

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica**



**TESIS**

**Diseño Geotécnico del Crucero  
XC 100, Mina Shalca**

**Para Optar el Título Profesional de:  
Ingeniero Geólogo**

**Autor: Bach. Jorge Luis VALLADARES MENDOZA**

**Asesor: Mg. Vidal Víctor CALCINA COLQUI**

**Cerro de Pasco – Perú - 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica**



**TESIS**

**Diseño Geotécnico del Crucero**

**XC 100, Mina Shalca**

**Sustentado y aprobado ante los miembros del Jurado**

---

Ing. Ramiro E. DE LA CRUZ FERRUZO  
PRESIDENTE

---

Mg. Luis Arturo, LAZO PAGÁN  
MIEMBRO

---

Mg. Eder Guido, ROBLES MORALES  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, por apoyarme en cada momento y guiarme a través del camino de la vida, ha sido la base que me ha hecho más fuerte para poder alcanzar una de mis metas. A mis hermanas por ser ejemplo de líder a seguir, por sus consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona y me acompañan en todos mis sueños y metas. A mi futura esposa, por su compañía y apoyo constante para lograr los objetivos.

## RECONOCIMIENTO

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecido, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación. Gracias mamita Elia y papá Tito. A mis hermanas, por creer en mí aun cuando muchos dijeron que sería muy tarde para continuar, con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojalá algún día yo me convierta en su fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

## RESUMEN

La Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., Subcidiaria de VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A., es una empresa dedicada a la exploración, explotación y tratamiento de minerales con contenidos de plomo, zinc y plata, realiza la explotación en la concesión Minera Claudia I, Mina Shalca, ubicada en Pacaraos, Provincia de Huaral, Departamento de Lima.

De acuerdo al plan de explotación de la Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., es determinar el comportamiento geotécnico del macizo rocoso, para posteriormente realizar el diseño de la labor subterránea y determinar el tipo de sostenimiento a implementarse en el proyecto de la mina Shalca.

El macizo rocoso se presenta como rocas dacíticas a andesíticas emplazadas en un anticlinal de la Formación Chimú, zona favorable para la mineralización con importantes leyes de Ag, Zn, Pb y Cu. Así mismo es importante el control estructural asociada con la mineralización. Es necesario definir y delimitar las labores con características geomecánicas similares, con el fin de normalizar el sistema de los diferentes tipos de refuerzo y/o sostenimiento a utilizar, de acuerdo a los métodos de explotación determinados acorde a las características del macizo rocoso.

Además, definir la estabilidad de las labores subterráneas y la elección de un sostenimiento apropiado, por zonas delimitadas en los planos de planta y secciones transversales. Cabe indicar que la delimitación es aproximativa debido a que el cambio de roca es constante tras el minado de nuevas zonas.

**Palabra Clave:** Diseño geotécnico del Crucero XC100, Mina Shalca

## ABSTRACT

The Vichaycocha SAC Mining Company, Subsidiary of VOLCAN COMPAÑÍA MINERA SAA, is a company dedicated to the exploration, exploitation and treatment of minerals with lead, zinc and silver contents, it operates in the Miner Claudia I concession, Shalca Mine, located in Pacaraos, Province of Huaral, Department of Lima.

According to the exploitation plan of the Company Miner Vichaycocha S.A.C., it is to determine the geotechnical behavior of the rock mass, to subsequently carry out the design of the underground work and determine the type of support to be implemented in the Shalca mine project.

The rock mass is presented as dacitic rocks to andesitics located in an anticline of the Chimú Formation, favorable zone for mineralization with important laws of Ag, Zn, Pb and Cu. Likewise, the structural control associated with mineralization is important.

It is necessary to define and delimit the work with similar geomechanical characteristics, in order to normalize the system of the different types of reinforcement and / or support to be used, according to the methods of exploitation determined according to the characteristics of the rock mass.

In addition, define the stability of underground workings and the choice of appropriate support, by areas delimited in the floor plans and cross sections. It should be noted that the delimitation is approximate because the change of rock is constant after the mining of new areas.

**Keyword:** Geotechnical design of the XC100 Cruise, Shalca Mine

## INTRODUCCIÓN

Para determinar las dimensiones del crucero XC 100 son importantes la información geomecánica, relacionado a las características del comportamiento mecánico del macizo rocoso y sus componentes, con la finalidad de determinar las propiedades físico - mecánicas de las rocas y suelos.

