3.1. Objetivo Específico 1

*Tabla N° 51: Resultado del Monitoreo de Vibraciones*

Proyecto	Distancia del sismógrafo (m)	Variación en disparo con taladro de producción normal (mm/seg)	Variación en disparo con taladro de producción con plasma (mm/seg)
1	300	5.38	3.4
2	300	9.9	4.2
3	290	10.14	4.3
4	195	18.5	16
5	130	20.5	15.8

*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura N° 53: Comparación de vibraciones en taladro de producción normal y con Voladura con Plasma*



*Fuente: Elaboración propia*

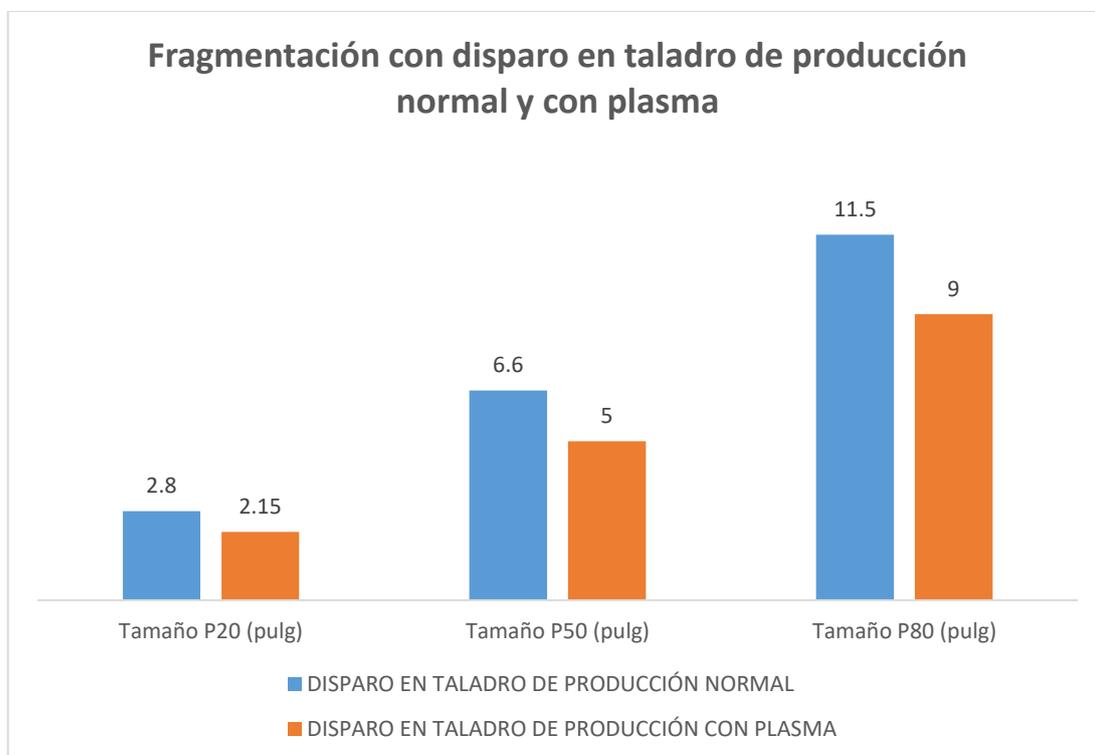
### 4.3.2. Objetivo Específico 2

*Tabla N° 52: Fragmentación con disparo en taladro*

TAMAÑO	DISPARO EN TALADRO DE PRODUCCIÓN NORMAL	DISPARO EN TALADRO DE PRODUCCIÓN CON PLASMA
Tamaño mínimo medido (pulg)	2.3	2.2
Tamaño P20 (pulg)	2.8	2.15
Tamaño P50 (pulg)	2.6	5
Tamaño P80 (pulg)	11.5	9
Tamaño máximo medido (pulg)	25	24.5

*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura N° 54: Fragmentación de rocas*



