

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**“APLICACIÓN DEL SOSTENIMIENTO  
ESTRUCTURAL EN MINA TICLIO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR  
JOHNNY PACHECO CENTENO**

**ASESOR  
ING. ADOLFO JESUS CHAVEZ VALDIVIA**

**LIMA-PERU  
2014**

## **DEDICATORIA**

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Papá y mamá.

## **AGRADECIMIENTO**

A Volcan S.A, por apoyarme en mí informe.

A mis compañeros de trabajo y el personal obrero de la unidad Ticlio, por prestar su tiempo para este fin.

A los profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería y mis colegas de la escuela (UNI) que me brindaron su valioso apoyo en mi formación profesional.

## RESUMEN

La UEA. TICLIO, tiene actualmente una producción de 1000 t/día, esta producción se debe principalmente a la explotación del cuerpo Ariana. El terreno presentado en el desarrollo de los accesos y el cuerpo no es uniforme, debido a algunas fallas y ocasionalmente presencia de agua. Uno de los problemas para realizar el desarrollo del laboreo es el tiempo de ciclo de sostenimiento, para ello se evaluó y decidió con el área de geomecánica para cambiar el tipo de sostenimiento de cimbras a un sostenimiento estructural los cuales están sustentados en estudios técnicos internos y externos, pasando por el impacto económico y los resultados comparativos tomados en cada etapa de implementación.

Asimismo, ingresamos en la búsqueda del mejor diseño de sostenimiento estructural, los que intervienen una combinación de elementos de sostenimiento como son el shotcrete vía húmeda, pernos de fricción, pernos expansivos y malla electrosoldada cuando sea necesario, con fines de reducir el uso de las cimbras, las cuales implican más tiempo y mayor recurso humano. Este reemplazo del tipo de sostenimiento y el sistema mecanizado de equipos, garantizará mayor velocidad del ciclo de sostenimiento, minado y productividad en los frentes de mineral y desmonte.

## **ABSTRACT**

The UEA . Ticlio, currently has an output of 1000 tonnes / day, this production is mainly due to the exploitation of the Ariana body. The plot presented in the development of hits and the body is not uniform, due to some flaws and occasional presence of water. One problem for the development of tillage is the cycle time of support, for it was assessed and decided with the area of geomechanics to change the type of support formwork to a structural support which are supported by internal technical studies and external , through the economic impact and comparative results taken at every stage of implementation.

In addition, we entered in the search for the best design of structural support, which involved a combination of elements such as the shotcrete support via wet friction bolts, bolts and wire mesh expansive when necessary, for the purpose of reducing the use of formwork, which involve more time and human resources. This replacement of the type of support and mechanized equipment, ensure faster cycle support, and productivity in the mining of ore and waste fronts.

# INDICE

	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO I – MINA TICLIO.....</b>	<b>12</b>
1.1 Ubicación, acceso y clima.....	12
<b>CAPITULO II – ASPECTOS GEOLOGICOS.....</b>	<b>14</b>
2.1 Geomorfología.....	14
2.2 Geotectónica .....	14
2.3 Geología regional .....	15
2.4 Estratigrafía .....	17
2.5 Geología local.....	24
2.6 Geología estructural .....	25
2.7 Geología económica .....	26
<b>CAPITULO III – INVESTIGACIONES GEOMECANICAS.....</b>	<b>29</b>
3.1 Caracterización de la masa rocosa .....	29
3.1.1 Registro de datos .....	29
3.1.2 Aspectos litológicos .....	31
3.1.3 Distribución de discontinuidades .....	31
3.1.4 Aspectos estructurales .....	35
3.2 Clasificación de la masa rocosa .....	36
3.3 Zonificación geomecánica de la masa rocosa .....	38
3.4 Resistencia de la roca .....	40
3.4.1 Resistencia de la roca intacta .....	40
3.4.2 Resistencia de las discontinuidades .....	43
3.4.3 Resistencia de la masa rocosa .....	44

3.5 Condiciones del agua subterránea .....	45
3.6 Esfuerzos in-situ .....	45
<b>CAPITULO IV – EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD .....</b>	<b>47</b>
4.1 Generalidades .....	47
4.2 Direcciones preferenciales de avance de las excavaciones .....	47
4.3 Estabilidad estructuralmente controlada .....	48
4.3.1 Análisis de cuñas .....	50
4.3.1.1 Avance labores paralelo al rumbo del cuerpo.....	50
4.3.1.2 Avance de labores perpendicular al rumbo del cuerpo.....	55
4.3.1.3 Paredes verticales de tajeos .....	54
4.4 Estabilidad controlada por esfuerzos .....	56
4.4.1 Análisis esfuerzo/deformación.....	56
<b>CAPITULO V – SOSTENIMIENTO .....</b>	<b>65</b>
5.1 Criterio de evaluación del sostenimiento.....	65
5.2 Aplicación del sostenimiento estructural .....	70
5.3 Evaluación económica del sostenimiento estructural .....	72
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
<b>Figura. 1.1-</b> Plano de ubicación .....	13
<b>Figura 2.1:</b> Mapa geológico regional.....	16
<b>Figura 2.2:</b> Columna estratigráfica generalizada – Mina Ticlio .....	19
<b>Figura. 3.1-</b> Diagrama estereográfico de contornos del composito general.....	33
<b>Figura. 3.2-</b> Diagrama estereográfico de planos principales del composito general ..	33
<b>Figura. 3.3-</b> Diagrama de roseta de discontinuidades del composito general .....	34
<b>Figura 4.1-</b> Entrada de datos del arreglo estructural de discontinuidades y orientación de excavación paralela al rumbo del cuerpo mineralizado .....	50
<b>Figura 4.2-</b> Análisis de estabilidad de cuñas formadas en las labores de avance de 4.5 x 4 m de sección en dirección paralela al rumbo del cuerpo .....	51
<b>Figura 4.3-</b> Entrada de datos del arreglo estructural de discontinuidades y orientación de excavación perpendicular al rumbo del cuerpo mineralizado.. .....	52
<b>Figura 4.4-</b> Análisis de estabilidad de cuñas formadas en las labores avance con dirección perpendicular al rumbo del cuerpo mineralizado.....	53
<b>Figura 4.5-</b> Análisis de estabilidad de cuñas generadas en tajeos abiertos de 5 m de ancho y 13.5 m de altura .....	54
<b>Figura 4.6-</b> Vista local de la malla de elementos finitos .....	57
<b>Figura 4.7-</b> Distribución de factores de resistencia correspondiente al caso de la simulación de la preparación de subniveles superior e inferior .....	58
<b>Figura 4.8-</b> Distribución de factores de resistencia en la simulación del minado del primer tajeo primario. ....	59
<b>Figura 4.9-</b> Distribución de factores de resistencia en la simulación de las etapas posteriores del minado de los tajeos primarios .....	60



<b>Figura 4.10-</b> Distribución de factores de resistencia a la culminación del minado de los tajeos primarios e inicio del minado de los tajeos secundarios.....	61
<b>Figura 4.11-</b> Distribución de factores de resistencia en la simulación del minado del horizonte superior después de concluido el minado del horizonte inferior. ....	62
<b>Figura 4.12-</b> Distribución de factores de resistencia en la simulación del minado de los tajeos secundarios en el horizonte superior. ....	63
<b>Figura 5.1-</b> Sección longitudinal del cuerpo Ariana .....	66
<b>Figura 5.2-</b> Zonificación geomecanica del piso -2.....	66
<b>Figura 5.3-</b> Zonificación geomecanica del piso -3.....	67
<b>Figura 5.4-</b> Zonificación geomecanica del piso -4.....	67
<b>Figura. 5.5-</b> Equipo Robot Alpha lanzando shotcrete preventivo.....	71
<b>Figura 5.6 -</b> Equipo Bolter-77 en vista lateral .....	71
<b>Figura. 5.7-</b> Vista del sostenimiento estructural completo.....	72

## LISTA DE TABLAS

	Pág
<b>Tabla 3.1-</b> Sistemas de discontinuidades estructurales .....	32
<b>Tabla 3.2-</b> Criterio para la clasificación de la masa rocosa.....	37
<b>Tabla 3.3-</b> Calidad de la masa rocosa por tipo de roca .....	38
<b>Tabla 3.4-</b> Zonificación geomecánica y calidades de masa rocosa.....	39
<b>Tabla 3.5-</b> Resistencia compresiva de la roca intacta (Determinada por ensayos con el martillo Schmidt).....	40
<b>Tabla 3.6-</b> Resistencia compresiva de la roca intacta (Determinada con ensayos de carga puntual).....	41
<b>Tabla 3.7-</b> Resistencia compresiva de la roca intacta (Determinada con ensayos de compresión triaxial) .....	41
<b>Tabla 3.8-</b> Valores de la constante “mi” de la roca intacta (Determinados con ensayos de compresión triaxial) .....	42
<b>Tabla 3.9-</b> Resultados de los ensayos de propiedades físicas de la roca intacta .	42
<b>Tabla 4.0-</b> Resultados de los ensayos de corte directo en discontinuidades .....	43
<b>Tabla 4.1-</b> Propiedades de resistencia de la masa rocosa.....	44
<b>Tabla 5.1-</b> relación entre la calidad de roca y el color sombreado.....	68
<b>Tabla 5.2-</b> Sostenimiento para labores de avance permanentes (3.5 a 4.5 m).....	69
<b>Tabla 5.3-</b> Sostenimiento para labores de avance temporales .....	70
<b>Tabla 5.4 -</b> porcentaje de las actividades mineras según el costo anual.....	73
<b>Tabla 5.5-</b> comparación de costos entre sostenimiento estructural y sostenimiento con cimbras.....	74
<b>Tabla 5.6-</b> ahorro por pisos desarrollados usando sostenimiento.....	74

## NOMENCLATURA

RMR	:	Rock Mass Rating
°C	:	Grados centígrados
Pb	:	Plomo
Zn	:	Zinc
Ag	:	Plata
Cu	:	Cobre
Mo	:	Molibdemo
Au	:	Oro
SE	:	Sur este
N	:	Norte
NE	:	Nor este
m	:	Metros
NW	:	Nor oeste
Km	:	Kilómetros
SW	:	Sur oeste
Nv.	:	Nivel
ISRM	:	International Society for Rock Mechanics
RQD	:	Rock Quality Designation
Mm	:	Milímetros
Cm	:	Centímetros
MPa	:	Mega pascales

## INTRODUCCION

La producción principal de mina Ticlio se basa en la explotación del cuerpo ARIANA. Este cuerpo mineralizado tiene un RMR de 25 en promedio en las cajas de calizas y diorita. Ariana mantiene un nivel freático alimentado por dos fallas. Este flujo de agua y la calidad de roca hacen que nuestros avances y preparación sean lentos debido a la capacidad de sostenimiento que tenemos en la unidad. Viendo estas necesidades y la reducción de agua en algunas zonas se realiza un estudio técnico económico con el área de Geomecanica para cambiar el tipo de sostenimiento de cimbras por sostenimiento estructural en labores que permitan hacerlo. Este cambio en el sostenimiento nos permitió aumentar nuestra velocidad en los avances y en consecuencia acelerar el proceso de minado.

El sostenimiento estructural consiste en la aplicación de la mejor combinación de los elementos de sostenimiento tales como malla electrosoldada, Split set, hydrabolt y shotcret para el soporte de las labores. Para realizar este cambio en el sostenimiento contamos en la unidad con la colaboración de las ECM como son resemín (bolter) y robocon (shotcrete) con sus respectivos equipos.

## **CAPITULO I**

### **MINA TICLIO**

#### **1.1 Ubicación, acceso y clima**

La Mina Ticlio se encuentra ubicada en los distritos de Chicla (Provincia de Huarochirí) y Morococha (Provincia de Yauli), departamentos de Lima y Junín respectivamente. La zona está a una altitud promedio de 4800 msnm.

El acceso es por vía terrestre siguiendo la ruta asfaltada de la Carretera Central, partiendo de Lima Mina Ticlio está en el km 130.

El clima de la zona es frío, su temperatura anual promedio varía entre 1.6 °C a 3.4 °C, teniendo como máximos 8 °C a 9 °C y como mínimo - 6.9 °C promedio anuales. Las precipitaciones ocurren principalmente durante 4 a 6 meses del año en forma de lluvias, granizo o nevadas y se acentúan entre Febrero y Marzo. La humedad relativa promedio mensual fluctúa entre 80 % a 90 %, registrándose los mayores valores entre Enero, Febrero y Marzo y los menores valores en el mes de Agosto.

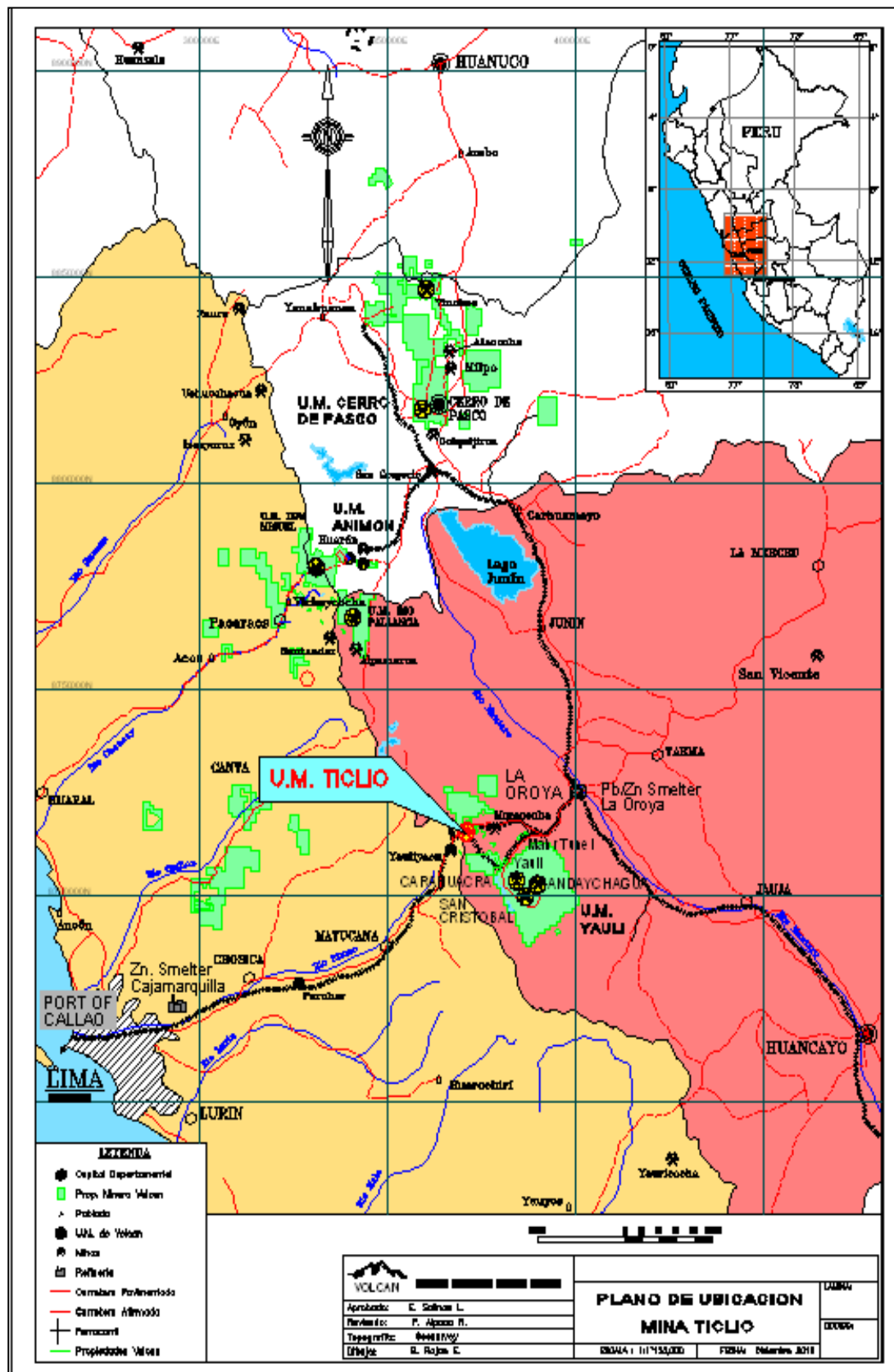


Figura. 1.1- Plano de ubicación

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS**

#### **2.1 Geomorfología**

La morfología de la zona está constituida por cerros de gran altitud que oscilan entre los 4600 a 5000 msnm que forman parte de la Cordillera Central y que dan forma a amplias áreas abruptas. También se tiene la presencia de coberturas de material morrénico y aluvional ubicados en los conos de deyección y quebradas. También se aprecian zonas de depresión como el Abra Anticona.

#### **2.2 Geotectónica**

En la zona se tuvo más de una Orogenia, de las cuales una se dio durante el Pre-mesozoico, dando lugar a un intenso plegamiento que afecto a las filitas Excelsior.

En el Cretáceo Inferior la sedimentación tuvo lugar en cuencas y cubetas controladas por movimientos oscilatorios verticales a lo largo de fallamientos longitudinales heredados de la tectónica hercínica y de movimientos nevadianos que separaron bloques levantados y hundidos. En el Albiano temprano se inicia una transgresión marina generalizada, que cubre todo el

Perú sobrepasando la Cordillera Oriental en el Albiano Medio cubriendo todo con facies primero arenocarbonatadas y luego carbonatadas. En el lado Occidental se mantuvo el vulcanismo muy activo, donde lavas y piroclásticos cambian hacia el Este a una sedimentación carbonatada.

En el Cretáceo Superior se mantuvo un periodo de transgresiones y regresiones, continuando la sedimentación carbonatada y clástica.

Afines del Cretáceo se inicia una segunda Orogenia que inicia el levantamiento de las cuencas dando lugar a la Fase Peruana y la Fase Inca correspondientes al Ciclo Andino. La Fase Peruana fue de actividad Compresiva generando plegamientos regionales, fallamientos y fracturamientos. En la fase Inca (principios del Terciario fines del Eoceno) se acentuó fuertemente la actividad Compresiva generando pliegues, fallas inversas, sobreescurrecimientos. Posterior a ella se genera un vulcanismo generalizado en la Cordillera Occidental, seguido del plegamiento Quechua ocurrido en el Terciario Superior (Mioceno), es en todo este periodo que se formó el anticlinal Morococha.