La mina Shalca se encuentra donde la temperatura es muy variable, desde  $-10^{\circ}\text{C}$  en las noches hasta  $30^{\circ}\text{C}$  en el día; con una temperatura ambiente medio de  $8^{\circ}\text{C}$ . Las condiciones climáticas afectan a la roca cambiando la resistencia de las mismas, fragmentándolas y alterándolas por acción meteórica.

El presente estudio está orientado a realizar un análisis de la evaluación geomecánica para determinar el diseño del crucero XC 100 de acuerdo a la calidad del macizo rocoso.

Jorge Luis VALLADARES MENDOZA

Autor

## PRESENTACIÓN

Esta tesis es una herramienta para los estudiantes de Geología que cursan la materia de Geomecánica dentro de los años de estudio en la universidad y para las personas que interactúan directamente haciendo geomecánica dentro de una labor minera. Cualquier persona que quiera tener una información referencial para sus trabajos de investigación. Se presentan los contenidos de forma directa, clara y muy estructurada. Las explicaciones son sencillas y breves, presidiendo de aspectos innecesarios que pueden llegar a confundir al lector de estas características. Los análisis gráficos y las relaciones entre variables se presentan siempre de forma simple y acompañadas de su explicación. Los contenidos del libro se complementan con los anexos donde se muestran los planos y las evidencias del trabajo de campo. El lector podrá buscar alternativas que puedan poner en práctica sus conocimientos y afianzarlos mediante cuestiones objetivas relacionadas a las evidencias en campo, las simulaciones, en relación a los datos estadísticos de gráficos, etc. Los conceptos básicos e ideas generales que dan una visión de conjunto, para luego pasar. Los conceptos básicos e ideas generales que dan una visión de la geomecánica, nos permiten buscar afrontar los problemas que se tienen dentro de una labor minera y posterior a un buen análisis, simular y poner en práctica las posibles soluciones.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	I
RECONOCIMIENTO .....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN .....	V
PRESENTACIÓN.....	VI
ÍNDICE.....	VII
LISTA DE TABLAS .....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
<b>CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. PROBLEMA GENERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICOS – CIENTÍFICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1. CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS .....</b>	<b>6</b>
a. Clasificación de Terzaghi:.....	8
b. Clasificación de Rabcewicz: .....	8
c. Clasificación de Protodyakonov: .....	9
d. Clasificación de Stini y Lauffer: .....	9
e. Clasificación de Deere: .....	9
f. Clasificación (RSR) de Wickman, Tiedemann y Skinner:.....	9
g. Clasificación Bieniawski (CSIR):.....	10

h.	Clasificación de Barton (NGI): .....	11
i.	Clasificación de Hoek y Brown: .....	12
j.	Clasificación de Laubscher: .....	12
k.	Clasificación del N.A.T.M.: .....	12
l.	Clasificación GSI (Geological Strength Index):.....	12
<b>2.2.2.</b>	<b>RESUMEN DE COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS.</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.3.</b>	<b>DISEÑO DE LAS LABORES MINERAS Y DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.3.1.</b>	<b>PRINCIPIOS BÁSICOS DEL NATM.</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2.3.2.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE BARTON (NGI).</b> .....	<b>17</b>
a.	Dimensión Equivalente (De):.....	23
b.	Relación De Soporte De La Excavación (SRF): .....	23
<b>2.2.3.3.</b>	<b>CLASIFICACIÓN BIENIAWSKY (CSIR).</b> .....	<b>26</b>
a.	RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA .....	26
b.	RQD DEL TESTIGO (ROCK QUALITY DESIGNATION): .....	27
c.	ESPACIAMIENTO ENTRE DISCONTINUIDADES:.....	27
d.	CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES: .....	27
e.	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS:.....	28
<b>2.2.3.4.</b>	<b>ÍNDICE G.S.I. (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.4.</b>	<b>ESFUERZOS ALREDEDOR DE UNA EXCAVACIÓN CIRCULAR</b> .....	<b>33</b>
<b>2.2.5.</b>	<b>ESFUERZOS INDEPENDIENTES DE LAS CONSTANTES ELÁSTICAS</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.6.</b>	<b>ESFUERZOS INDEPENDIENTES DEL TAMAÑO DE LA EXCAVACIÓN.</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.7.</b>	<b>SOSTENIMIENTO POR MÉTODO GEOMECÁNICO</b> .....	<b>37</b>
1)	Pernos:.....	37
2)	Split set.....	39
3)	Malla electro soldada.....	43
<b>2.3.</b>	<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4.</b>	<b>FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS</b> .....	<b>49</b>
<b>2.4.1.</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b> .....	<b>49</b>
<b>2.4.2.</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5.1.</b>	<b>VARIABLES DEPENDIENTES:</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5.2.</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5.3.</b>	<b>VARIABLES INTERVINIENTES:</b> .....	<b>49</b>
<b>2.6.</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES</b> .....	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....		<b>50</b>
<b>3.1.</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>50</b>