*Fuente: Elaboración propia.*

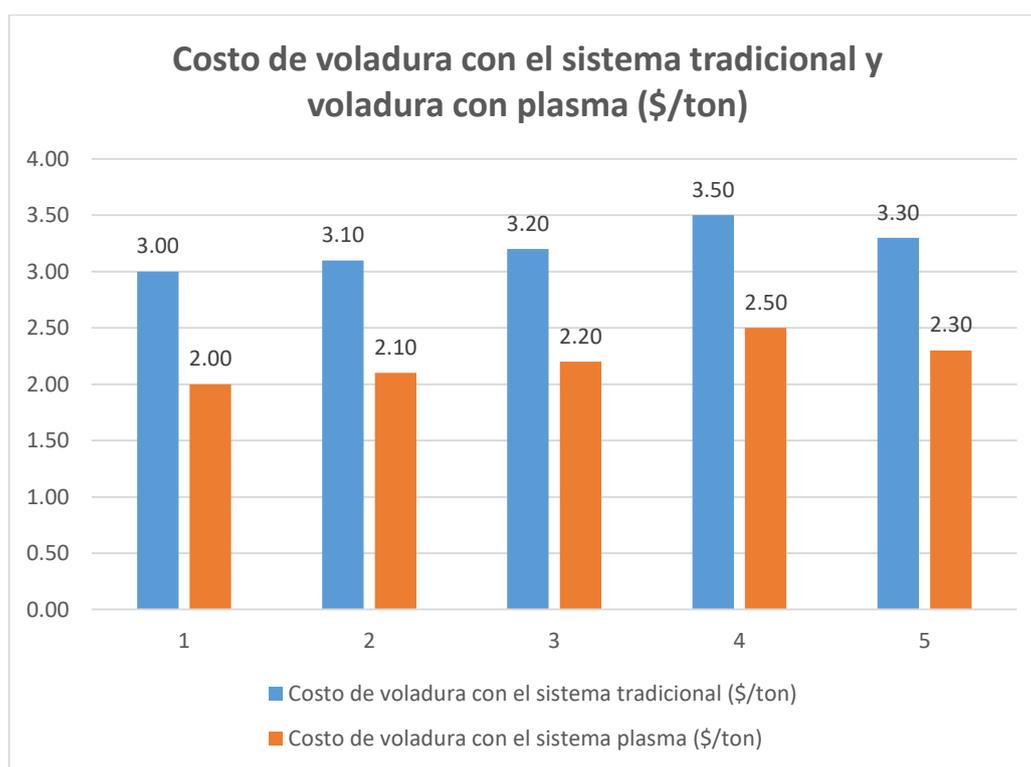
### 4.3.3. Objetivo Específico 3

**Tabla N° 53: Costo de voladura con el sistema tradicional y voladura con plasma**

Proyecto	Costo de voladura con el sistema tradicional (\$/ton)	Costo de voladura con el sistema plasma (\$/ton)
1	3.00	2.00
2	3.10	2.10
3	3.20	2.20
4	3.50	2.50
5	3.30	2.30

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N° 55: Costo de voladura tradicional vs plasma**



*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

##### **Primer Objetivo Específico:**

Para distancias entre 130 y 195 metros, los valores de vibración en disparo con taladro de producción normal están entre 18.5 y 20.50 mm/s. Los valores de vibración en disparo con taladro de producción con Plasma están entre 15.80 y 16.00 mm/s.

Para distancias entre 290 y 300 metros, los valores de vibración en disparo con taladro de producción normal están entre 5.38 y 10.14 mm/s. Los valores de vibración en disparo con taladro de producción con Plasma están entre 3.40 y 4.30 mm/s. (Ver Tabla N° 51 y Figura N° 53).

##### **Segundo Objetivo Específico:**

La diferencia de mayor importancia en la distribución del tamaño de la fragmentación fue encontrada en los tamaños (mallas) P20, P50 y P80. En todos los casos, los resultados del disparo con el Plasma significaron una reducción en el tamaño de la fragmentación de aproximadamente 24.00 % para la malla P20, 25 % para la malla P50 y 21 % para la malla P80. Así la distribución del tamaño de la fragmentación fue reducida substancialmente en el disparo con Plasma (Ver Tabla N° 52 y Figura N° 54).

##### **Tercer Objetivo Específico:**

De acuerdo a la Tabla N° 50 el costo de la voladura con plasma es de 2\$/ton. El costo de la voladura con el sistema tradicional es de aprox. 3\$/ton. (Ver Tabla N° 53 y Figura N° 55).