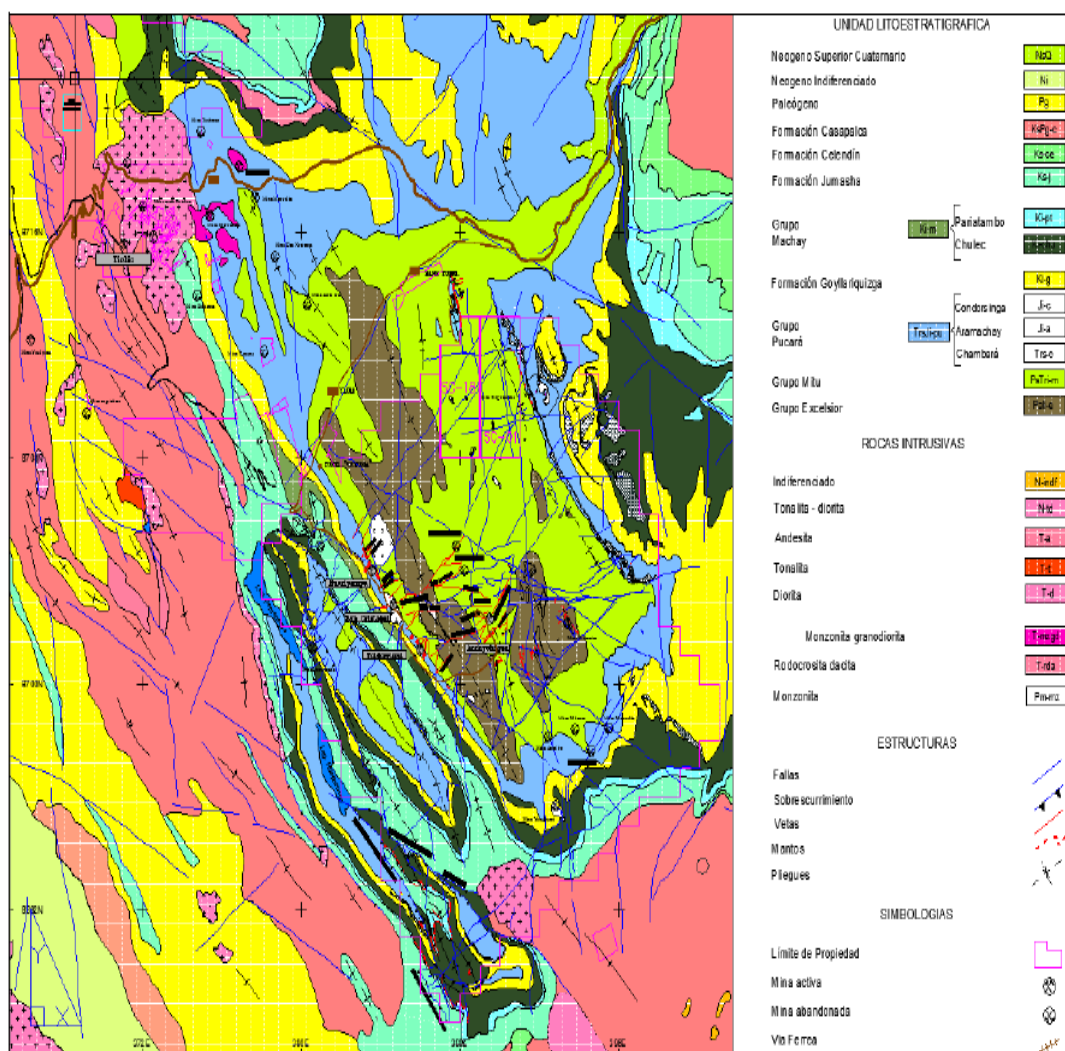
### **2.3 Geología Regional**

En el área se aprecia el Domo Yauli, orientado según pliegues y fracturas del dominio andino, en la zona central de esta ventana tectónica aparece el “zócalo paleozoico” mientras que los flancos son cubiertos por rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas como las calizas del Grupo Pucará, areniscas de la Formación Goyllarisquizga, calizas de las Formaciones Chulec, Pariatambo (Grupo Machay), Formación Jumasha y Capas Rojas del



Grupo Casapalca que finalmente son intruidas por plutones de tipo Diorita Anticona, Cuarzo-monzonita “Ticlio”, etc.

Ver figura siguiente.



**Figura 2.1:** Mapa geológico regional

El área está conformado por capas sedimentarias que afloran manteniendo un alineamiento N10°-20°W, estas se muestran plegadas apreciándose varios anticlinales y sinclinales con orientación de eje aproximado de N10°-20°W.

Hacia el flanco E se aprecia un afloramiento de Filitas del Grupo Pucará y Volcánicos del Grupo Mitu, todos estos manteniendo una orientación similar a las capas anteriores.

El Anticlinal de Morococha y el área de Ticlio forman parte del Domo Yauli, la cual es una “ventana estructural” situada en los Andes Centrales del Perú en donde la mineralización polimetálica de Pb-Zn-Ag (Cu) está emplazada en estructuras vetiformes, mantos, cuerpos de reemplazamiento, metasomatismo y diseminaciones tipo pórfido de Cu (Mo-Au) relacionadas a los diferentes eventos mineralizantes asociados a una fuerte actividad intrusiva ocurrida durante el Terciario Medio a Superior (Mioceno – R. Moritz et. al, 2002) de tipo básico a ácido, la que presenta un cierto zoneamiento regional que controla el dominio de las mineralizaciones.

#### **2.4 Estratigrafía**

Según la apreciación de campo, la Columna Estratigráfica Generalizada de la Mina Ticlio y la Columna Estratigráfica Generalizada del Perú Central, se determina que la estratigrafía del área de estudio es la siguiente:

##### **Grupo Excelsior – Paleozoico – Devónico**

Esta constituido principalmente por areniscas cuarzosas, filitas, lutitas oscuras a grises y cuarcitas blanquecinas. En el área de estudio se presentan principalmente como filitas, mármoles fosilíferos y cuarcitas, las cuales están ubicadas en el flanco SE.

**Grupo Mitu – Paleozoico – Pérmico Medio a Superior**

Está constituido por una secuencia inferior molásica continental de color rojizo y por una secuencia superior volcánica de color violáceo intercalada con sedimentos.

La secuencia sedimentaria está constituida por conglomerados, areniscas conglomerádicas, areniscas arcósicas, limolitas y lutitas. En el área está conformada por lentes conglomerados rojizos y areniscas. Se pueden apreciar en el flanco E – SE. La secuencia volcánica está conformada por derrames, brechas lávicas, piroclásticos y tobas andesíticas, dacíticas y riódacíticas.

**Grupo Pucará – Triásico – Jurásico**

Estos se aprecian en el flanco E del área de estudio.

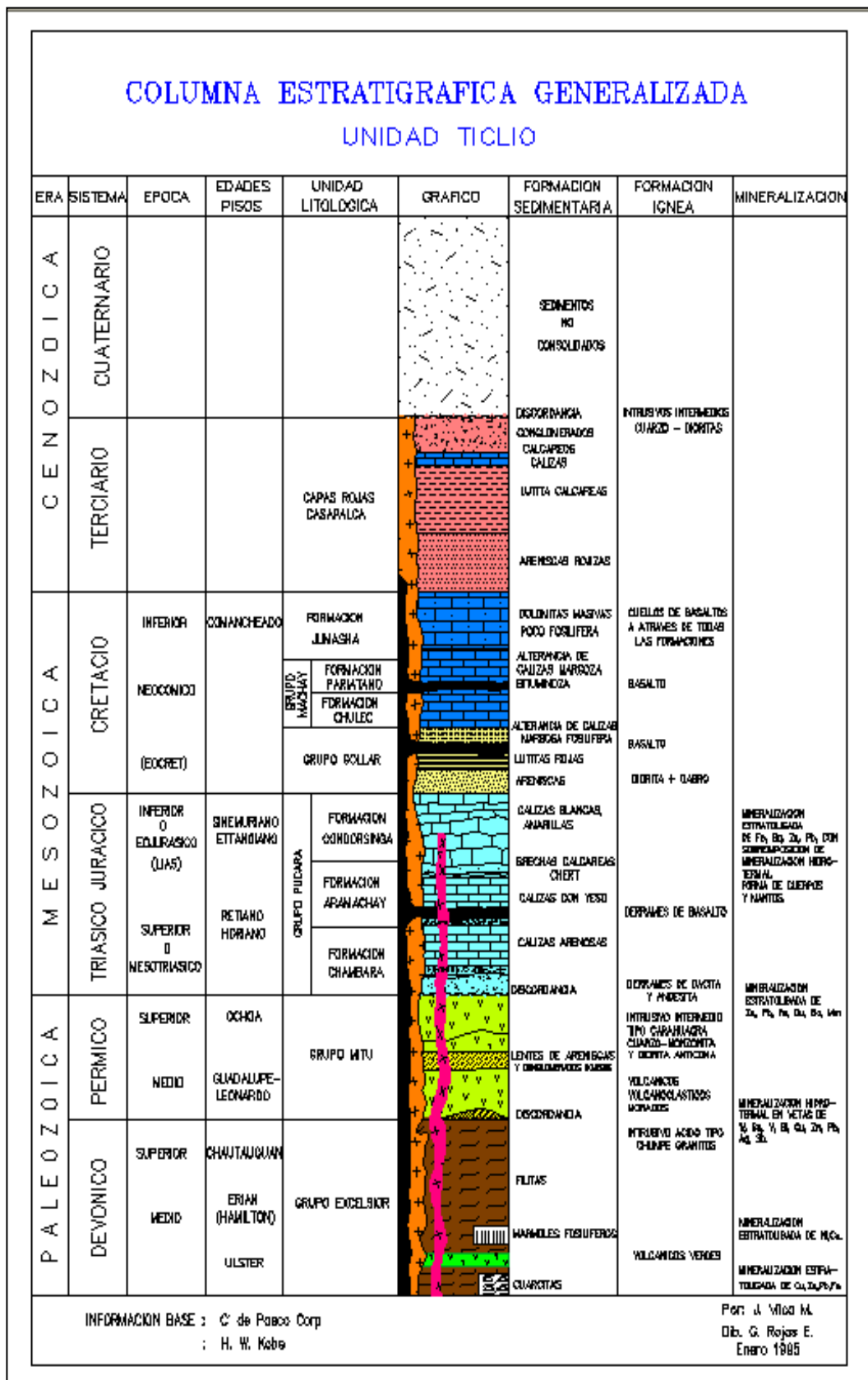


Figura 2.2: Columna estratigráfica generalizada – Mina Ticlio

**Formación Chambará – Triásico Superior**

Compuesta por calizas grises oscuras carbonosas en estratos de potencia media a delgada, intercaladas con lutitas y calizas dolomíticas. En el área está compuesta por calizas arenosas.

**Formación Aramachay- Jurásico Inferior**

Constituidas por calizas detríticas a veces oolíticas, de color gris claro a oscuro. Algunos niveles de caliza carbonosas de color negro, calizas dolomíticas y dolomitas, se encuentran intercaladas con lutitas, margas y areniscas calcáreas. En el área está compuesta por brechas calcáreas, chert y calizas con yeso.

**Formación Condorsinga – Jurásico Inferior**

Constituidas por calizas detríticas, a veces oolíticas, de color gris claro a oscuro. En el área están compuestas por calizas blancas y calizas amarillas.

**Grupo Gollarisquizga - Cretáceo Inferior**

Es una secuencia compuesta principalmente por sedimentos principalmente marinos. Está constituida por areniscas, cuarcitas blancas de grano medio a grueso a micro conglomerados, en algunas áreas se intercalan con horizontes de conglomerados, lutitas grises a rojizas y derrames volcánicos. En el área se aprecian horizontes basálticos amigdaloides y diabásicos intercalados con las capas de areniscas y lutitas que forman un paquete de color rojo que se aprecia al Este del yacimiento y capas de caliza gris, esta secuencia varia hacia el tope de una caliza masiva de color gris azulado a una caliza fosfórica gris oscura que es la base del grupo Machay. Estas capas se pueden apreciar en el flanco E.

**Grupo Machay – Cretáceo Inferior a Medio**

Compuesto de calizas, areniscas calcáreas, margas y lutitas de color blanquecino a parduzco y calizas margosas de color pardo amarillento en la parte superior. En el área está compuesta por calizas que afloran al Norte del abra Anticoná (Ticlio) de color gris oscuro con restos fósiles en la base, sobreyaciendo una caliza de color claro y algunos horizontes lutáceos y fosfáticos continúan hasta el techo. Esta se puede apreciar en la zona N y E de la zona estudio.

**Formación Jumasha – Cretáceo Medio a Superior**

Está compuesta de calizas y dolomitas grises a amarillentas, masivamente estratificadas en bancos medianos y gruesos con intercalaciones lutáceas en la base. En el área está compuesta por capas medias a gruesas de calizas, calizas dolomíticas, dolomitas de color gris a blanquecino y gris amarillento; está en contacto con dioritas, en cuyo contacto se ha producido de manera reducida skarn y débil marmolización. Estas se aprecian en toda el área.

**Formación Celendín – Cretáceo Superior**

Está compuesta principalmente por masa arcillosa cerrando ésta el ciclo marino del Cretáceo Superior. Esta se puede apreciar en el flanco NE.

**Formación Casapalca – Cretáceo Superior**

Está compuesta principalmente por areniscas arcósicas feldespáticas y conglomerados, con cantos redondeados, mayormente de origen fluvial. En el área está compuesta por lutitas y areniscas limolíticas, limolitas, limolitas

calcáreas y calizas calcáreas. Presenta también una secuencia volcánica compuesta por aglomerados, tufos y brechas volcánicas.

### **Formación Carlos Francisco**

Es de composición volcánica e integrada por los Volcánicos Carlos Francisco y los Tufos Yauliyacu, estos no se aprecian en la Unidad Ticlio.

### **Formación Río Blanco**

Está compuesta por volcánicos andesíticos correspondientes a los Volcánicos Pacococha los cuales sobreyacen a la Diorita Anticona. Se aprecian en las partes más altas en el flanco N.

## **Rocas intrusivas**

### **Diorita Anticona**

Es de color verde oscuro, textura porfirítica, mesocrata con una matriz compuesta de plagioclasas, cuarzo y óxidos; los fenocristales consisten en plagioclasas, biotitas y hornblendas. También presentan numerosos xenolitos negros foliados que varían de unos centímetros hasta 1 .0 m de diámetro.

Esta diorita representa la intrusión más antigua en el Domo de Yauli y a su vez esta ha sido intruida, por el flanco E, en varios lugares por el Pórfido Cuarzo Monzonítico de Morococha y Ticlio. Tiene una dirección general hacia el NE, y se extiende entre Morococha y Anticona. Se le atribuye una edad Miocénica.

**Cuarzo Monzonita Ticlio (Pórfido Ticlio)**

Es leucocrata de color blanquecino a rosáceo, grano grueso, textura porfirítica. Está constituido por plagioclasas, ojos de cuarzo, hornblenda y biotitas. Se le puede ver en la parte N, NE y E del campamento, posee una geometría alargada con orientación NW-SE e intruye a la Diorita Anticona y a la Formación Jumasha. Se le aproxima una edad Miocénica.

**Pórfido Dacítico**

Es de color gris a gris claro, grano medio, leucocrato-melanocrato, textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, feldespatos potásicos, ojos de cuarzo. Es de forma irregular y elongado con orientación NW-SE, se halla intruyendo a la Diorita Anticona, Formación Jumasha y Formación Carlos Francisco.

**Diorita Porfirítica Meiggs**

Se ubica en el flanco SW y aflora con orientación aproximada NW-SE a la de la Formación Casapalca. Intruyen a los conglomerados, limolitas calcáreas y limoarenitas de la Formación Casapalca en forma discordante. Se le asigna una edad Miocénica.

**Cuaternario**

En toda la zona de estudio en superficie se aprecia material cuaternario coluvial y morrénico de composición sedimentaria e ígnea como consecuencia de los procesos de erosión e intemperización.



## 2.5 Geología local

El área en estudio, que comprende al yacimiento Nuevo Cuerpo Ariana, está emplazada en la Diorita Anticona y las Calizas de la Formación Jumasha.

La Diorita Anticona se presenta con textura porfírica o granular de color gris verdosa por la cloritización y de color blanco por la moderada a fuerte argilización en proximidad al contacto.

Las capas de caliza se presentan a manera de intercalación de calizas brechadas, horizontes de caliza gris clara a oscura moderadamente silicificadas y horizontes de caliza marmolizada de color blanco a gris claro de menor potencia. Estas capas de calizas presentan en la mayor parte del área de estudio con rumbo NW y bajo buzamiento al NE, en el extremo SW el buzamiento se invierte hacia el SW. Las calizas también presentan otro sistema de discontinuidades con orientación N50°-60°E/65°-75°SE diferente a la estratificación.

En la Diorita Anticona y el contacto de las capas de caliza de la Formación Jumasha con la Diorita Anticona, se ha generado el emplazamiento de estructuras con contenido de minerales económicos. Ambas litologías muestran alteración principalmente por silicificación y argilización.

En toda la zona de estudio en superficie se aprecia material cuaternario coluvial y morrénico de composición sedimentaria e ígnea como consecuencia de los procesos de erosión e intemperización.

## 2.6 Geología estructural

El área presenta una serie de pliegues y otras estructuras más, producto de la actividad tectónica que tuvo lugar.

La estructura principal es el Domo Yauli, el cual es una gran anticlinorium que posee una longitud de 35 km desde Suitucancho hasta el Norte de Ticlio y un ancho de 10 a 15 km, con una orientación de N40°W. Presenta una morfología asimétrica ya que el flanco E buza 30°-40° y el flanco W buza 45° a 70°. Está formado por tres anticlinales, el anticlinal Pomacocha en el lado W, el de San Cristóbal-Morocha en la parte central y el de Ultimátum en el flanco E.

Se tiene un sistema principal de estructuras de orientación N40°-50°W que está acompañado de una considerable cantidad de pliegues, sobreescurrecimientos y fallas; asociado a un lineamiento mayor de orientación N120°E que se ubica en el flanco SW del Domo Yauli y lo cruza diagonalmente, cuya traza discurre, en base a imágenes satélites, desde la localidad de Pachacayo hasta Casapalca cruzando por Andaychagua y Carahuacra, coincidente con el emplazamiento de los mayores depósitos minerales del distrito.

También se aprecia otros dos sistemas principales de estructuras, uno de orientación N60°-70°W que tiene asociado en forma subparalela una cantidad menor de pliegues y otro de estructuras tensionales de rumbo N50°- 65°E y buzamiento 60°-80°SE que han cortado la Formación Jumasha.

## 2.7 Geología Económica

Ticlio es un yacimiento hidrotermal del tipo filoneano, desarrollado en vetas, cuerpos mineralizados de reemplazamiento, en rocas calcáreas (contacto intrusivo diorita-caliza, Cuerpo Ariana), en brechas calcáreas silicificadas (extremo SW, Nivel 5, túnel Huacracocha), en mantos en Calizas Jumasha y pequeños cuerpos de pirita al sur del yacimiento, todos originados por relleno de fracturas pre-existentes en rocas dioríticas, andesíticas y en calizas Jumasha. Las estructuras de interés económico son las siguientes:

### **Cuerpo Ariana**

Su morfología es la de un manto lenticular o fusiforme en la horizontal emplazada en el contacto caliza Jumasha (caja piso) – intrusivo diorítico Anticonca (caja techo). Tiene una orientación de N60°-70°W y un buzamiento de 10°- 30°NE, SW. Tiene una morfología ovalada, achatada en los extremos con 70 m de longitud, un ancho de 60 m y un espesor promedio de 45 m según lo que se ha reconocido, faltando aun mas por explorar.

La mineralización consiste principalmente de blenda rubia, esfalerita mamatítica, galena, pirita, rodocrosita, calcopirita. La mineralización se da por reemplazamiento en intercalaciones de calizas gris claras, moderadamente silicificadas y horizontes de caliza blanquecina marmolizada. El intrusivo de la zona de contacto también se presenta mineralizado pero en menor proporción.

La mineralización se ha dado por parte de otras estructuras como la Veta Principal, Ramal Techo y probablemente otras más, las cuales son

transversales a las calizas y al contacto con el intrusivo, las cuales han actuado como feddeers.