<b>3.2.</b>	<b>MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	50
1)	Método de Logueo Geológico: .....	51
2)	Petrografía: .....	51
<b>3.3.</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	52
<b>3.4.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	52
<b>3.5.</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	52
<b>3.6.</b>	<b>TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	53
<b>3.7.</b>	<b>TRATAMIENTO ESTADÍSTICO</b> .....	53
<b>3.8.</b>	<b>SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	54
<b>3.9.</b>	<b>ORIENTACIÓN ÉTICA</b> .....	54
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....		<b>55</b>
<b>4.1.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO</b> .....	55
4.1.1.	<i>UBICACIÓN</i> .....	55
4.1.2.	<i>ACCESIBILIDAD</i> .....	56
4.1.3.	<i>RESEÑA HISTÓRICA</i> .....	57
4.1.4.	<i>GEOMORFOLOGÍA</i> .....	58
4.1.4.1.	<b>DRENAJE</b> .....	59
4.1.5.	<i>ASPECTOS GEOLÓGICOS</i> .....	59
4.1.5.1.	<b>GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	59
a)	Formación Chimú .....	60
b)	Volcánico Calipuy .....	60
4.1.5.2.	<b>GEOLOGÍA LOCAL</b> .....	62
4.1.5.2.1.	<b>LITOLOGÍA</b> .....	63
a)	Las cuarcitas (Ki- fch-c): .....	63
b)	Las Lutitas negras (Ki-fch-l): .....	63
c)	Las areniscas (Ki-fch-a): .....	63
d)	Las tobas andesíticas (Tim-tb): .....	64
e)	El stock hipabisal andesítico (Tim-an): .....	64
4.1.5.3.	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	66
A.	<b>ESTRUCTURAS ESTRUCTURALES</b> .....	66
B.	<b>EL ANTICLINAL ASIMÉTRICO</b> .....	66
C.	<b>SISTEMAS DE FALLAS</b> .....	67
D.	<b>SISTEMA DE FRACTURAMIENTO</b> .....	67
E.	<b>SISTEMA DE FILONES HIDROTERMALES</b> .....	67
4.1.5.4.	<b>MINERALIZACIÓN</b> .....	68
<b>4.2.</b>	<b>PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	68