## CONCLUSIONES

1. En general se toma como aceptable un error de empate de “dos veces el diámetro de perforación” en cualquier dirección. Se observa que en todos los análisis de dispersión tenemos cerca del 80% de taladros en la categoría de “NO Aceptable”.
2. El análisis de dispersión presentado sugiere que existe espacio para mejorar la implementación de diseños en campo (QA/QC), no se debe subestimar el impacto de la dispersión en la perforación sobre los resultados de voladura.
3. Con los antecedentes a disposición se recomienda utilizar la carga standard ya antes recomendada para los proyectos más alejados y una carga de 35 Kg para los dos proyectos cercanos, asumiendo una fragmentación no óptima.
4. Mientras más lejana la voladura más probabilidad que se acoplen 2 o más taladros, por el contrario mientras más cerca más se puede controlar (con detonación electrónica), sobre todo si se utiliza tiempos más generosos, se recomienda esto pero intentando prevenir filas muy largas en la secuencia (e.g.,  $12\text{tal} \times 40\text{ms} > 480\text{ms}$  entre taladros y en cada fila). Pero por otro lado a distancias cortas hay una menor atenuación de onda por lo tanto el control de la implementación es fundamental (QA/QC).
5. En el caso de las voladuras críticas se podría estimar el PPV en mayor detalle, para lo cual sería necesario tener antes el diseño de amarre.
6. En cuanto a las secuencias de detonación se debe utilizar un punto de inicio cercano a la zona que se desea cautelar, y en voladuras críticas optar por secuencias fila a fila tal como se ha venido haciendo, y como se mencionó:

prefiriendo en lo posible filas relativamente cortas para no dejar un tiempo excesivo entre taladros contiguos (afecta fragmentación, posibilidad de presión dinámica, aumenta potencial de flyrock).

## RECOMENDACIONES

1. Ninguna persona debe estar dentro del radio de influencia de los disparos de 500 m (zona de exclusión), ni en la mina ni en el pueblo.
2. Las mezclas explosivas a utilizar serán HA37 para zonas secas según los resultados se puede usar HA 20 o ANFO y HA64 para zonas con agua.
3. Como se indica en los diseños anteriores, los parámetros de perforación y voladura a emplearse (burden, espaciamiento, altura taco) dependerán de la ubicación del banco a volar en relación a la cota del pueblo (distancia horizontal).
4. El tipo de salida a aplicar, en cada caso, va a depender de la forma geométrica de la superficie a volar, de la distancia horizontal al pueblo y del nivel del banco a dispararse. La salida podrá ser en “echelon” o “V” pero siempre disparada con pre-corte, cuyos taladros saldrán antes que los taladros de producción.
5. El taco deberá ser de tipo gravilla o piedra chancada, con una granulometría promedio de entre 8.5 y 17 mm y de forma angulosa, para lo cual se va zarandear el material hasta conseguir el óptimo requerido.
6. Los taladros de pre-corte se van a perforar con un espaciamiento de 2.5 m y se van cargar con ANFO, bien sea como carga acoplada al fondo del taladro o como carga desacoplada, en un tubo de PVC de 2” de diámetro, relleno de ANFO.

7. Normalmente, los taladros de pre-corte son de un diámetro menor a los de producción, pero al no contar en la mina con el equipo adecuado para hacer taladros de 2 ½”, diámetro ideal para estas operaciones, se trabajará con el diámetro normal de 6 ¾”.
8. De igual forma, al no contarse con el explosivo ideal para estos casos – salchichas de emulsión unidas entre sí, formando una sarta que se suspende desde lo alto del taladro- debemos recurrir, para cargar los pre-cortes, al uso del explosivo de menor potencia que manejamos en mina, como el ANFO. En presencia de agua en los taladros, los tubos de PVC serán cerrados en su extremo inferior, para evitar contacto con el explosivo.
9. Se van a utilizar detonadores electrónicos programables, con el fin de reducir las vibraciones y así minimizar los daños a instalaciones cercanas. Estos detonadores tienen una altísima precisión y pueden programarse de 1 a 1 milisegundo, de tal manera que las voladuras deben responder fielmente a los diseños, al no contarse con el efecto dispersión (además de que los detonadores pirotécnicos vienen con tiempos fijos de fábrica). Además de evitar las detonaciones en superficie porque toda la detonación se da en el interior del taladro
10. En principio y hasta que las pruebas posteriores logren demostrar que voladuras de mayor tamaño y menos frecuentes adecuadamente diseñadas a fin de no incrementar las cargas operantes son más inocuas que voladuras pequeñas más frecuentes, el número de taladros de cada disparo, basado en la distancia vertical con respecto al pueblo, será de:
  - Desde Nivel 4228 hacia niveles inferiores: 100-120 taladros/proyecto.