### **Veta Principal**

Estructura generada por cizalla con estructuras secundarias de tensión que forman lazos cimoides tanto en vertical como horizontal y de comportamiento tipo rosario con respecto a su potencia, la cual varía de 0.05-1.0 m a 1.2-3.5 m. Tiene una orientación aproximada de NE-SW/65°-70°SE.

El ensamble mineralógico es de esfalerita-galena y en menor proporción ankerita, calcita, rodocrosita-cuarzo-pirita con textura bandeada o brechada. La roca encajonante es una diorita de textura porfirítica de color gris verdosa, presenta una débil a moderada cloritización y en cercanías a la estructura es gris claro debido a la alteración argílica y tramos silicificados.

Con las últimas interpretaciones y trabajos exploratorios se ha determinado que profundiza por debajo del Nv. 8, habiendo tenido en los niveles superiores una extensión de 1250 m.

### **Veta Ramal Techo**

Estructura de orientación NE-SW/55°- 60°SE, presenta un comportamiento similar a la veta principal, presenta también lazos cimoides así como comportamiento tipo rosario, con potencias que varían 0.5 a 5.0 m. El ensamble mineralógico es de esfalerita-galena-pirita englobada con cuarzo, ankerita y rodocrosita hacia el extremo E y en profundidad aumenta los valores de calcopirita y decrece la galena. La roca encajonante continua

siendo la diorita Anticona de textura porfírica o granular de color gris verde oscura, presenta moderada cloritización, débil a moderada silicificación y débil a moderada argilización en cercanías a la estructura mineralizada.

Se ubica al S de la Veta Principal con una longitud reconocida de 800 m y de más de 630 m en profundidad, se le ha reconocido hasta el Nv. 12.

## **CAPITULO III**

### **INVESTIGACIONES GEOMECHANICAS**

#### **3.1 Caracterización de la Masa Rocosa**

##### **3.1.1 Registro de datos**

Durante la etapa de trabajos de campo se desarrollaron actividades de reconocimiento in-situ de la masa rocosa del yacimiento en interior mina y en la sala de almacenamiento de testigos rocosos. El registro de la información geomecánica se efectuó a partir del mapeo geotécnico de la masa rocosa de las labores subterráneas de los distintos niveles y subniveles en la mina y a partir del mapeo geotécnico de los testigos rocosos de las perforaciones diamantinas efectuadas como parte de los trabajos de exploración de este yacimiento.

El mapeo geotécnico de la masa rocosa de las labores subterráneas se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en 13 estaciones de medición, representadas cada una de ellas por un área de extensión variable de la masa rocosa expuesta en las paredes de las labores subterráneas.

Cabe indicar que debido a que gran parte de las labores en interior mina están cubiertas por el sostenimiento (shotcrete y cimbras), no ha sido posible tener mayor número de estaciones de medición.

Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registro diseñados para este propósito, adecuándolos a las normas sugeridas por la International Society for Rock Mechanics (ISRM). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos de resistencia de la roca y grado de fracturamiento (RQD).

En los testigos rocosos de las perforaciones diamantinas, el logeo geotécnico se llevó a cabo por métodos convencionales en formatos adecuados también a las normas ISRM, con similares parámetros de observación y medición que los mencionados en el párrafo precedente. Se han registrado 12 sondajes diamantinos haciendo un total de 1,182 m de testigos rocosos ejecutados para la exploración del Nuevo Cuerpo Ariana.

Cabe indicar que también se ha tratado de aprovechar toda la información de interés para el presente estudio, desarrollada por el Departamento de Geología de Mina Ticlio. Particularmente se indica que para definir el arreglo estructural de la masa rocosa se ha

aprovechado todos los datos estructurales de los planos litológicos estructurales suministrados por el personal de Mina Ticlio.

### **3.1.2 Aspectos litológicos**

Las características litológicas simplificadas de la masa rocosa involucrada en el área de estudio son: al techo del Nuevo Cuerpo Ariana se halla el intrusivo diorítico y rodeando lateralmente al cuerpo mineralizado se halla la roca caliza. Hacia el SW la caliza también aparece al techo del cuerpo. La estructura mineralizada se halla dentro de caliza marmolizada con presencia de ramificaciones de venillas de carbonatos y pirita las cuales se hallan bastante alteradas, contando además con presencia de varias fallas.

### **3.1.3 Distribución de discontinuidades**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades, se procesaron los datos orientacionales mediante técnicas estereográficas, utilizando la versión avanzada del programa de cómputo DIPS (1995), elaborada por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá), y también la versión 5.103 de Rocscience Inc. (2004). La primera versión se utilizó por las facilidades gráficas que ésta presenta.

El resultado de las características de distribución de las discontinuidades estructurales, se muestran en la tabla 3.1 y Figuras 3.1, 3.2 y 3.3.



**Tabla 3.1-** Sistemas de discontinuidades estructurales

<b>Descripción</b>	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>	<b>Sistema 3</b>	<b>Sistema 4</b>
Rumbo/Buzam.	N51°W/57°NE	N64°W/13°NE	N49°E/64°SE	N78°W/76°SW
Dir. Buz/Buzam.	039°/57°	026°/13°	139°/64°	192°/76°

Durante el mapeo geotécnico llevado a cabo en las labores subterráneas, se han registrado datos en las calizas, en el cuerpo mineralizado y en el intrusivo. Se ha realizado un análisis de manera local y en modo compósito, resultando que este último es representativo para ser tomado como arreglo estructural de la masa rocosa del área de estudio. Según esto, las siguientes son las características del arreglo estructural de la masa rocosa:

- Se presentan 2 sistemas de discontinuidades principales (Sistemas 1 y 2) y 2 sistemas secundarios (Sistemas 3 y 4).
- Los Sistemas 1 y 2 tiene rumbo NW y buzamiento moderado y bajo respectivamente. El Sistema 3 tiene rumbo NE y moderado buzamiento al SE. El Sistema 4 tiene aproximadamente rumbo EW y alto buzamiento al S.

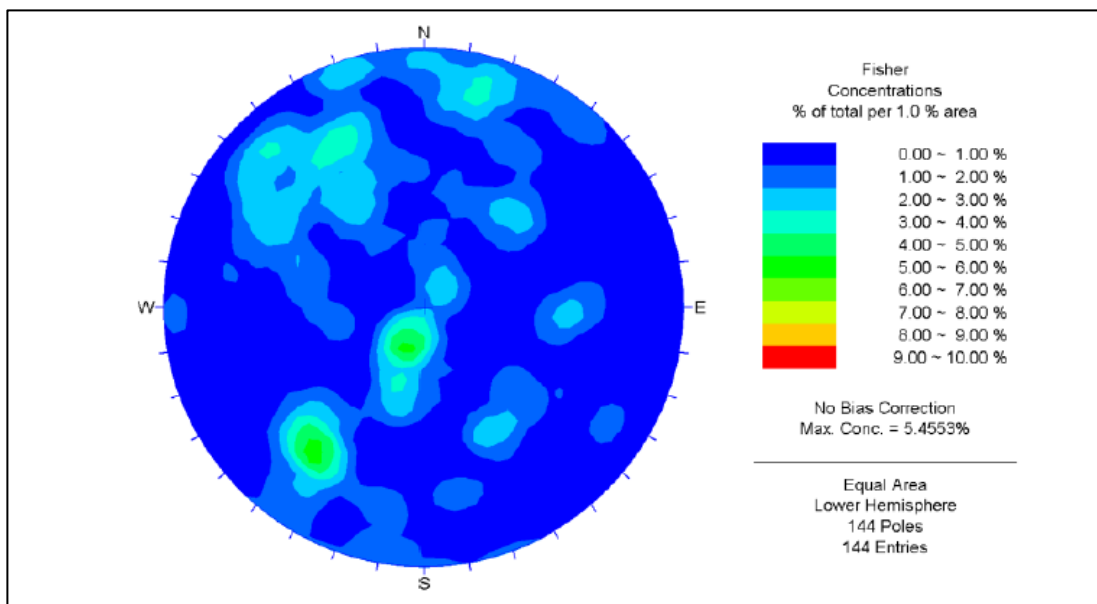


Figura. 3.1- Diagrama estereográfico de contornos del composito general

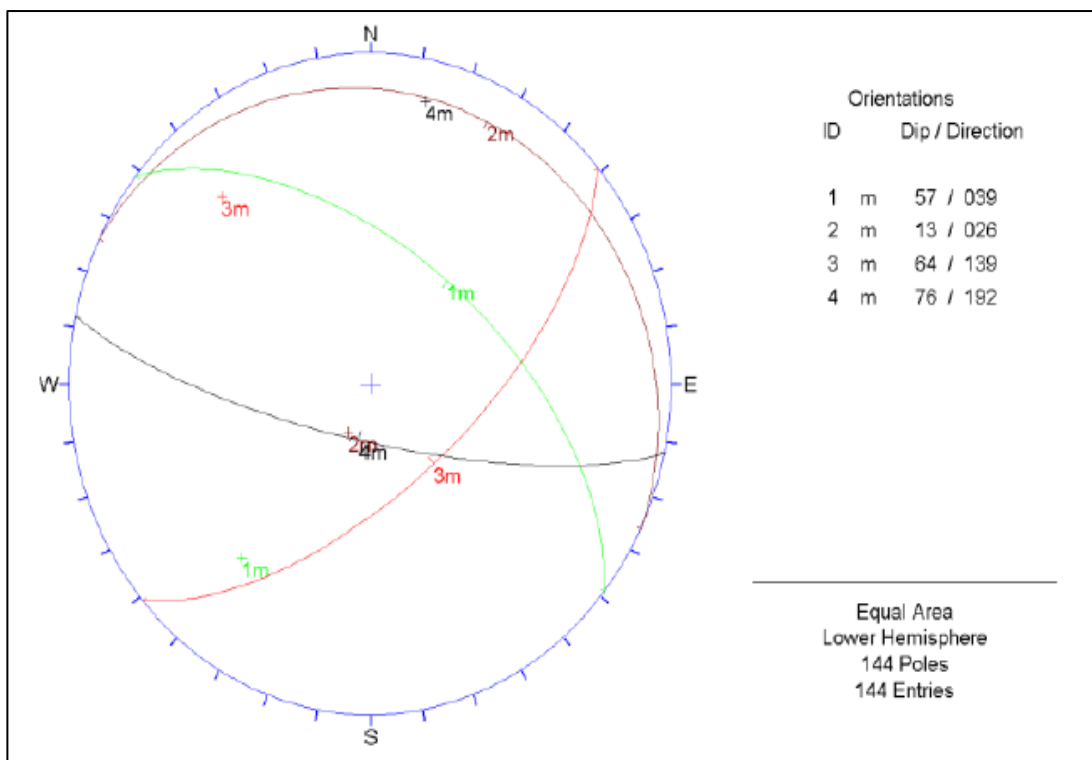
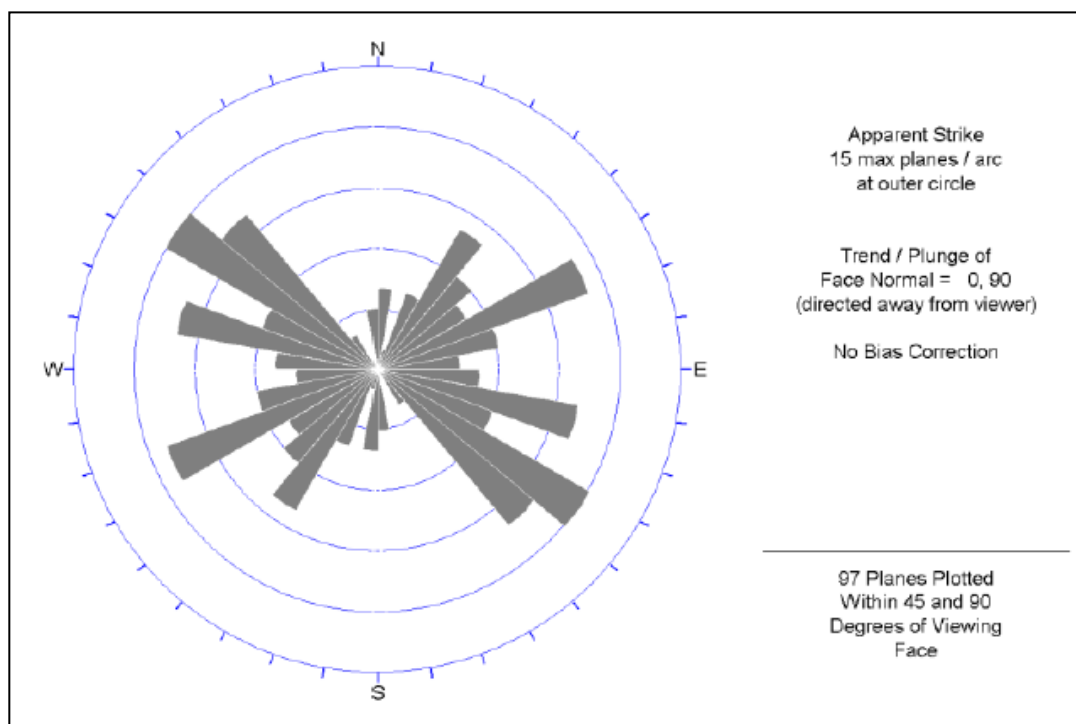


Figura. 3.2- Diagrama estereográfico de planos principales del composito general



**Figura. 3.3-** Diagrama de roseta de discontinuidades del composito general.

- Las estructuras en el cuerpo mineralizado están representadas por los Sistemas 1, 2 y 3. Las estructuras en las calizas están representadas por los Sistemas 1 y 2, y las estructuras en el intrusivo están representadas por los Sistemas 1, 3 y 4.
- Existen un conjunto de fallas que atraviesan paralelamente y perpendicularmente al cuerpo mineralizado, las cuales están representadas por los Sistemas 1, 2 y 3.

Cabe mencionar que el Sistema 1 está conformado por diaclasa, fallas y venillas; el Sistema 2 principalmente por estratos y venillas; los Sistemas 3 y 4 están conformados principalmente por diaclasas. Se señala que el Sistema

2, en el cual se encuentran los estratos, cubre gran parte del área de estudio, solo en el extremo SW el buzamiento de los estratos se invierte siendo en este caso bajo buzamiento al SW.

Aparte de los sistemas de discontinuidades mencionados, se ha observado que el arreglo estructural de la masa rocosa presenta también discontinuidades aleatorias de manera local, este aspecto puede ser identificado en los registros de las Figuras 3.1 y 3.2.

#### **3.1.4 Aspectos estructurales**

Las características estructurales de las discontinuidades se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en los mapeos geotécnicos, la que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ. Según esto, las siguientes son las principales características estructurales de las discontinuidades:

##### **Fallas**

Las fallas tienen espaciamientos por lo general de 1 a 10 m, la persistencia es de decenas de metros, la apertura es de 1 a 5 mm, las superficies de las caras son lisas con espejos de falla, presentando ondulaciones. Estas estructuras están rellenas con materiales de panizo, brechas, materiales oxidados y arcillas, el espesor de estos rellenos varía entre 5 y 20 cm. Las fallas constituyen lugares por donde ocurren las filtraciones de agua. El área de influencia de las fallas alcanza hasta 1 m de espesor.

### **Estratos**

Las características estructurales de las discontinuidades observadas indican lo siguiente: los espaciamientos varían generalmente entre 6 a 20 cm, la persistencia de 3 a 10 m generalmente y en algunos casos mayor de 10 a 20 m, la apertura es menor a 1 mm, la rugosidad de las paredes es ligera, el relleno es suave con espesores menores de 5 mm. Las superficies de los estratos están moderadamente alteradas, y las condiciones de agua subterránea son de mojadadas hasta goteos esporádicos locales.

### **Diaclasas**

Tienen las siguientes características estructurales: espaciamiento varía generalmente entre 6 a 20 cm y localmente < 6 cm y también > 20 cm, la persistencia es menor a 3 m, la apertura es menor a 1 mm, la rugosidad de las paredes es ligera, el relleno es suave con espesores menores de 5 mm, las superficies de las discontinuidades están ligeramente a moderadamente alteradas y las condiciones de agua subterránea son de mojada a goteo local así como presencia de humedad solamente en algunos sectores.

## **3.2 Clasificación de la masa rocosa**

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa, se ha utilizado el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocosos – 1989). Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta fueron obtenidos conforme a los procedimientos señalados más adelante en la Sección 3.4.1 – Resistencia de la roca intacta. Los valores del índice de

calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada la frecuencia de fracturamiento o cantidad de discontinuidades por metro lineal. Por otro lado, también se ha obtenido valores del RQD durante el desarrollo del logueo geotécnico de los testigos de las perforaciones diamantinas.

El criterio utilizado para clasificar a la masa rocosa se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2-** Criterio para la clasificación de la masa rocosa

<b>RAITING</b>	<b>TIPO</b>	<b>CALIDAD</b>
81 - 100	I	Muy Buena
61 - 80	II	Buena
51 - 60	III - A	Regular
41 - 50	III - B	Regular
31 - 40	IV - A	Mala
21 - 30	IVA - B	Mala
< 20	V	Muy Mala

En la tabla 3.3 se muestran los rangos de valores de calidad de la masa rocosa (expresado en RMR) obtenidos del mapeo geotécnico de la masa rocosa de las labores subterráneas y de los testigos rocosos de los sondajes diamantinos que están asociados a cada litología presente en el área de estudio.

**Tabla 3.3-** Calidad de la masa rocosa por tipo de roca

<b>Litología</b>	<b>Rango de RMR</b>	<b>Rango de calidades</b>
Intrusivo	16-54	V, IVB, IVA, IIIB y IIIA
Mineral	16-49	V, IVB, IVA y IIIB
Caliza	16-65	V, IVB, IVA, IIIB, IIIA y II

Según este cuadro podemos mencionar que las características de calidad de la masa rocosa mineralizada del Nuevo Cuerpo Ariana y de la roca estéril de su entorno son bastante heterogéneas. Se observa la presencia de intercalaciones de calidades malas y regulares por lo que el rango de calidades presentes es variable. Se menciona que la roca encajonante del cuerpo mineralizado mejora a medida que se aleja del mismo.

Considerando los rangos de calidad observados, podemos asumir tendencias de calidad de la masa rocosa mineralizada y estéril de las cajas que permitirán simplificar y zonificar el macizo rocoso de la zona en estudio.

### **3.3 Zonificación geomecánica de la masa rocosa**

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares.

Dentro de estas propiedades: la litología, la alteración, el arreglo o modelo estructural de la masa rocosa y la calidad de la misma, son consideraciones importantes a tomarse en cuenta para la delimitación de las zonas geomecánicas o denominadas también dominios estructurales. Para nuestro caso, según los resultados del análisis de distribución de discontinuidades, mencionado en el Acápite 3.1.3, la tendencia del arreglo estructural de la masa rocosa del área de estudio será considerada similar para cada grupo litológico, con esta consideración los dominios estructurales estarán definidos por el tipo de roca y calidad de la masa rocosa.

De acuerdo a lo indicado, se ha desarrollado la zonificación geomecánica del área del Nuevo Cuerpo Ariana y su entorno, considerando la clasificación de la masa rocosa de la tabla 3.3 y toda la información que se ha tenido disponible como producto del presente estudio. Para tal zonificación se han considerado valores promedio de RMR determinados para cada litología. En los planos 2 al 4 se presentan tres secciones longitudinales con los resultados de la zonificación geomecánica efectuada. En la tabla 3.4 se presenta lo obtenido.