<b>4.2.1.</b>	<b><i>DISEÑO GEOTÉCNICO DEL CRUCERO XC 100</i></b> .....	68
<b>4.2.2.</b>	<b><i>MODELO GEOLÓGICO</i></b> .....	69
<b>4.2.2.1.</b>	<b>RESUMEN SECUENCIAL DE EVENTOS DEL YACIMIENTO</b> .....	69
<b>4.2.2.2.</b>	<b>METEORIZACIÓN</b> .....	70
<b>4.2.2.3.</b>	<b>ALTERACIÓN HIDROTÉRMICA</b> .....	70
<b>4.2.3.</b>	<b><i>MODELO GEOMECÁNICO</i></b> .....	70
<b>4.2.3.1.</b>	<b>RASGOS ESTRUCTURALES MAYORES (DISCONTINUIDADES)</b> .....	70
<b>4.2.3.2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b> .....	71
A.	ROCAS VOLCÁNICAS .....	71
B.	AGLOMERADO .....	71
C.	CUARCITA .....	71
D.	CARBÓN – LUTITA BITUMINOSA .....	72
<b>4.2.3.3.</b>	<b>CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS</b> .....	72
<b>4.3.</b>	<b>PRUEBAS DE HIPÓTESIS</b> .....	73
<b>4.3.1.</b>	<b><i>MODELO GEOMECÁNICO DE COMPORTAMIENTO</i></b> .....	73
<b>4.3.1.1.</b>	<b>DEFINICIÓN DEL RANGO DE VALORES CARACTERÍSTICOS DEL MACIZO ROCOSO</b> 73	
<b>4.3.1.2.</b>	<b>PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO (INFERIDOS)</b> .....	76
<b>4.3.1.3.</b>	<b>MODELAMIENTO DE MINADO</b> .....	79
A.	SIMULACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE MINADO CON EL SOFTWARE PHASE2 v 5.0 .....	80
B.	DEFINICIÓN DE TIEMPO DE AUTOSOPORTE .....	85
C.	DETERMINACIÓN DE SOPORTE / SOSTENIMIENTO REQUERIDO .....	86
<b>4.4.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	87
	CONCLUSIONES .....	88
	RECOMENDACIONES .....	90
	BIBLIOGRAFÍA .....	92
	ANEXOS .....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. RQD. Clasificación de parámetros individuales.....	21
Tabla 2. Parámetro que representa el número de familias de diaclasas (joint set number).....	21
Tabla 3. Parámetro de la rugosidad de las Diaclasas Jr. ....	22
Tabla 4. Parámetro Aguas en la diaclasa Jw. ....	22
Tabla 5. Tabla de evaluación SRF .....	24
Tabla 6. Clasificación de Barton de los macizos rocosos. Índice de calidad Q .....	25
Tabla 7. Parámetro: Resistencia de la matriz rocosa .....	26
Tabla 8. Parámetros RQD .....	27
Tabla 9. Parámetro de Separación entre diaclasas.....	27
Tabla 10. Parámetro del estado de las discontinuidades.....	28
Tabla 11. Parámetros de agua subterránea o freática. ....	29
Tabla 12. Clases de macizo rocoso .....	30
Tabla 13. Cuadro Características físico-mecánicas de la malla.....	44
Tabla 14. Cuadro Características físicas de la malla electro soldada .....	44
Tabla 15. Tabla Matriz Geomecánica. ....	74
Tabla 16. TABLA RMR89 (Adaptada Proyecto Minero Shallca) (en GSI) .....	75
Tabla 17. Tabla de mapeo geomecánico en roca cuarcita. ....	77
Tabla 18. Mapeo geomecánico en zona mineralizada. ....	78
Tabla 19. Tabla para el cálculo de tiempo de autosoporte.....	85
Tabla 20. Rango de Valores RMR para autosostenimiento .....	86
Tabla 21. Valoración de sostenimiento. ....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección y corte transversal de una excavación .....	7
Figura 2 . Sección y corte transversal de una excavación .....	15
Figura 3. Deflexión de líneas de flujo alrededor de un obstáculo cilíndrico.....	33
Figura 4. Esfuerzos alrededor de un orificio circular. ....	36
Figura 5. Efecto “cuña” En roca masiva o levemente fracturada y en rocas fracturadas. ....	38
Figura 6. Efecto “Viga” En roca estratificada sub-horizontal y roca no estratificada.....	38
Figura 7. En roca fracturada e intensamente fracturada y/o débil. ....	39
Figura 8. Mapa de ubicación.....	57
Figura 9. Cerros con laderas abruptas. ....	59
Figura 10. Mapa Metalogénico .....	61
Figura 11. Columna estratigráfica.....	65
Figura 12. Determinación del Factor de seguridad. - <b>Stage #1</b> .....	82
Figura 13. Debilidad en el factor de seguridad - <b>Stage #2</b> .....	83
Figura 14. Máxima debilidad en los hastiales - <b>Stage #3</b> .....	84

# **CAPÍTULO I:**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

Este estudio tiene el objetivo de conocer las dimensiones del Crucero XC 100 de acuerdo al comportamiento del macizo rocoso y la mineralización de la Mina Shalca, en el nivel 0.

Para lograr el propósito de este trabajo es necesario determinar el comportamiento geotécnico del macizo rocoso, y luego realizar el diseño de la labor subterránea y

determinar el tipo de sostenimiento a implementarse en el proyecto de la mina Shalca en el nivel 0.

El macizo rocoso se presenta como rocas dacíticas a rocas andesíticas emplazadas en un anticlinal de la Formación Chimú, zona favorable para la mineralización con importantes leyes de Ag, Zn, Pb y Cu. Asimismo, es importante el control estructural asociada con la mineralización.

El entendimiento de las características geológicas geotécnicas requiere de un estudio detallado para determinar las dimensiones de la labor subterránea mencionada. Estas labores que se encuentra sometido a mayor estrés, en sus diferentes niveles y la manifestación más crítica del estrés se observa durante un estallido de rocas, el cual libera una gran cantidad de energía y en consecuencia podría generar pérdidas.

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

La delimitación de la investigación está basada principalmente en la generación y aplicación que dan a conocer las características geológicas del macizo rocoso, los trabajos in situ han servido para determinar el comportamiento geotécnico del macizo rocoso, que con la ayuda de unos softwares nos ayuda a diseñar la labor proyectada, creando un aporte benéfico y económico para la unidad minera. El enfoque es direccionado básicamente al estudio geomecánico del comportamiento del macizo rocoso influenciado por los factores influyentes como las presiones litostáticas, presencia de agua, reacomodo de estructuras posterior al inicio de las labores mineras.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. PROBLEMA GENERAL**

¿De qué manera el diseño geotécnico, determinará las dimensiones del crucero XC 100 del nivel 0 en Mina Shalca?