- Desde Nivel 4228 hacia niveles superiores: 30-50 taladros/proyecto.

11. Si el disparo debe hacerse a una distancia horizontal menor a 250 m de una instalación o vivienda, el proyecto de voladura deberá ser cubierto con geomenbranas, mallas y llantas, para reducir el riesgo de proyección de rocas. Para ello, se prevé necesario los siguientes materiales:

- Desde Nivel 4228 hacia niveles inferiores: se necesitará 2640 m<sup>2</sup> de geomenbrana y 30 llantas usadas
- Desde Nivel 4228 hacia niveles superiores: se necesitará 920 m<sup>2</sup> de geomenbrana y 20 llantas usadas

12. Para asegurar la buena fragmentación producto de las voladuras en este sector, se propone el uso de retenedores de taco (gorro chino) a fin de no perder la energía del explosivo por la boca del taladro y de paso tener un mayor control sobre posibles fly rocks

13. Los valores de vibración a no sobrepasar (PPV en función de la frecuencia), así como la ubicación de los puntos de control deberá ser previamente validada y oficializada por la Superintendencia de Mina El Brocal. De ser requerido, la E.E. AYOR, puede sugerir los valores, contando con la presencia de sus especialistas y asesores.

14. El uso de esta nueva alternativa de voladura con plasma, ayuda a reducir la vibración, Fly Rock y la emisión de gases.

15. La voladura con plasma tiene un radio e influencia de 50m. esto reduce costos en movilización e equipos fuera del perímetro de influencia del disparo y el tiempo de retomar las operaciones es más rápido.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cumpa Flores, J. L. (2016). Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú, 2016. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/11034>
- Giraldo Paredez, E. M. (2016). Identificación de factores para reducir accidentes por desprendimiento de rocas en minería subterránea. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(37), 47-55.
- Groves, W., Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2007). Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. *Journal of safety research*, 38(4), 461–470.
- Kaseng Solís, F. L. (2017). Guía práctica para elaborar plan de tesis y tesis de post grado (Maestrías y/o Doctorados) (3.<sup>a</sup> ed.). Escuela Universitaria de Post Grado de la Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Montalvo, J. F., & Piñol, E. (2000). Horario laboral y salud: Consecuencias psicológicas de los turnos de trabajo. *Revista de psicopatología y psicología clínica*, 5(3), 207–222.
- Orihuela Castillo, S. M., & Dapello Vizcarra, J. R. (2009). Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una mina modelo. *Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú*, 97.
- Pérez, J. L. (2007). Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional aplicado a empresas contratistas en el sector económico minero metalúrgico.

- Sanjuanelo, S. L., Caballero-Uribe, C. V., Lewis, V., Mazuera, S., Salamanca, J. F., Daza, W., & Fourzali, A. (2007). Consideraciones éticas en la publicación de investigaciones científicas. 15.
- Seguridad en el uso del equipo desatador de roca o scaler. (2018, septiembre 18). Recuperado 24 de agosto de 2019, de Revista Seguridad Minera website: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/caracteristicas-y-seguridad-en-el-uso-del-equipo-desatador-de-roca-o-scaler/>
- Sibaja, R. C. (2002). Salud y Seguridad en el Trabajo. Euned.
- Villena Alegre, C. D. (2013). Modelo matemático para predecir el lanzamiento de fragmentos de roca en minería superficial.
- Zapata Porras, J. M. (2012). Análisis de las vibraciones generadas por voladuras para la adecuada selección de explosivos en explotaciones mineras subterráneas en la Compañía de Minas Caudalosa SA. Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