**Tabla 3.4-** Zonificación geomecánica y calidades de masa rocosa

<b>SECCION LITOLOGICA</b>	<b>PROMEDIO RMR</b>	<b>DOMINIO</b>
Intrusivo	41	IIIB
Mineral	18	V
Caliza	35	IVA



### 3.4 Resistencia de la roca

#### 3.4.1 Resistencia de la roca intacta

Uno de los parámetros más importantes que se utiliza para evaluar el comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta ( $\sigma_c$ ). Los valores de este parámetro fueron obtenidos empleando los siguientes procedimientos:

Ensayos de golpes con el martillo de geólogo y con el martillo Schmidt de dureza, según normas ISRM, efectuados durante el mapeo geotécnico de las labores subterráneas. Los resultados de estos ensayos, se muestra un resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 3.5-** Resistencia compresiva de la roca intacta  
(Determinada por ensayos con el martillo Schmidt)

LITOLOGIA	RANGO NR*	RANGO $\sigma_c$ (MPa)
Intrusivo	24-35	40-75
Mineral	20-23	32-38
Caliza	22-34	34-66

**Notas:** \* NR: Número de Rebote con el martillo Schmidt Tipo L. Solo se reportan límites inferiores de rebote. En las tres litologías. Ha habido casos de no rebote, es decir resistencias menores.

Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas: carga puntual y compresión triaxial sobre probetas obtenidas de los testigos de las perforaciones diamantinas. Los resultados se resumen en los siguientes cuadros.

**Tabla 3.6-** Resistencia compresiva de la roca intacta  
(Determinada con ensayos de carga puntual)

Sondaje	Profundidad	Litología	$I_5$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
M1	-	Intrusivo	3.92	94
M2	-	Caliza marmolizada	3.54	85
M3	-	Caliza mineralizada	6.76	162
DDH-U-TI-11-022	63.20-65.80	Caliza	5.03	121

**Tabla 3.7-** Resistencia compresiva de la roca intacta  
(Determinada con ensayos de compresión triaxial)

Sondaje	Profundidad	Litología	$\sigma_c$ (MPa)
M1	-	Intrusivo	84
M3	-	Caliza mineralizada	138
DDH-U-TI-11-022	62.41-66.55	Caliza	128

Otro parámetro importante de la roca intacta es la constante “ $m$ ” del criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2006), este parámetro fue determinado a partir de los resultados de los ensayos de compresión triaxial, utilizando los valores reportados de esfuerzos axial y de confinamiento lateral (ver Anexo 3). Los valores determinados de “ $m$ ” se presentan en la tabla 3.8, en este mismo cuadro se muestran también los parámetros de resistencia al corte de Mohr Coulomb: cohesión y ángulo de fricción, de la roca intacta.

**Tabla 3.8-** Valores de la constante “ $m_i$ ” de la roca intacta  
(Determinados con ensayos de compresión triaxial)

Sondaje	Profundidad	Litología	“ $m_i$ ”	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
M1	-	Intrusivo	22.23	5.34	37.42
M3	-	Caliza mineralizada	16.67	8.03	34.91
DDH-U-TI-11-022	62.41-66.55	Caliza	17.59	7.58	35.38

Además, para la roca intacta se han realizado ensayos de propiedades físicas, los resultados de estos se presentan en la tabla 3.9. Con estos ensayos se han obtenido la porosidad, la absorción y la densidad.

**Tabla 3.9-** Resultados de los ensayos de propiedades físicas de la roca intacta

Sondaje	Profundidad	Litología	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
M1	-	Intrusivo	3.907	1.502	2.603
M2		Caliza marmolizada	1.338	0.494	2.713
M3	-	Caliza mineralizada	2.244	0.811	2.772
DDH-U-TI-11-022	62.41-65.35	Caliza	0.467	0.170	2.760

Cabe señalar que los valores de la resistencia de la roca intacta obtenidos en el laboratorio de mecánica de rocas, corresponden a muestras rocosas que pudieron ser extraídas de las labores subterráneas y de los testigos de los sondajes diamantinos, por lo que podemos considerar a estas muestras como

representativas del límite superior de la roca encontrada. En las rocas de mala calidad no se pudieron conseguir muestras apropiadas para ensayos de laboratorio, estas rocas en ciertos casos incluso no presentaban rebote durante las pruebas realizadas con el martillo Schmidt, indicando baja resistencia de las mismas. Este aspecto se toma en cuenta para establecer los parámetros de entrada de los análisis de diseño.

### 3.4.2 Resistencia de las discontinuidades

Desde el punto de vista de la estabilidad controlada por las discontinuidades estructurales, es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, ya que éstas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y por tanto planos potenciales de falla. La resistencia al corte en este caso, está regida por los parámetros de fricción y cohesión de los criterios de falla Mohr-Coulomb. Estos parámetros fueron determinados también mediante ensayos de laboratorio de mecánica de rocas, cuyos resumen se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4.0-** Resultados de los ensayos de corte directo en discontinuidades

Sondaje	Profundidad	Litología	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
M1	-	Intrusivo	0.407	41.15
M3	-	Caliza mineralizada	0.142	29.79
DDH-U-TF-11-022	62.41-66.55	Caliza	0.067	37.07

### 3.4.3 Resistencia de la masa rocosa

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizó el criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2006), con el programa RocLab de Rocscience Inc. (2007). Para ello se tomaron los valores más representativos de calidad de la masa rocosa, asimismo de resistencia compresiva uniaxial y la constante “m” de la roca intacta, desarrollados en este estudio.

En la tabla 4.1 se presentan las propiedades de resistencia de la masa rocosa involucrada con los diferentes tipos de rocas de la zona de estudio.

**Tabla 4.1-** Propiedades de resistencia de la masa rocosa

Litología	GSI	$\sigma_c$ (MPa)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	“m”	$M_b$	s	$E_{mr}$ (MPa)	“v”
Intrusivo (caja alejada)	52	60	2.7	20	2.346	0.0021	4681	0.24
Intrusivo (caja inmediata)	37	35	2.7	20	1.201	0.0003	1029	0.27
Mineral	36	20	2.8	15	0.861	0.0003	691	0.28
Caliza (caja piso inmediata)	34	30	2.7	13	0.683	0.0002	920	0.27
Caliza (caja techo inmediata)	37	40	2.7	13	0.781	0.0003	1469	0.26
Caliza (caja piso alejada)	45	50	2.7	15	1.287	0.0009	3082	0.25
Caliza (caja techo alejada)	60	80	2.7	15	2.515	0.0059	12541	0.24

Nota: (\*) GSI = RMR<sub>89</sub>-5

### **3.5 Condiciones del agua subterránea**

La presencia del agua dentro de la masa rocosa, influye adversamente en las condiciones de estabilidad de las labores subterráneas. Su principal efecto es la presión que ejerce en las discontinuidades, disminuyendo la resistencia al corte y por tanto disminuyendo el factor de seguridad o grado de estabilidad, por ello es importante tomarlo en cuenta.

Durante los trabajos de campo se ha observado que la presencia del agua subterránea es un factor a tomar en cuenta, ya que su presencia se manifiesta en humedad y con goteo esporádico llegando a observarse incluso zonas mojadas y hasta flujos menores. Este hecho tiene influencia en la calidad de la masa rocosa.

Para considerar la influencia del agua subterránea en la estabilidad de la masa rocosa involucrada con las excavaciones subterráneas que estarán asociadas al minado del Nuevo Cuerpo Ariana se ha tomado la valoración correspondiente a condiciones “mojadas”, lo cual ha rebajado la calidad de la masa rocosa.

### **3.6 Esfuerzos in-situ**

Se ha estimado el esfuerzo vertical a partir del criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978), considerando una profundidad máxima de la mineralización actualmente conocida (290 m). Según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ máximo podría ser 8 MPa. La constante “k” (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal se ha estimado utilizando el criterio de Sheorey (1994), según este “k” tendría

un valor aproximado de 0.8 a 1.0. Luego, el esfuerzo horizontal tendría magnitud de 6.5 a 8 MPa.

Como conclusión, señalamos que los niveles de esfuerzos in-situ, asociados al futuro minado subterráneo del Nuevo Cuerpo Ariana serán de baja a moderada magnitud. Dada la mala calidad de la masa rocosa mineralizada y de las cajas inmediatas, se espera que se produzcan deformaciones significativas.

## **CAPITULO IV**

### **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD**

#### **4.1 Generalidades**

En este capítulo se desarrollan los “análisis de diseño” para evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, integrando toda la información desarrollada durante las investigaciones básicas y considerando la geometría de las excavaciones.

Los análisis de estabilidad involucraron la investigación de los posibles mecanismos de falla de la masa rocosa circundante a las excavaciones, tomando en cuenta la geometría de estas últimas, el arreglo estructural de la masa rocosa, las características de resistencia de la misma y la influencia de los esfuerzos.

#### **4.2 Direcciones preferenciales de avance de las excavaciones**

Existen direcciones preferenciales en las cuales debe ser alineado el avance de las excavaciones, para lograr mejores condiciones de estabilidad de las mismas. Las condiciones más favorables para la estabilidad, ocurren cuando se avanzan las excavaciones en forma perpendicular a las estructuras principales; de manera contraria, las condiciones más desfavorables para la



estabilidad ocurren, cuando se avanzan las excavaciones en forma paralela a las estructuras principales.

De acuerdo al arreglo estructural que presenta la masa rocosa del área del Nuevo Cuerpo Ariana, avanzar de manera paralela (NE-SW) o perpendicular (NW-SE) al rumbo de la estructura mineralizada será desfavorable en ambos casos para las condiciones de estabilidad de las excavaciones, siendo menos desfavorable cuando el avance sea paralelo al rumbo y más desfavorable cuando el avance sea perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada. Desde que, por razones técnicas, éstas serán las direcciones de avance de la mayoría de las excavaciones ya sea temporales como permanentes, se deberá tomar en cuenta este hecho para realizar el ajuste correspondiente de la calidad de la masa rocosa, a fin de adoptar las medidas más adecuadas de control de la estabilidad de estas labores.

En caso haya opción de escoger para el minado alguna dirección de avance preferencial de las excavaciones lo ideal serían las direcciones NS o NW y viceversa. Como segunda opción sería la dirección NE-SW o viceversa.

#### **4.3 Estabilidad estructuralmente controlada**

La geometría tridimensional de las excavaciones en relación a la distribución espacial de las discontinuidades (fallas, estratos y diaclasas en este caso), las cuales constituyen planos de debilidad, influyen sobre las condiciones de estabilidad. A este tipo de estabilidad se le denomina “estabilidad estructuralmente controlada”. Los planos de debilidad, pueden formar bloques

rocosos de diferentes geometrías en el techo y en las paredes de la excavación, presentando libertad para descolgarse, rotar o deslizar.

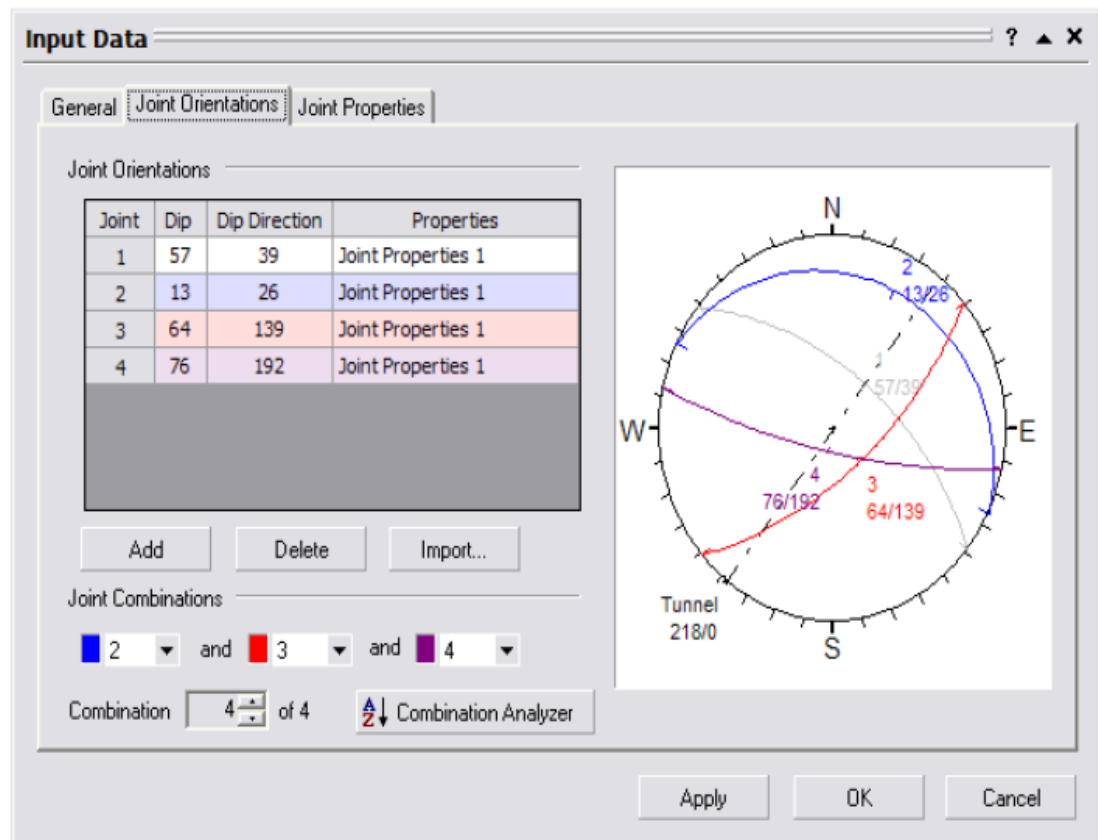
En los casos en donde la masa rocosa es de calidad Mala A (IVA) o inferior, no es relevante analizar la estabilidad de las excavaciones controlada estructuralmente, el comportamiento de estas rocas estará guiado por sus características de calidad y resistencia y por los esfuerzos y deformaciones a las cuales estará sometida.

No obstante lo señalado y a fin de cubrir el caso de las excavaciones en masas rocosas de calidad Regular B (IIIB) o superiores, se ha evaluado la influencia del arreglo estructural de la masa rocosa del Nuevo Cuerpo Ariana sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones que estarán asociadas al minado, para ello se ha realizado un análisis de estabilidad estructuralmente controlada, utilizando el programa de cómputo Unwedge (Rocscience, 2002).

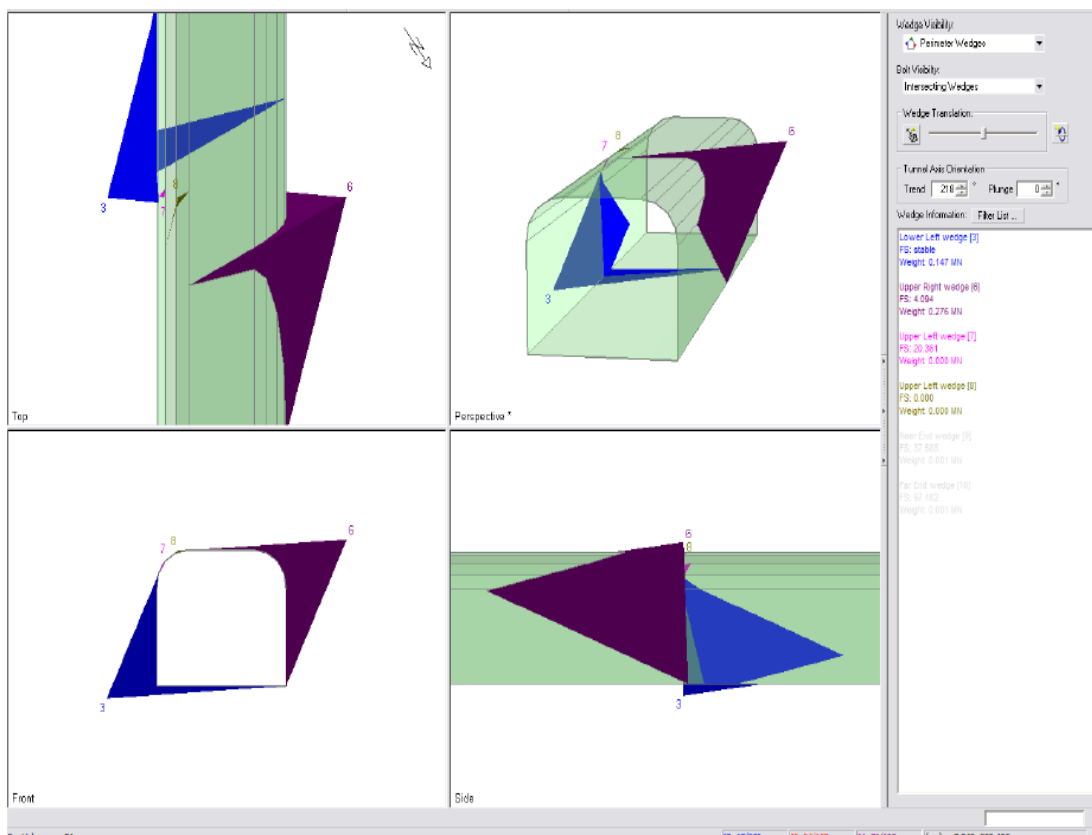
Para dicho análisis se ha considerado la información desarrollada en el Capítulo 3: Acápites 3.1.3 (Distribución de discontinuidades) y 3.4.2 (Resistencia de las discontinuidades). Además se han considerado labores de avance de dirección NW-SE y NE-SW y tajeos de dirección NW-SE.

### 4.3.1 Análisis de cuñas

#### 4.3.1.1 Avance labores paralelo al rumbo del cuerpo

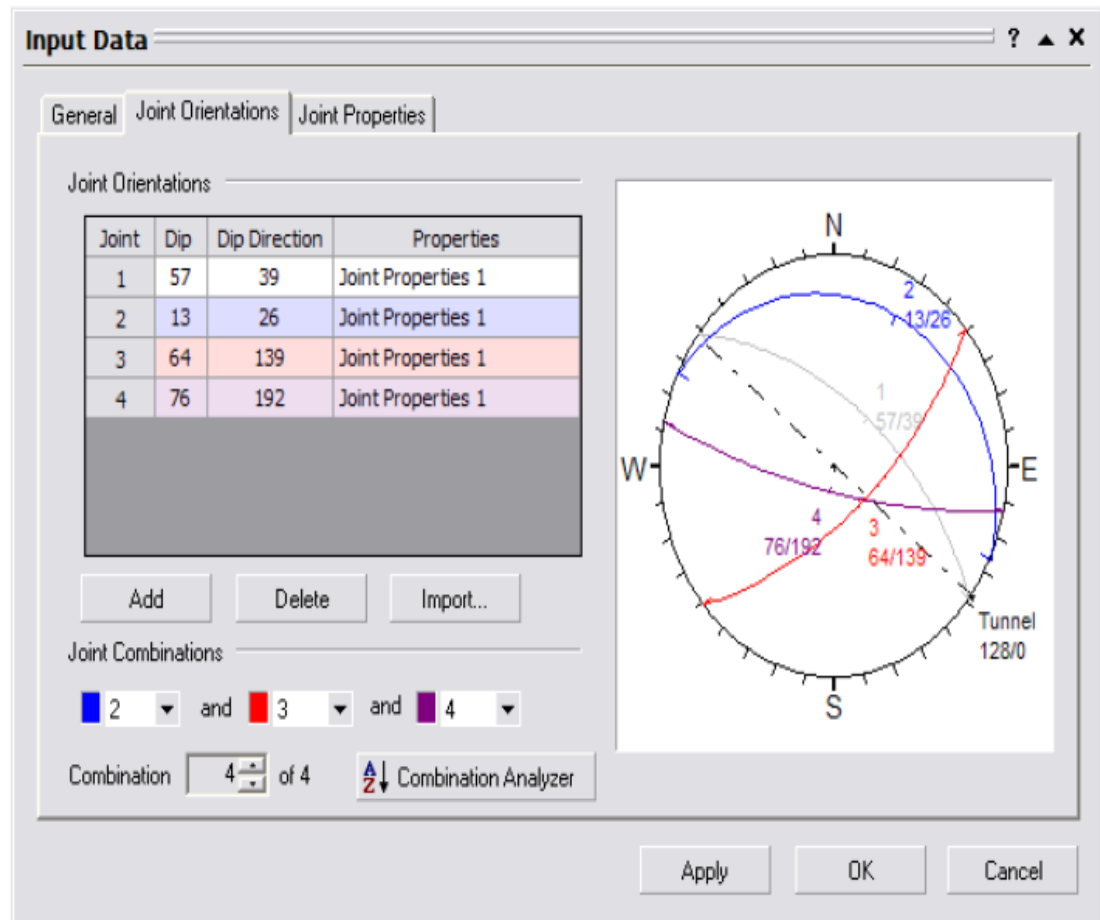


**Figura 4.1-** Entrada de datos del arreglo estructural de discontinuidades y orientación de excavación paralela al rumbo del cuerpo mineralizado.

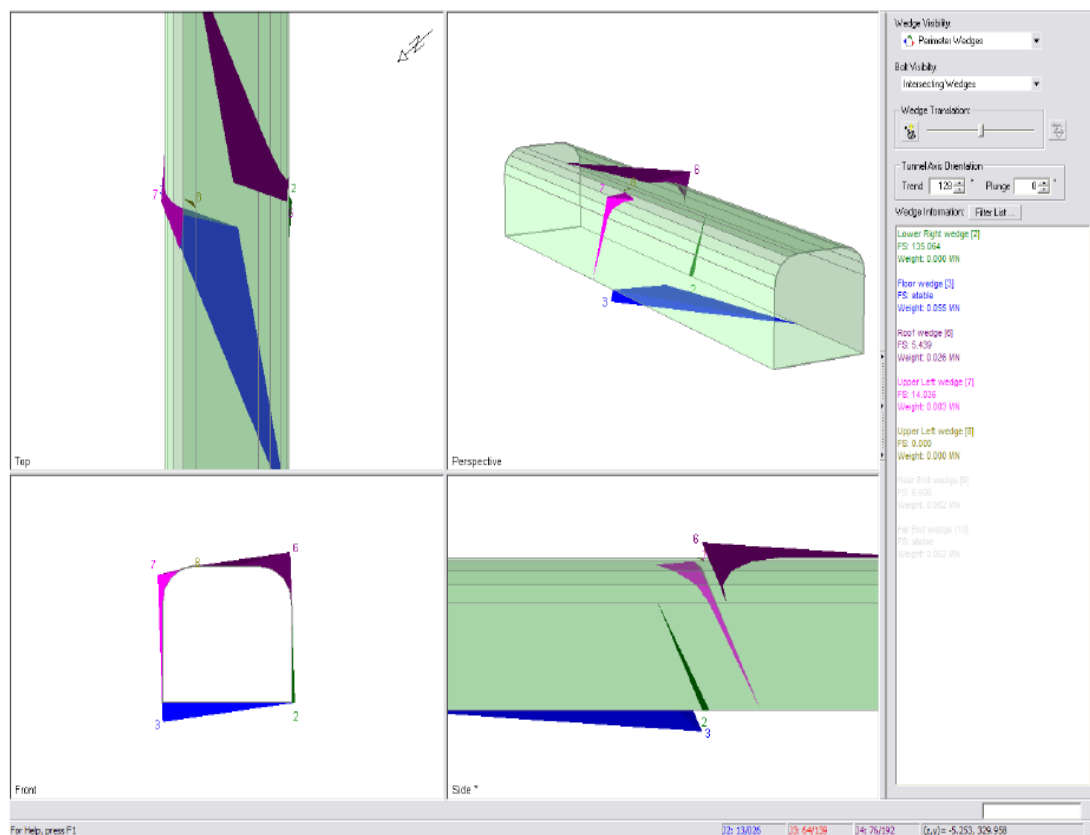


**Figura 4.2-** Análisis de estabilidad de cuñas formadas en las labores de avance de 4.5 x 4 m de sección en dirección paralela al rumbo del cuerpo. Con este arreglo estructural se observa que hay formación de cuñas estables en los hastiales y de condición inestable en el techo pero éstas son de pequeño volumen que pueden ser controladas con el desatado correspondiente.

## 4.3.1.2 Avance de labores perpendicular al rumbo del cuerpo

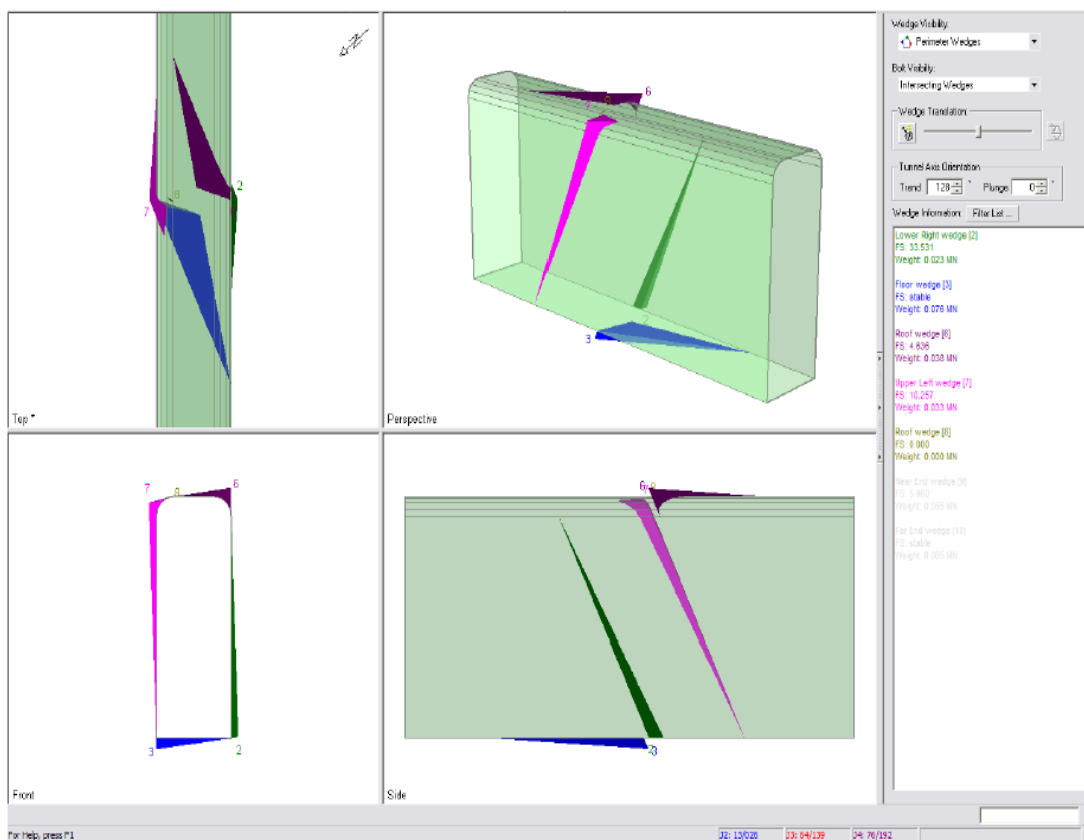


**Figura 4.3-** Entrada de datos del arreglo estructural de discontinuidades y orientación de excavación perpendicular al rumbo del cuerpo mineralizado.



**Figura 4.4-** Análisis de estabilidad de cuñas formadas en las labores avance con dirección perpendicular al rumbo del cuerpo mineralizado. Se observa formación de cuñas alargadas tanto en hastiales y en el techo de naturaleza estable. También se observa formación de pequeñas cuñas en el techo que pueden ser controladas con el desatado respectivo.

### 4.3.1.3 Paredes verticales de tajeos



**Figura 4.5-** Análisis de estabilidad de cuñas generadas en tajeos abiertos de 5 m de ancho y 13.5 m de altura. Según el modelo observado se generan cuñas alargadas de condición estable tanto en las paredes y en el techo de los tajeos. De modo similar al caso de la figura anterior, se observa formación de cuñas de pequeño volumen en el techo que pueden ser controladas mediante el desatado. Hay que tener presente que este análisis es válido principalmente en las rocas de calidad Regular B y hacia arriba. Para el caso del entorno del nuevo Cuerpo Ariana, la calidad de la masa rocosa es Mala por lo que el sostenimiento es una actividad obligatoria a realizarse.

Los resultados del análisis de estabilidad estructuralmente controlada se presentan, indicando estos lo siguiente:

- Para las labores de avance que siguen en dirección paralela a la estructura mineralizada (NE-SW), se observa formación de cuñas potencialmente inestables en el techo pero éstas son de tamaño pequeño que pueden ser controladas con desatado o pernos esporádicos. En los hastiales las cuñas son de naturaleza estable.
- Para las labores de avance que siguen en dirección perpendicular a la estructura mineralizada (NW-SE), se observa similarmente formación de cuñas pequeñas potencialmente inestables en el techo y estables en los hastiales.
- Similar análisis se ha realizado para el caso de tajeos de dimensiones de 5 m de ancho y 15 m de altura, llegando a concluir que la formación y estabilidad de cuñas es similar a lo descrito en el caso de labores de avance.
- En el caso de la masa rocosa de la zona mineralizada, como la calidad es mala, se debe de tener la consideración de utilizar el sostenimiento adecuado.

Otro aspecto estructural importante es aquel relacionado a la presencia de las zonas de falla que podrían presentarse con el avance del minado y que



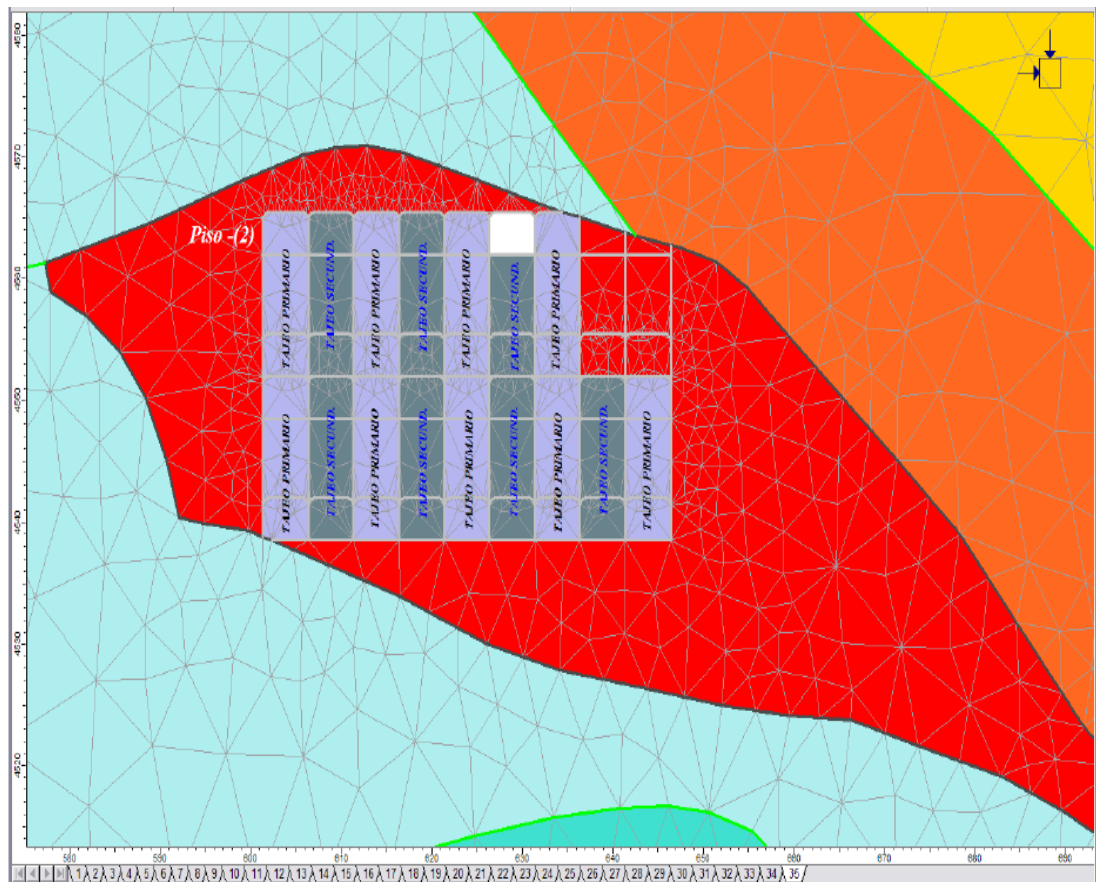
podrían influir en las condiciones de estabilidad de las excavaciones. Es necesario tener en cuenta este hecho durante la operación de la mina, ejecutando por un lado el sostenimiento adecuado de ser necesario, y por otro lado, realizando cuidadosos diseños y ejecuciones de perforación y voladura controlada para mantener condiciones adecuadas de estabilidad de las excavaciones asociadas a las fallas. También cabe señalar que en terrenos de mala calidad la velocidad de minado es muy importante para mejorar las condiciones de estabilidad de las excavaciones, recomendándose imprimir la mayor velocidad posible al ciclo de minado.

#### **4.4 Estabilidad controlada por esfuerzos**

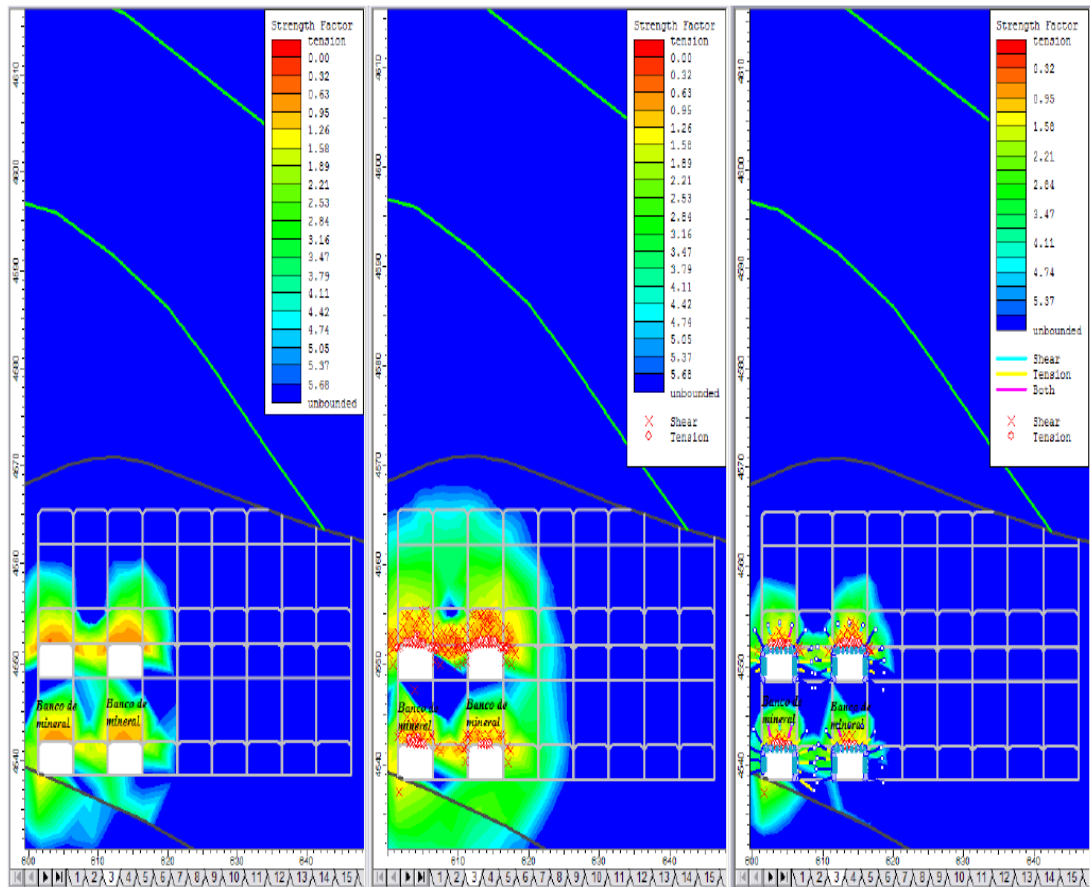
Para analizar la estabilidad controlada por los esfuerzos, se han realizado modelamientos numéricos esfuerzo/deformación utilizando el software PHASE2 de Rocscience (2010), cuyos resultados se presentan a continuación.