# **ANEXOS**

*Anexo N° 1: Matriz de consistencia*

**“Evaluación de Vibraciones en Voladura con Plasma para Reducir la Proyección de Rocas (fly rock) en el Tajo Abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.”**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<p><b>Problema principal</b> ¿Cómo el sistema de voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Reducir la proyección de rocas (fly rock) con la aplicación del nuevo sistema de voladura con plasma en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El nuevo sistema de voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.</p>	<p><b>Variable Independiente (X)</b> Sistema de voladura con plasma.</p>	<p><math>X_1</math> = Control de las vibraciones en la voladura con plasma.  <math>X_2</math> = Control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma.</p>	<p><b>Tipo y nivel de investigación:</b> <b>Tipo:</b> <b>De acuerdo a la orientación:</b> Aplicada, resuelve un problema específico. <b>De acuerdo a la técnica de contrastación:</b> Explicativa, permite establecer comparaciones. <b>De acuerdo a la direccionalidad:</b> Tipo retrospectivo, se analiza el presente con datos del pasado.</p>
<p><b>Primer problema específico</b> ¿Cómo el control de las vibraciones en la voladura con plasma reduciría la proyección de rocas</p>	<p><b>Primer objetivo específico</b> Reducir la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal mediante el</p>	<p><b>Hipótesis específica 1</b> El control de las vibraciones en la voladura con plasma reduciría la proyección de</p>	<p><b>Variable Dependiente (Y)</b> Reducción de la proyección de rocas (fly rock)</p>	<p><math>X_3</math> = Control de los costos de perforación y voladura con</p>	

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
(fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?	control de las vibraciones en la voladura con plasma.	rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.		plasma.  Y <sub>1</sub> = Proyección de rocas (fly rock)	<b>De acuerdo al tipo de fuente de recolección de datos:</b>  Tipo Retrolectivo por usar fuentes de información secundaria. <b>De acuerdo a la evolución del fenómenos estudiado:</b>  Tipo transversal, se trabajará con datos del pasado para proyectar el futuro.
<b>Segundo problema específico</b> ¿El factor tipo de sostenimiento incidiría en la reducción de los accidentes laborales por desprendimiento de rocas en las excavaciones mineras subterráneas?	<b>Segundo objetivo específico</b>  Reducir la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal mediante el control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma.	<b>Hipótesis específica 2</b>  El control de la fragmentación de rocas en la voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.			<b>De acuerdo a la comparación de la población:</b>  Comparativo. <b>Diseño:</b>  No experimental.
<b>Tercer problema específico</b> ¿Cómo el control de los costos de perforación y	<b>Tercer objetivo específico</b>  Reducir la proyección de rocas (fly rock) en	<b>Hipótesis específica 3</b>  El control de los costos de perforación y			<b>Estrategia de prueba de</b>

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
voladura con plasma influiría en la reducción de la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?	el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal mediante el control de los costos de perforación y voladura con plasma.	voladura con plasma reduciría la proyección de rocas (fly rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.			<b>hipótesis:</b> Chi cuadrado n= 2 frentes.

*Fuente: Elaboración propia.*

**Anexo N° 2: Instrumentos de recolección de datos**

**Tabla N° 54: Distancias entre los principales centros poblados y las zonas de operaciones de SMEB**

Localidad	Operaciones en Colquijirca (km)	Operaciones en Huaraucaca (km)
Colquijirca		
Huaraucaca		
Huachuacaja		
Smelter		
Sacra Familia		
Jupayrragra		
San Gregorio		
Villa de Pasco		
Cerro de Pasco		
Lima		

**Fuente: SVS, 2011.**

**Tabla N° 55: Criterio de Diseño del Tajo**

Criterio	Unidad	Valor
Altura de Banco	m	
Ancho de Minado Mínimo	m	
Ancho de Rampa	m	
Gradiente en Rampa (Max)	%	
Radio interno de Giro	m	
Angulo Talud de Banco (ATB)	°	
Angulo Inter Rampa (AIR)	°	
Angulo Global de Talud (AGT)	°	

**Fuente: Sociedad Minera El Brocal.**

**Tabla N° 56: Ensayos en el Laboratorio de Suelos**

Muestras de suelo	Muestras de roca
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graduación ASTM D – 422 (% que pasa por tamiz)</li> <li>• Límites de Attemberg (LL, LP. IP)</li> <li>• Clasificación SUCS ASTM D-2487</li> <li>• Humedad Natural</li> <li>• Densidad</li> <li>• Peso Volumétrico Seco Suelto</li> <li>• Ensayos de potencial de acidez (estático)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravedad específica</li> <li>• % de absorción</li> <li>• Resistencia a la compresión</li> <li>• Ensayos de potencial de acidez (estático)</li> </ul>

**Fuente. Elaboración Propia.**

**Tabla N° 57: Taladros de producción**

Parámetros	Valor
Altura banco (m)	
Sobre perforación (m)	
Burden	
Espaciamiento	
Tipo Explosivo	
Altura carga (m)	
Altura taco (m)	
Factor carga (kg/m <sup>3</sup> )	
Scaled depth of burial (SD)	

**Fuente: Elaboración Propia.**