##### 4.4.1 Análisis esfuerzo/deformación

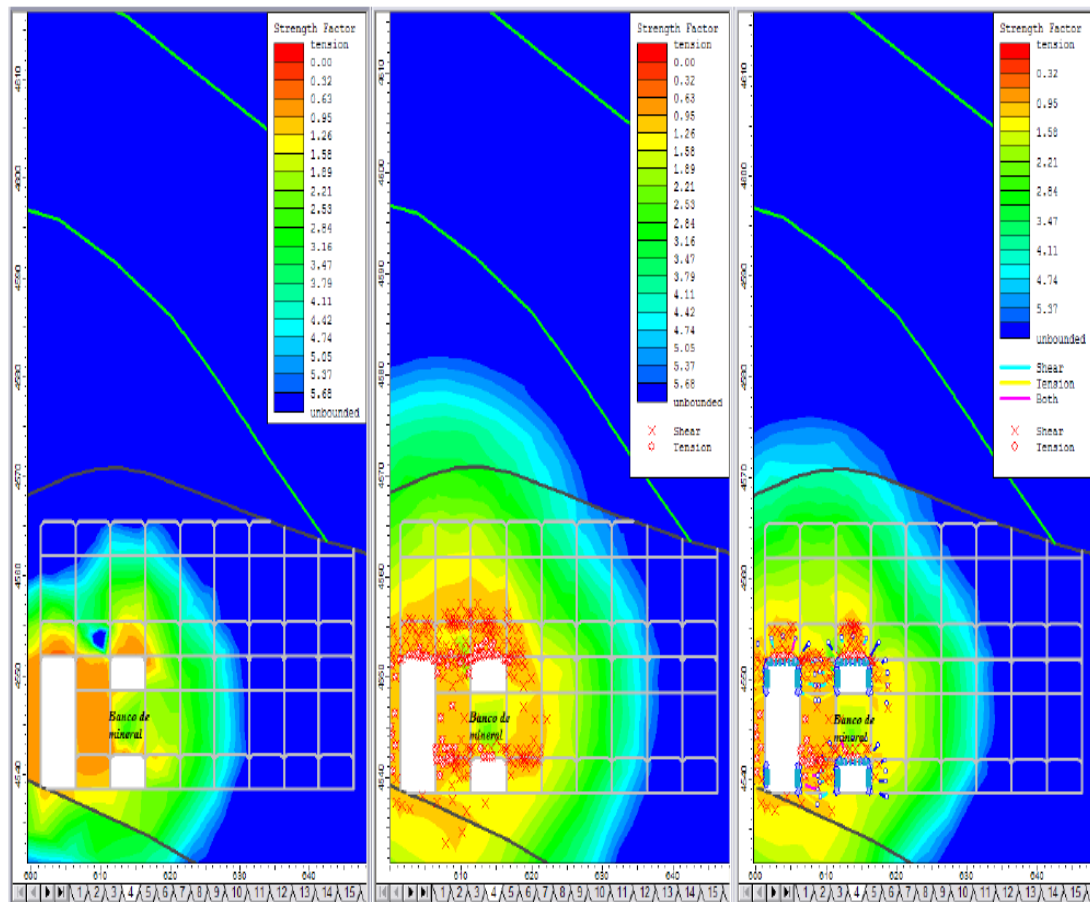
*(SARC - Modalidad tajeos primarios y secundarios avance horizontal)*



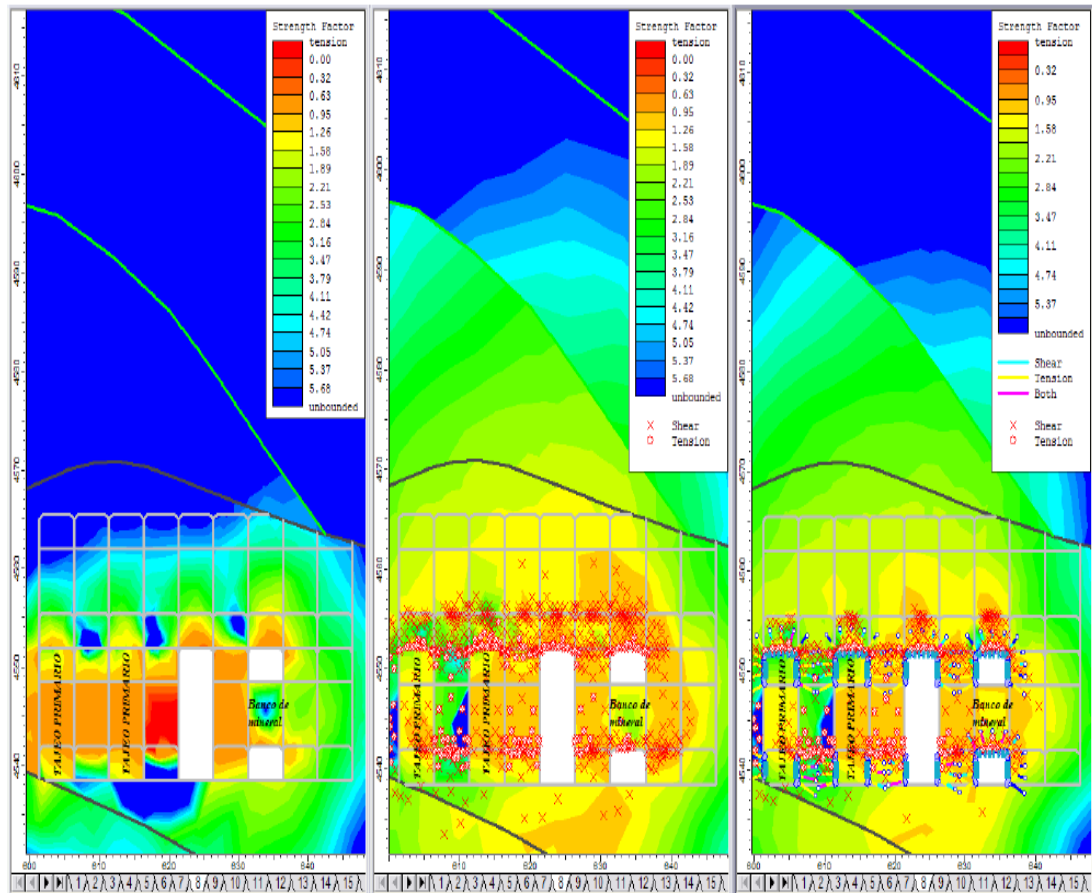
**Figura 4.6-** Vista local de la malla de elementos finitos. La simulación consiste en minar con la modalidad de tajeos primarios y secundarios, utilizando relleno cementado pero realizándolo horizontalmente entre dos subniveles. En este caso será muy importante realizar un buen topeo del relleno al techo del tajeo, caso contrario se tendrán problemas de inestabilidad local y global.



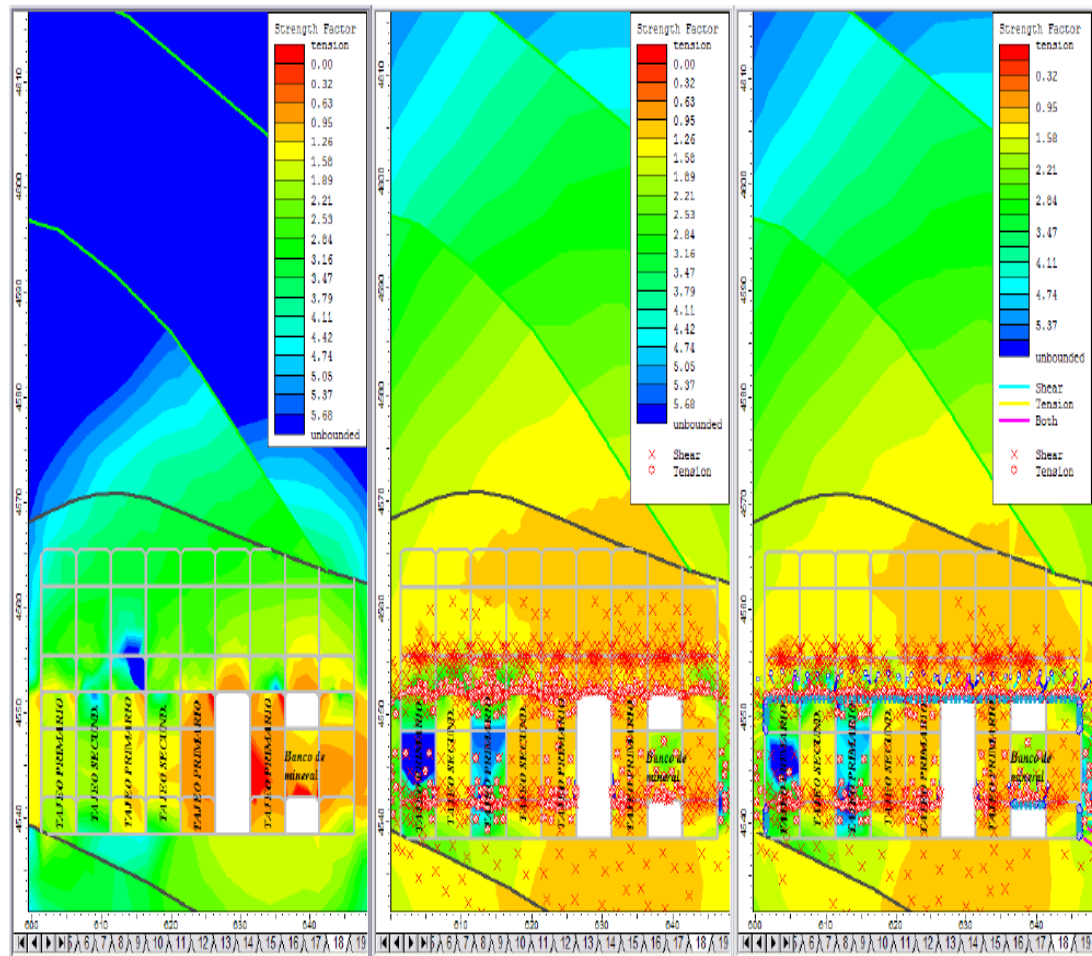
**Figura 4.7-** Distribución de factores de resistencia correspondiente al caso de la simulación de la preparación de subniveles superior e inferior para posteriormente extraer el banco de mineral durante la explotación de los tajeos primarios.



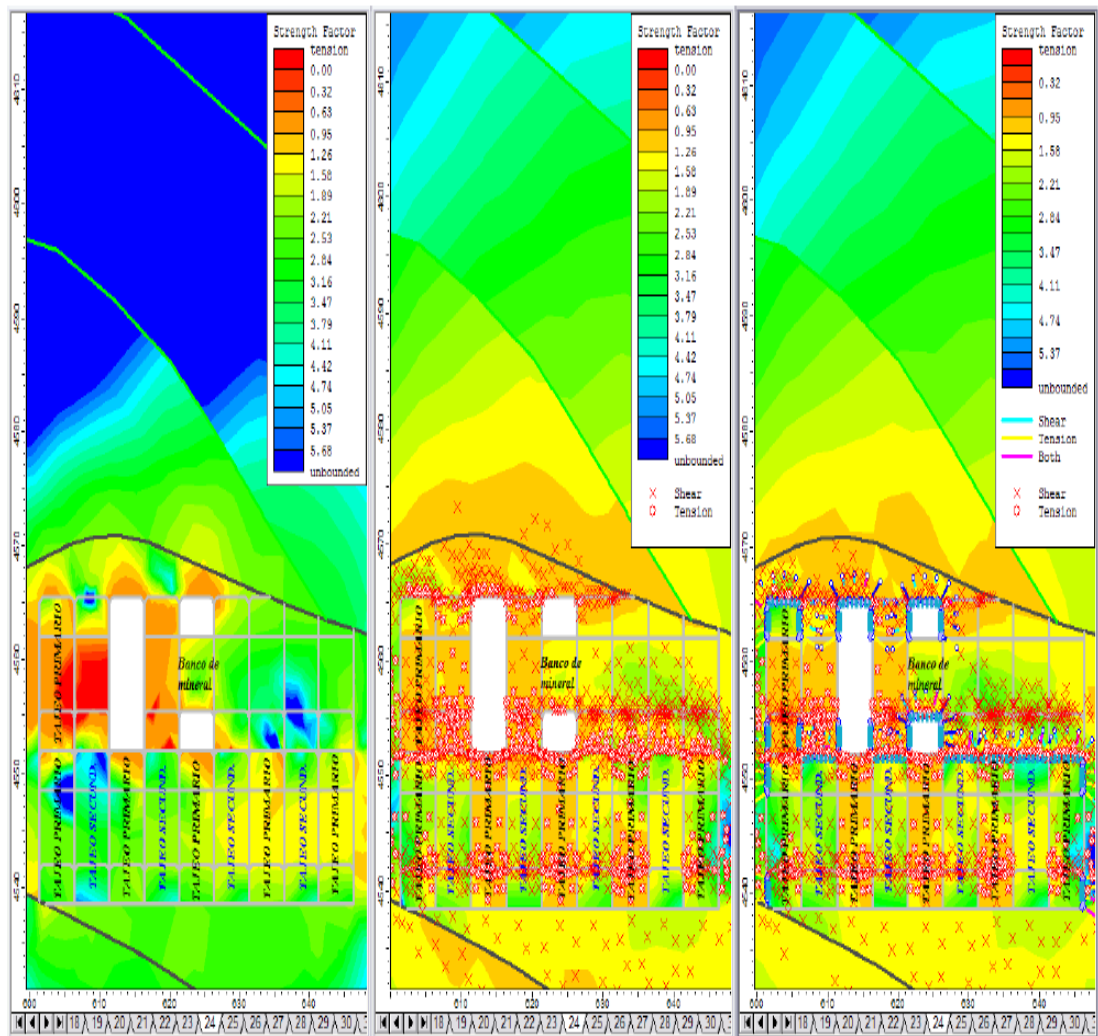
**Figura 4.8-** Distribución de factores de resistencia en la simulación del minado del primer tajeo primario. Izquierda: minado sin sostenimiento (análisis elástico). Centro: minado sin sostenimiento (análisis plástico). Derecha: minado con sostenimiento (análisis plástico). En todas las siguientes figuras también se mostrarán este orden para una mejor visualización.



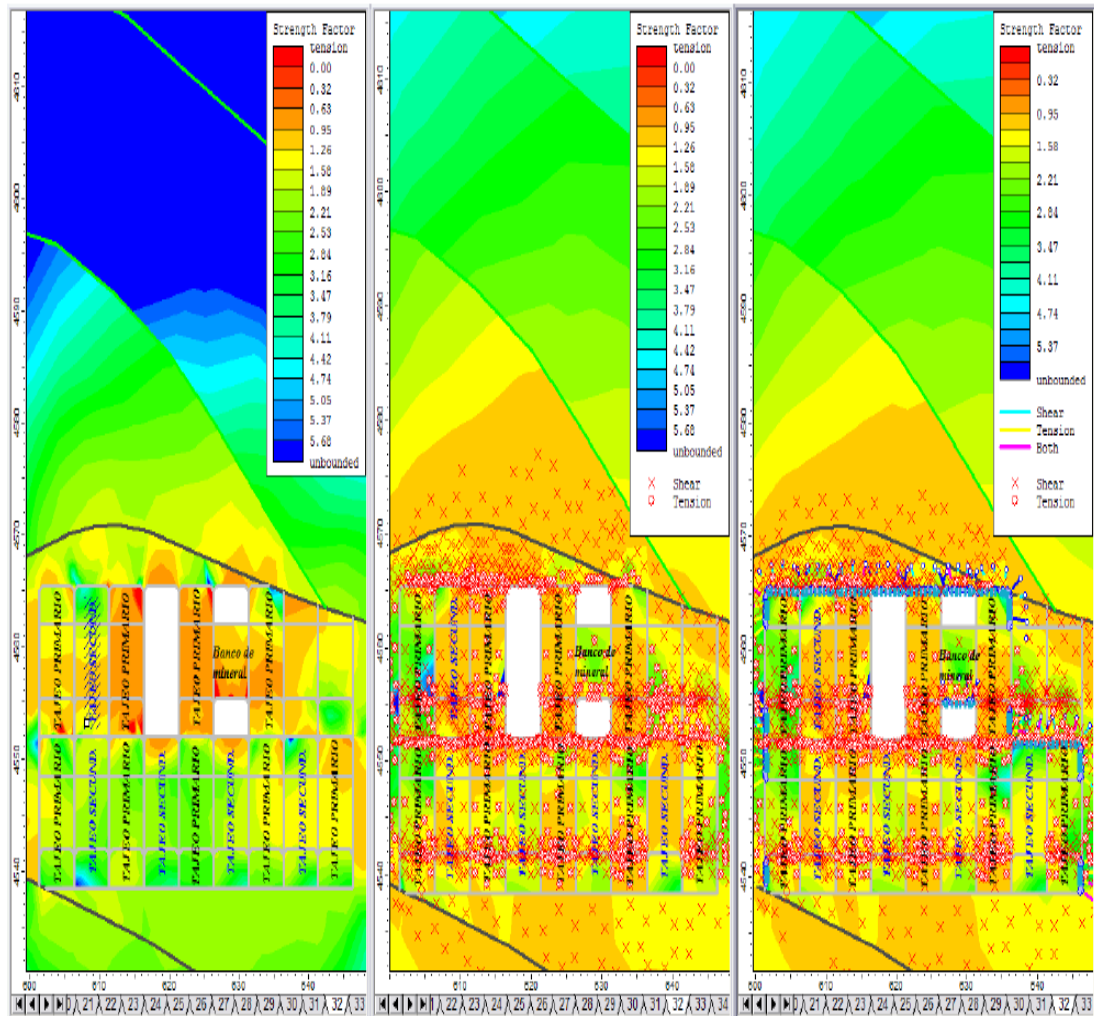
**Figura 4.9-** Distribución de factores de resistencia en la simulación de las etapas posteriores del minado de los tajeos primarios. La aplicación del sostenimiento mejora de manera significativa las condiciones de estabilidad principalmente de la bóveda.



**Figura 4.10-** Distribución de factores de resistencia a la culminación del minado de los tajeos primarios e inicio del minado de los tajeos secundarios. Es importante señalar que en todos estos modelamientos se ha considerado que el relleno está muy bien topeado al techo del tajeo. También se debe tomar en cuenta que de ninguna manera se debe realizar el minado paralelo entre dos tajeos primarios contiguos, puesto que el pilar corrido que queda al centro podría colapsar.



**Figura 4.11-** Distribución de factores de resistencia en la simulación del minado del horizonte superior después de concluido el minado del horizonte inferior. En este caso se observa el minado de los tajeros primarios y un cierto grado de inestabilidad potencial local de la pared del tajero. Por otro lado, en esta modalidad necesariamente se realiza mayor desarrollo de labores y en consecuencia mayor sostenimiento.



**Figura 4.12-** Distribución de factores de resistencia en la simulación del minado de los tajeos secundarios en el horizonte superior. En esta modalidad de minado es muy importante realizar el topeo del relleno al techo a medida que se avance el minado, principalmente de los tajeos primarios. De no realizarse correctamente este topeo, se tendrán condiciones desfavorables en la estabilidad local (techos) y global.



Estos modelamientos han estado dirigidos a evaluar las condiciones de estabilidad local y global de las excavaciones que estarían asociadas al minado del Nuevo Cuerpo Ariana según el método de minado que se viene contemplando para la explotación de este cuerpo, el cual combina los tajeos por subniveles con taladros largos, el corte y relleno y pilares, con recuperación de estos últimos.

Los resultados presentados indican que para las dimensiones establecidas de ancho (5 m) y altura (13.5 m) de tajeos, las condiciones de estabilidad están cercanas al equilibrio límite, siendo necesario utilizar sostenimiento obligatorio de los subniveles con pernos y shotcrete, en todo el contorno de la excavación.

Para los modelamientos numéricos realizados se ha asumido una resistencia compresiva uniaxial del relleno cementado de 0.5 MPa, y se tiene como resultado de que esta resistencia es la mínima requerida para mantener condiciones adecuadas de estabilidad local y global.

## **CAPITULO V**

### **SOSTENIMIENTO**

#### **5.1 Criterio de evaluación del sostenimiento**

El flujo de agua es uno de los factores más importantes para decidir entre un sostenimiento con cimbra o sostenimiento estructural para una roca mala o muy mala.

El sostenimiento es determinado mediante la zonificación geomecánica y todos los cálculos que a ella con lleva. Esta zonificación se realiza en cada uno de los pisos de Ariana, como se muestra a continuación.

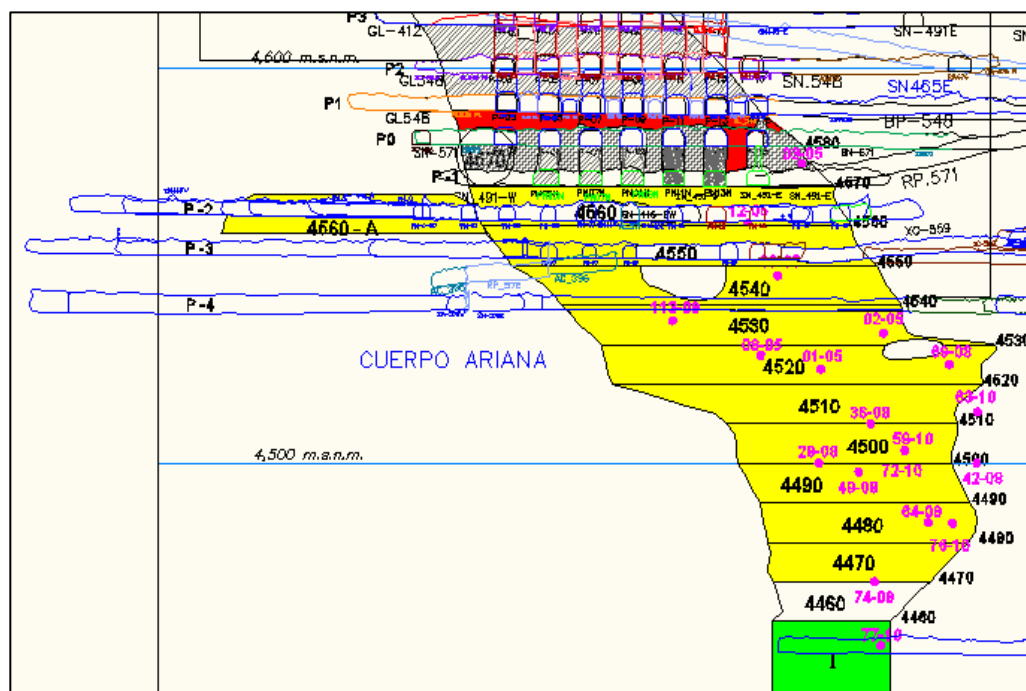


Figura 5.1- sección longitudinal del cuerpo Ariana

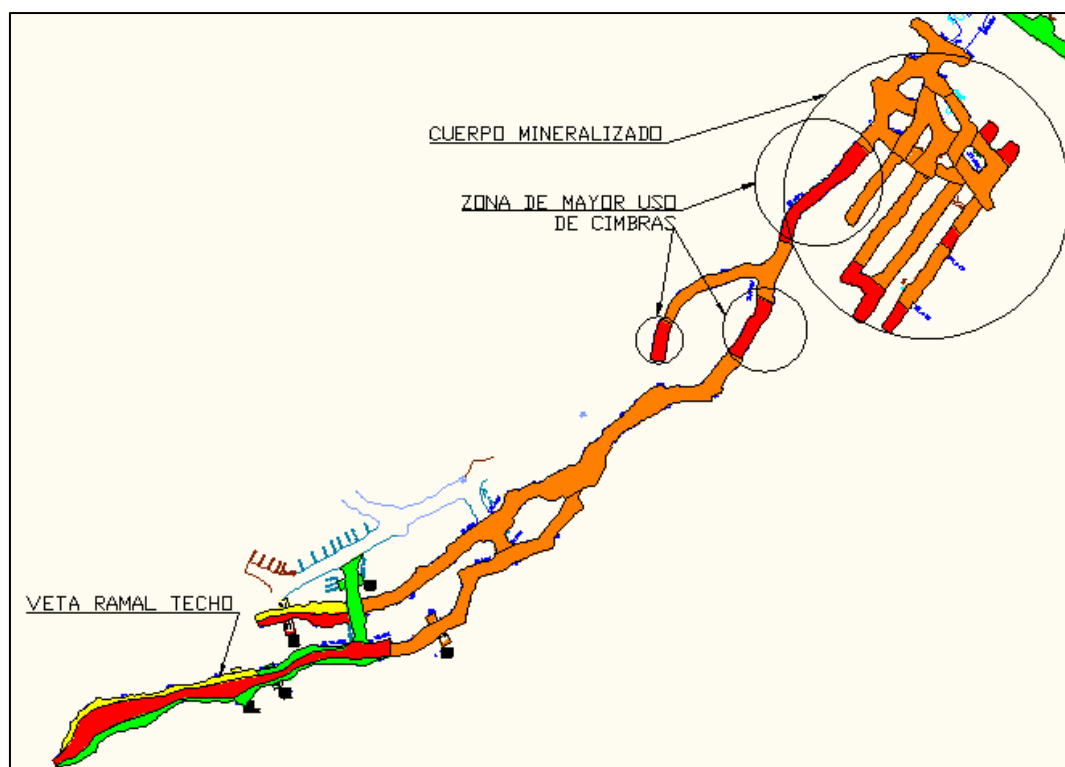


Figura 5.2- zonificación geomecánica del piso -2

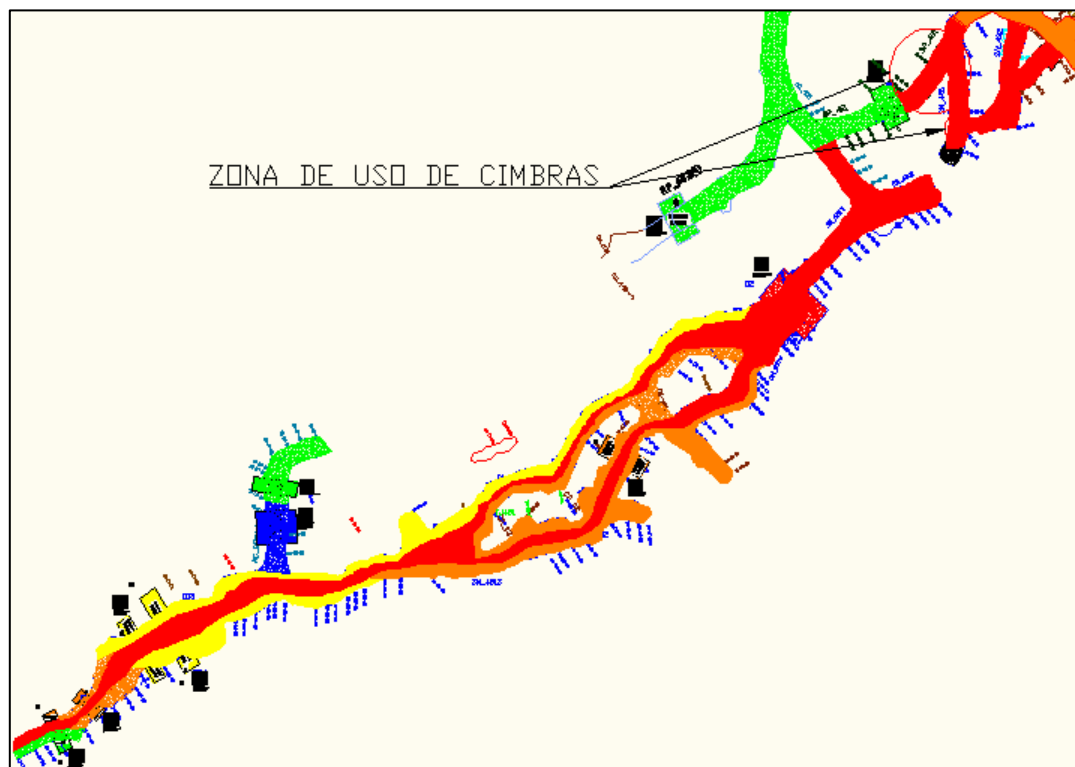


Figura 5.3- zonificación geomecanica del piso -3

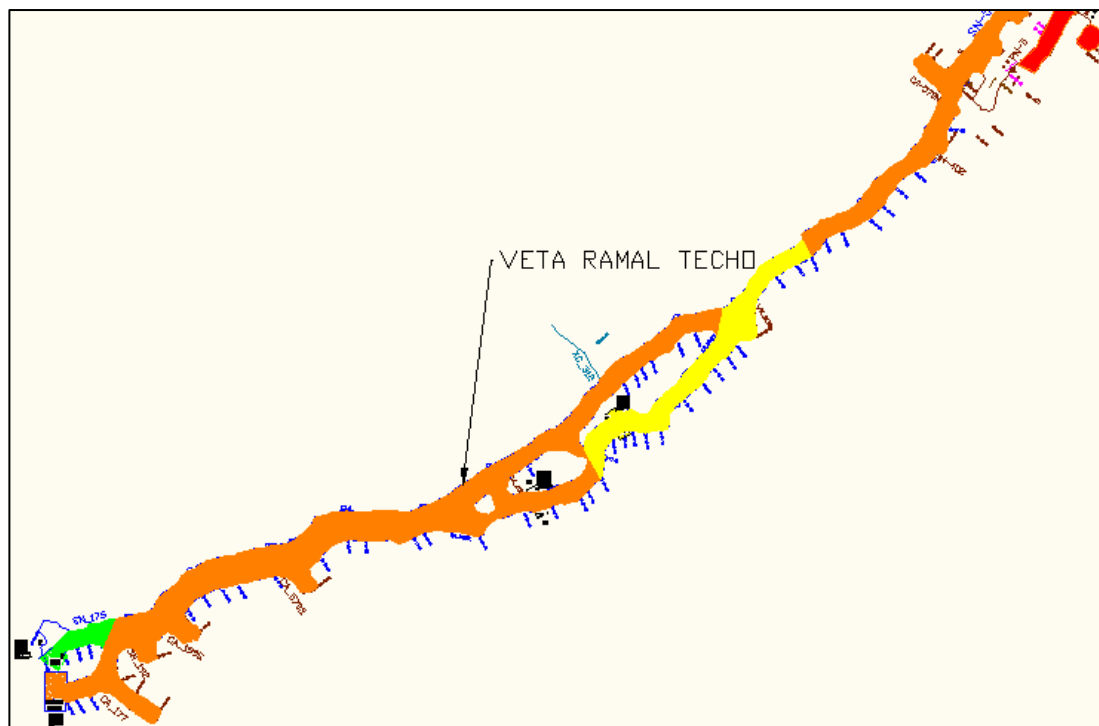


Figura 5.4- zonificación geomecanica del piso -4

La relación entre el color y la calidad de la roca viene dada en la siguiente tabla.

**Tabla 5.1-** relación entre la calidad de roca y el color sombreado

RAITING	TIPO	Calidad	COLOR
81 - 100	I	Muy Buena	
61 - 80	II	Buena	
51 - 60	III-A	Regular	
41 - 50	III-B	Regular	
31 - 40	IV-A	Mala	
21 - 30	IV-B	Mala	
< 20	V	Muy Mala	

Cabe mencionar que en la minería subterránea del país, las labores mineras permanentes más comunes están asociadas a labores de avance como por ejemplo rampas y galerías de nivel, estas por lo general tienen dimensiones entre 3.5 y 4.5 m de abertura máxima, y en el caso de Mina Ticlio, las excavaciones de las labores están dentro de este rango, según esto para estas dimensiones de excavaciones permanentes, el sostenimiento a utilizarse según tipos de rocas se presenta resumido en la tabla 5.2

**Tabla 5.2-** Sostenimiento para labores de avance permanentes (3.5 a 4.5 m)

<b>Dominio</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Sostenimiento</b>
DE-III A	51-60	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico.
DE-III B	41-50	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 a 1.5m. Malla metálica de ser requerida. Alternativamente una capa de shotcrete de 2" de espesor.
DE-IV A	31-40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 m + malla metálica + 2" a 3" shotcrete.
DE-IV B	21-30	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 0.75 m + malla metálica + shotcrete 4" a 6". Alternativamente, cimbras tipo 4W13 espaciadas cada 1.0 a 1.5 m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 2" a 3" de espesor.
DE-V	<21	Cimbras tipo 6W20 espaciadas cada 1.0 a 1.5m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 3" de espesor como preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de fiero corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes de riel.

En la tabla 5.3 se presentan los estimados para el sostenimiento de labores de avance temporales en función de los tipos de rocas que se espera encontrar durante el desarrollo de las labores mineras del nuevo Cuerpo Ariana.

**Tabla 5.3-** Sostenimiento para labores de avance temporales

<b>Dominio</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Sostenimiento</b>
DE-III A	51-60	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico.
DE-III B	41-50	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.5m. Malla de ser requerida.
DE-IV A	31-40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0 a 1.5m + malla metálica + shotcrete de 2" de espesor.
DE-IV B	21-30	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciados cada 1.0m + malla metálica + shotcrete 3" a 4" de espesor.
DE-V	<21	Una capa preventiva de shotcrete de 3" de espesor + pernos + malla + otra capa de shotcrete de 3" de espesor. Alternativamente usar cimbras tipo 6W20 espaciadas de 1.0 a 1.5 m. De ser necesario usar spilling bar o marchavantes.

Es importante resaltar que debido a las dimensiones del cuerpo Ariana, el tiempo de las labores preparadas sostenidas supera los tres años. Esto lleva a considerar a todas las labores como permanentes, es decir, avanzar con cimbra. Considerando el costo de la cimbra y el tiempo que esta demora para la instalación, se decide buscar otras alternativas de sostenimiento o mejorar las condiciones de trabajo como era reducir el flujo de agua. Esto se consiguió avanzando en dos niveles inferiores para bajar el nivel freático.

La reducción del flujo de agua en los frentes del cuerpo Ariana fue significativa a tal punto que se retomó el sostenimiento estructural.

## **5.2 Aplicación del sostenimiento estructural**

La aplicación del sostenimiento estructural determinado por el área de geomecánica aplicada en la unidad comprende de tres fases:

1. **Aplicación de shotcrete preventivo de 2”:**



**Figura. 5.5-** equipo Robot Alpha lanzando shotcrete preventivo

El lanzamiento de shotcrete debe ser de prioridad en estas labores ya que se trata de labores con roca mala.

2. **Sostenimiento con malla e hydrabolt:**



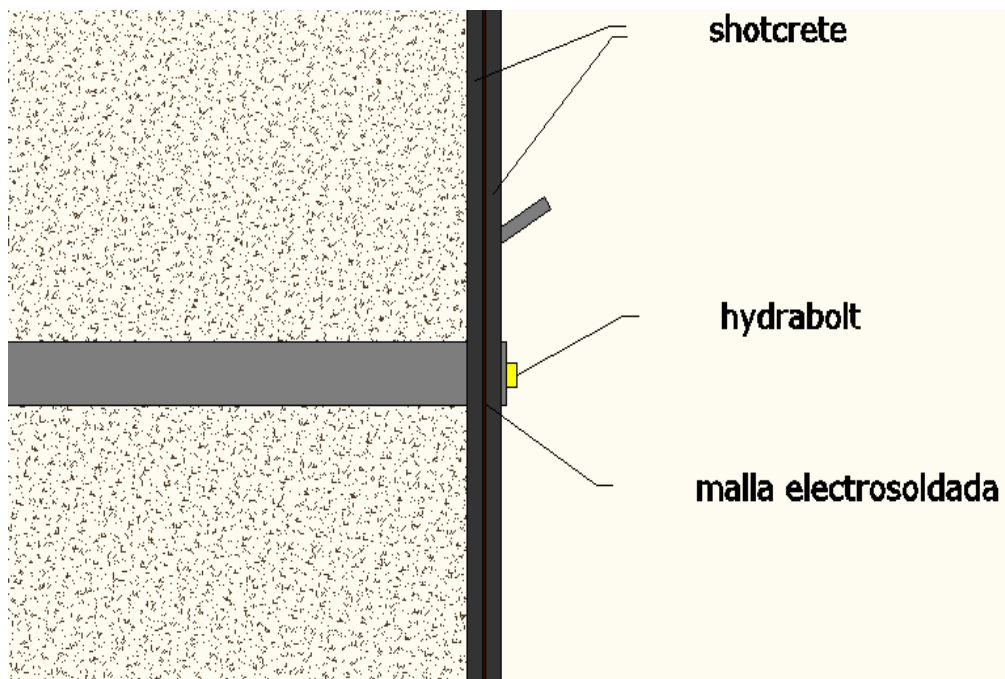
**Figura 5.6 -** equipo Bolter-77 en vista lateral



El sostenimiento con malla e hydrabolt se realiza con un espaciamiento de 1.5m entre hydrabolt y a en sección completa desde el piso.

### 3. Shotcrete final de 2”

Este shotcrete se lanza sobre la malla e hydrabolt, recubriéndolos.



**Figura. 5.7-** vista del sostenimiento estructural completo

### 5.3 Evaluación económica del sostenimiento estructural

Dentro de la actividad minera existen procesos que pueden variar en mayor o menor proporción el costo de producción, siendo estos:

**Tabla 5.4** - porcentaje de las actividades mineras según el costo anual

ACTIVIDAD MINERA 2012	%
01.ENERGIA	0.07
02.PERFORACION	12.66
03.VOLADURA	9.04
04.LIMPIEZA	8.78
05.SOSTENIMIENTO	22.77
06.RELLENO	2.95
07.TRANSPORTE	14.05
08.SERV.AUXILIARES	4.23
09.SUPERV.MINA	7.29
10.BOMBEO/DRENAJE	1.73
11.VENTILACION	2.78
12.AIRE COMPRIMIDO	1.89
13.SERV.GENERAL	4.93
14.GEO/ING/TOPOGRAFIA	6.82

De acuerdo al cuadro se observa que el sostenimiento en mina representa el 22.77% del costo total. Motivo por el cual necesitamos reducir este costo cambiando el sostenimiento, dependiendo de las condiciones del terreno en mina. Para el cual realizamos una comparación de los costos de sostenimiento con cimbra y sostenimiento estructural.

**Tabla 5.5-** comparación de costos entre sostenimiento estructural y sostenimiento con cimbras

COMPARACION DE COSTOS		
DESCRIPCION	CIMBRAS	ESTRUCTURAL
Shotcrete preventivo (m3)	US\$ 1,483	US\$ 3,924
Cimbras (jgos)	US\$ 4,619	-
Planchas acanaladas (uni)	US\$ 1,469	-
Topeo (m3)	US\$ 1,554	-
Pernos hydrabolt (uni)	-	US\$ 1,144
Malla electrosoldada (m2)	-	US\$ 2,142
<b>TOTAL</b>	<b>US\$ 9,124</b>	<b>US\$ 7,210</b>
<b>Costo Unitario</b>	<b>US\$/m 1,521</b>	<b>US\$/m 1,202</b>
<b>AHORRO POR METRO</b>	<b>US\$/m 319</b>	

De acuerdo a la tabla se muestra que el ahorro por metro lineal de avance es de Us\$/m 319.

La aplicación de este sostenimiento estructural en el cuerpo Ariana es como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.6-** ahorro por pisos desarrollados usando sostenimiento Estructural

PISOS	AVANCE TOTAL	AVANCE CON SOSTENIMIENTO ESTRUCTURAL	AHORRO(US\$)
PISO -2	578.93	338	107,822.00
PISO -3	595.47	231	73,689.00
PISO -4	561.6	387	123,453.00
<b>TOTAL</b>	<b>1736</b>	<b>956</b>	<b>304,964.00</b>

El ahorro total en los desarrollos de los últimos tres pisos es de US\$ 304,964 en 956 metros lineales de sostenimiento.

## CONCLUSIONES

- El uso de las cimbras queda restringido para las zonas de falla o zonas con presencia excesiva de agua.
- Reduciendo el flujo de agua en nuestro frente de avance podemos cambiar el tipo de sostenimiento por uno de más rápida instalación y menor costo, acelerando así el proceso de minado y reduciendo los perjuicios de la presión litostática.
- Los resultados presentados indican que para las dimensiones establecidas de tajeos, las condiciones de estabilidad están cercanas al equilibrio límite, siendo necesario utilizar sostenimiento obligatorio de los subniveles con pernos, malla electrosoldada y shotcrete, en todo el contorno de la excavación.
- El cambio del tipo de sostenimiento como herramienta nos ha permitido mejorar el proceso de sostenimiento, logrando resultados positivos en seguridad, productividad y costos, siendo los más significativos la calidad del ambiente de trabajo por la reducción de agua en la labor y la menor exposición del personal a los riesgos existentes durante la instalación de las cimbras.

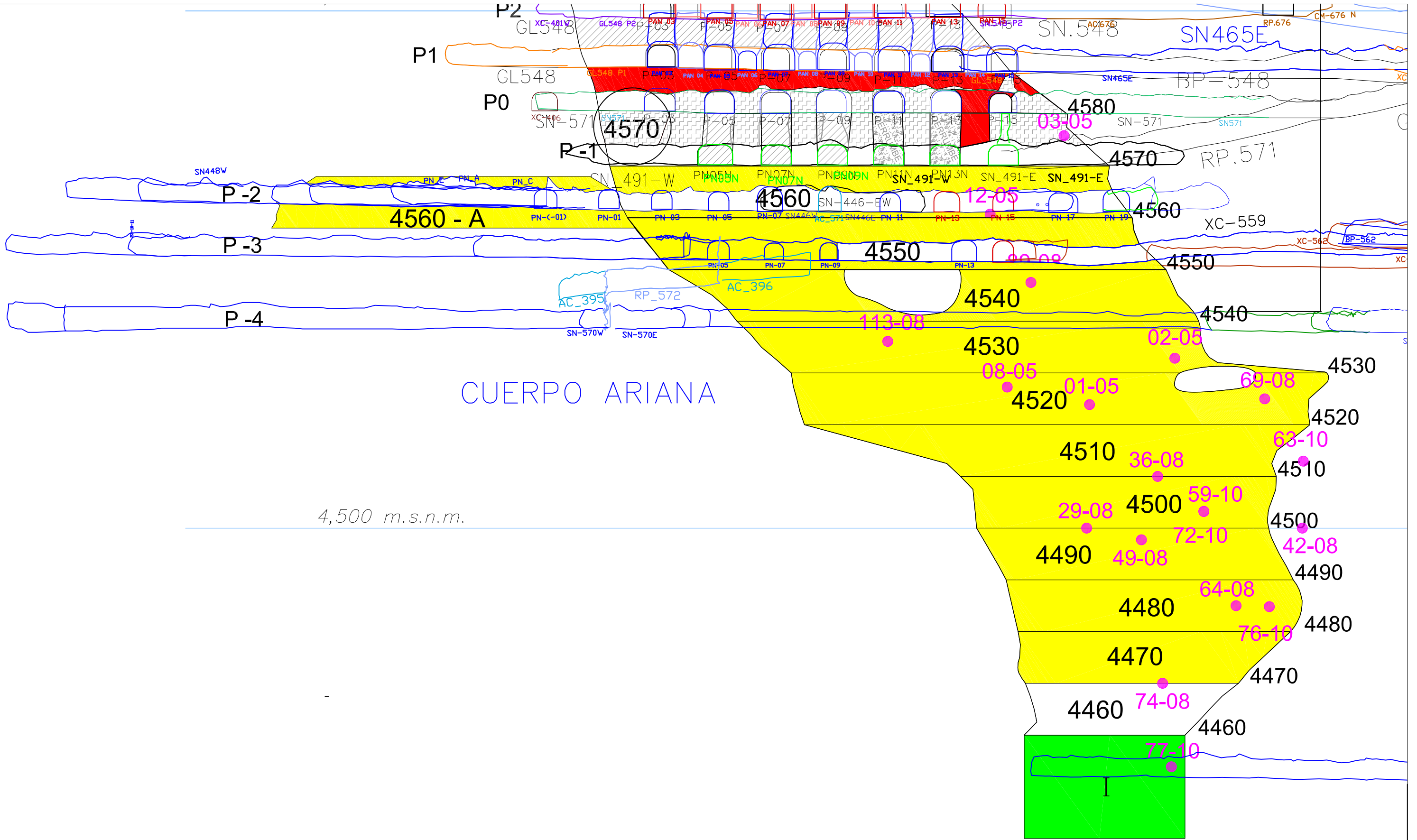
## RECOMENDACIONES

- En caso se incremente el agua en el frente de avance dentro del cuerpo Ariana, se debe continuar con el laboreo en uno o dos niveles inferiores para reducir el flujo de agua en el cuerpo.
- Durante el proceso de relleno del tajo será muy importante realizar un buen topeo del relleno al techo del tajeo, caso contrario se tendrán problemas de inestabilidad local y global.
- Es recomendable contratar los servicios de una entidad especializada en este tipo de estudios a fin de que estudie las características de presencia del agua subterránea en esta área, de esta manera se podrán adoptar las medidas necesarias de drenaje para el manejo del agua subterránea.
- Es importante indicar que solo se realizó el análisis sin control estructural por lo que se recomienda realizar un mapeo geoestructural de la zona en estudio para poder determinar el tipo y dimensiones de bloques que pueden formar los diferentes sets de fracturamiento existentes, Así mismo se recomienda realizar mediciones de esfuerzos para poder afinar los análisis.

## BIBLIOGRAFIA

1. BERRY, P.L. & REID, D. ED. Mecánica de suelos. Mc Graw-Hill Interamericana Bogotá, Edición 1993.
2. HOEK, E. AND BROWN, E.T. (1980). Underground Excavations in Rock. London, Instr. Min. Metall.
3. LUIS GONZÁLEZ DE VALLEJO. Ingeniería Geológica. Edición 2002, Editorial Pearson Educacion, España.

## **ANEXOS**



4,500 m.s.n.m.

CUERPO ARIANA



ESCALA: 1:750  
 ZONA: ARIANA  
 NIVEL: 8  
 FECHA: 23-dic.-13  
 28-mar.-18

TEMA: APLICACION DEL SOSTENIMIENTO ESTRUCTURAL EN MINA TICLIO  
 MISION: INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR  
 JOHNNY PACHECO CENTENO

EMPRESA VOLCAN S.A.A.  
 UNIDAD TICLIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 PLANO  
 SECCION LONGITUDINAL DEL CUERPO ARIANA

PLANO N°  
 1

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y PLANEAMIENTO



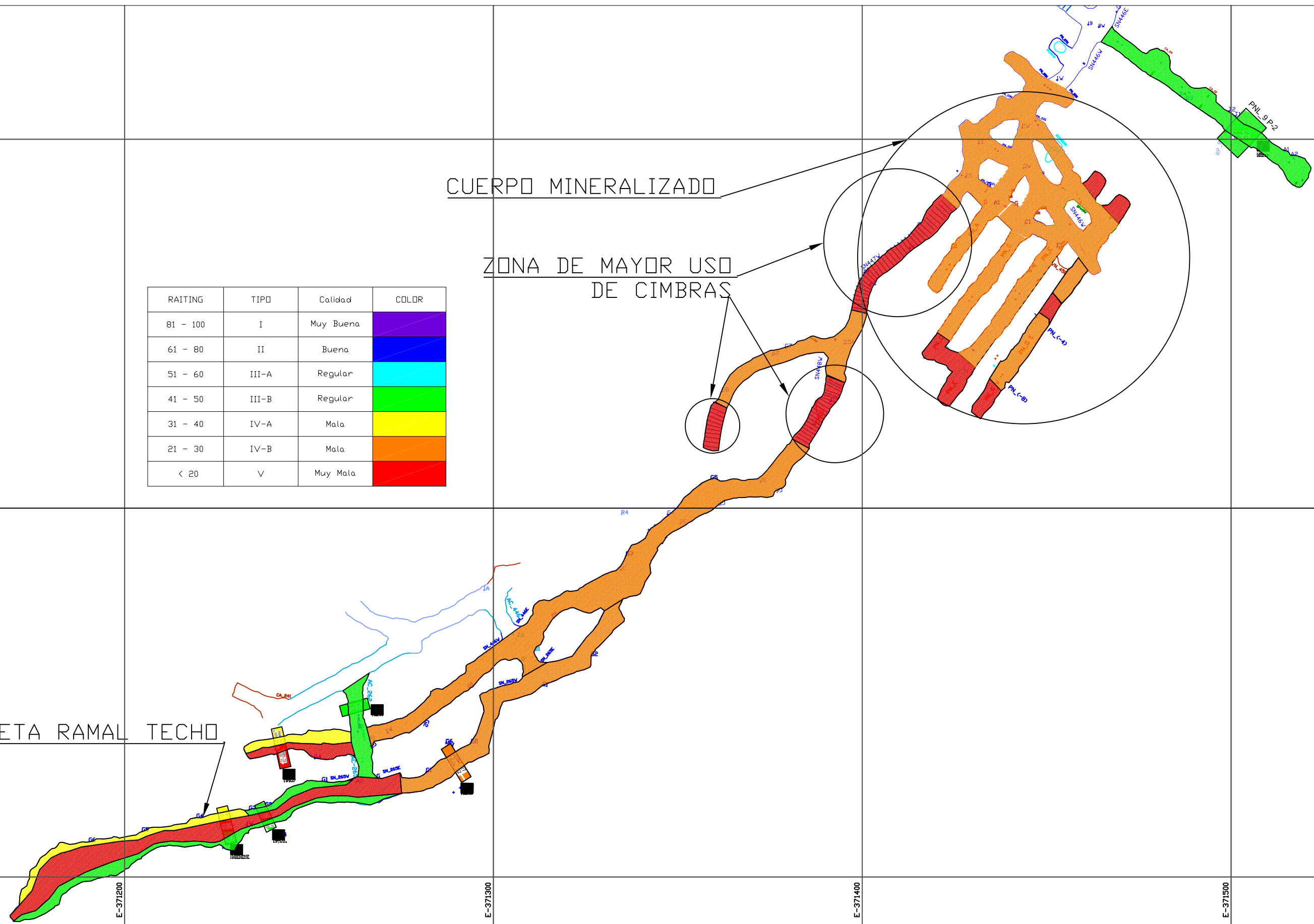


RAITING	TIPO	Calidad	COLOR
81 - 100	I	Muy Buena	
61 - 80	II	Buena	
51 - 60	III-A	Regular	
41 - 50	III-B	Regular	
31 - 40	IV-A	Mala	
21 - 30	IV-B	Mala	
< 20	V	Muy Mala	

CUERPO MINERALIZADO

ZONA DE MAYOR USO DE CIMBRAS

VETA RAMAL TECHO



RAITING	TIPO	Calidad	COLOR
81 - 100	I	Muy Buena	
61 - 80	II	Buena	
51 - 60	III-A	Regular	
41 - 50	III-B	Regular	
31 - 40	IV-A	Mala	
21 - 30	IV-B	Mala	
< 20	V	Muy Mala	

N-8716500

# ZONA DE USO DE CIMBRAS

N-8716450

N-8716400

E-371150

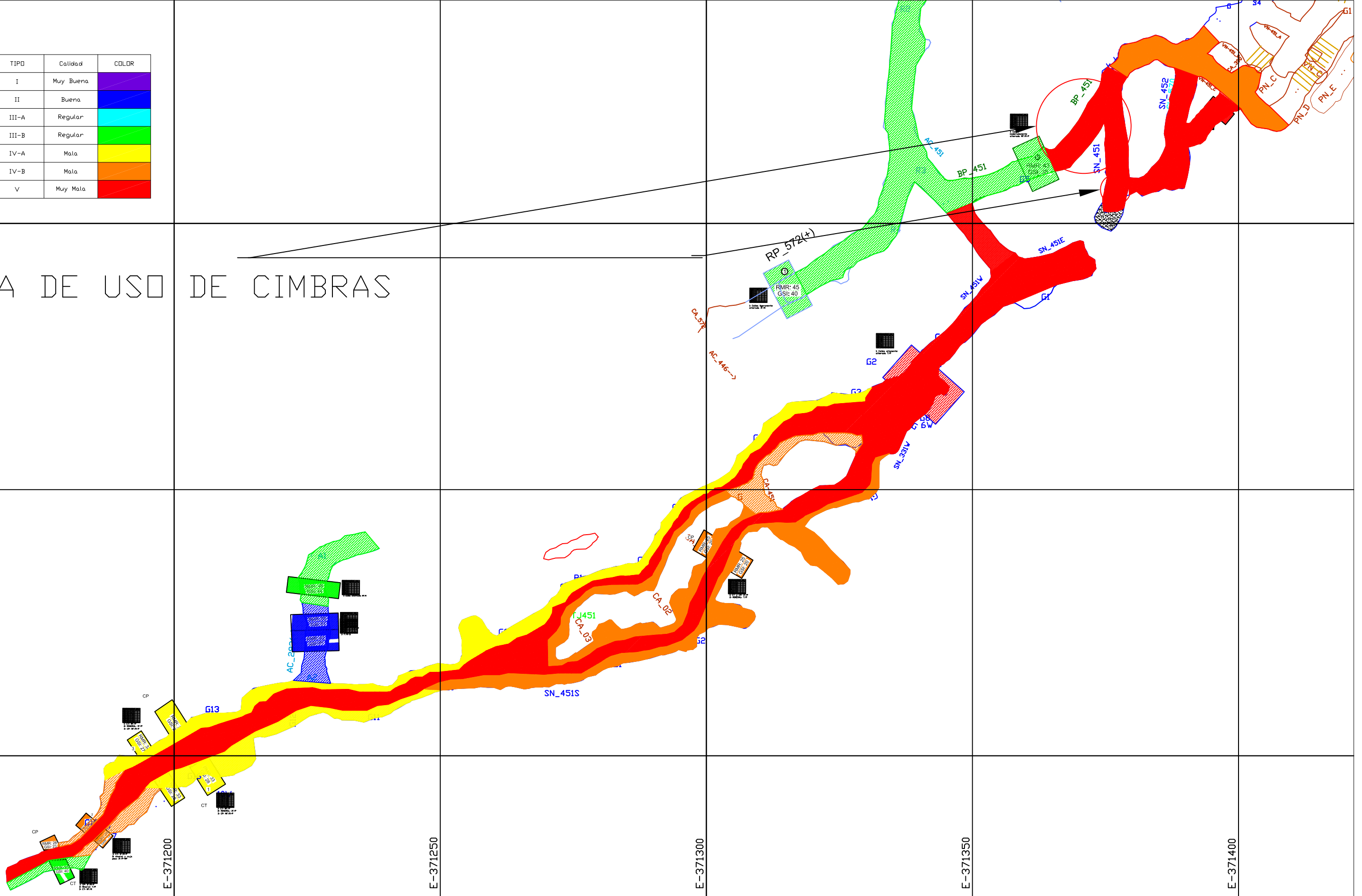
E-371200

E-371250

E-371300

E-371350

E-371400



ESCALA: 1:750	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
ZONA: ARIANA	PRESENTADO POR	EMPRESA VOLCAN S.A.A	PLANO
NIVEL: 8	JOHNNY PACHECO CENTENO	UNIDAD TICLIO	ZONIFICACION GEOMECANICA
FECHA: 23-dic.-13	INGENIERO DE MINAS		PISO (-3)
			PLANO N°
			3

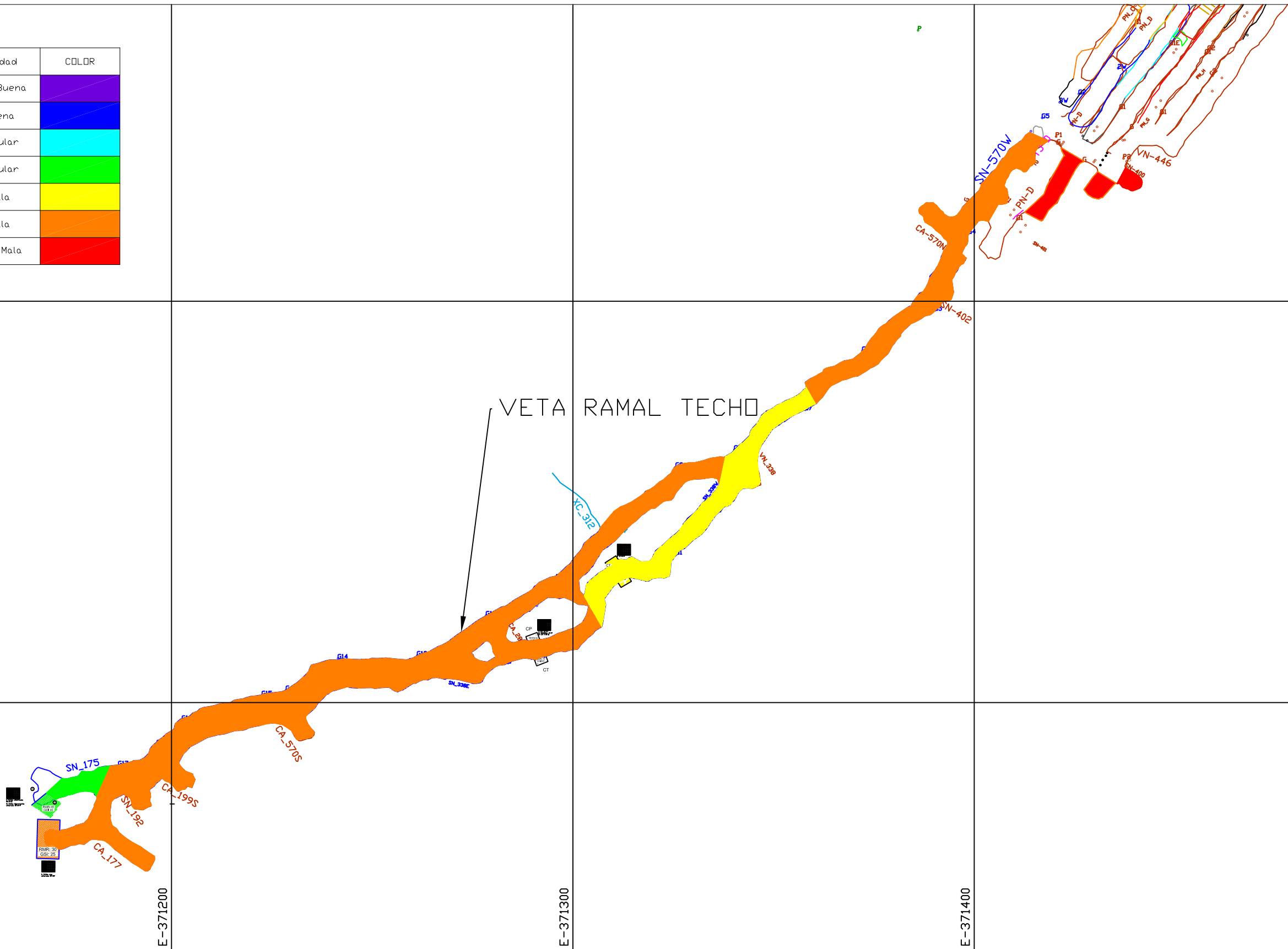
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y PLANEAMIENTO



RAITING	TIPO	Calidad	COLOR
81 - 100	I	Muy Buena	Purple
61 - 80	II	Buena	Blue
51 - 60	III-A	Regular	Cyan
41 - 50	III-B	Regular	Green
31 - 40	IV-A	Mala	Yellow
21 - 30	IV-B	Mala	Orange
< 20	V	Muy Mala	Red

N-8716500

N-8716400



VETA RAMAL TECHO

E-371100

E-371200

E-371300

E-371400

E-371500



ESCALA: 1:750  
 ZONA: ARIANA  
 NIVEL: 8  
 FECHA: 23-dic.-13  
 28-mar.-18

TESIS:  
 APLICACION DEL SOSTENIMIENTO  
 ESTRUCTURAL EN MINA TICLIO  
 MENSION:  
 INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR  
 JOHNNY PACHECO CENTENO

EMPRESA VOLCAN S.A.A  
 UNIDAD TICLIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 PLANO  
 ZONIFICACION GEOMECANICA  
 PISO (-4)

PLANO N°  
 4

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y PLANEAMIENTO