#### **1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Cómo influyen la calidad de la roca para determinar la abertura máxima de tajeo en el crucero XC 100 del nivel 0 en Mina Shalca?

¿Cómo influyen la simulación de un software para analizar y determinar el factor de seguridad dentro del crucero XC 100 del nivel 0 en Mina Shalca?

### **1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de la presente investigación es:

- Determinar las dimensiones del crucero XC 100 de la Mina Shalca.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la geología del yacimiento.
- Conocer los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos.

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

El presente estudio se justifica porque es necesario determinar las dimensiones adecuadas de las labores subterráneas. El intento humano por controlar y aprovechar

los recursos minerales y realizando los trabajos con la seguridad necesaria que permita las operaciones mineras sin interrupciones, logrando los beneficios económicos proyectados. Consiguientemente se podrá tener un ambiente de trabajo más seguro para el constante tránsito del personal, equipos, maquinarias que desarrollan las actividades al tener un control del macizo rocoso.

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

Las limitaciones encontradas son básicamente la poca información geológica y geomecánica del área de estudio previo a su reinicio de explotación. Vichaycocha S.A.C. al ser subsidiaria de Volcan S.A.C. han desarrollado un sistema de circuito cerrado para la custodia de la información, el cual es monitoreado por el Área Patrimonial, que solo permite visualizar y realizar modificaciones en sus propios recursos, encontrándose en un proceso exploratorio que servirá para corroborar su potencial económico y determinar la vida útil del yacimiento.

## **CAPÍTULO II:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

Actualmente se tiene una tesis denominada “Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Arequipa-M de la Compañía Minera Caudalosa S.A. de Espíritu S. M.A” donde se determina las condiciones geomecánicas del terreno, donde se estima los parámetros geomecánicos a nivel de la masa rocosa, se define el método de explotación, establece las aberturas máximas en función a la calidad de la masa rocosa, ya que esta es ah sido afectada en su estado original y define los tipos de sostenimiento.

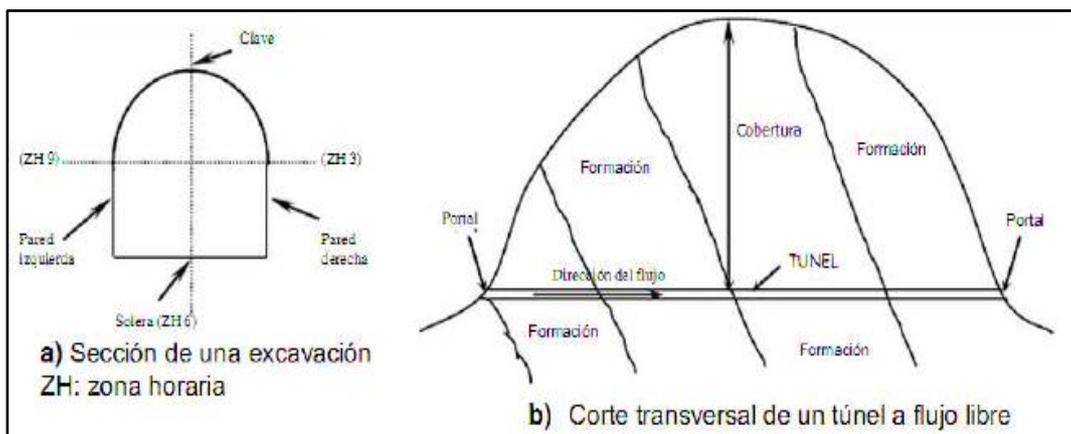
## **2.2. BASES TEÓRICOS – CIENTÍFICOS**

### **2.2.1. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS**

Estas clasificaciones han tenido una gran utilización en el diseño y construcción de excavaciones subterráneas. En la clasificación se pretende determinar la calidad del macizo para establecer si necesita o no algún tipo de soporte o revestimiento.

A partir de las ideas de Terzaghi, se ha intentado sistematizar, cualificar y cuantificar las características Geomecánicas de los macizos rocosos donde se realizan las excavaciones. La mejor clasificación sería conocer las propiedades mecánicas del macizo, como combinación de las propiedades de las rocas y de las discontinuidades. Por ser esto prácticamente imposible, se han hecho clasificaciones en las que se diferencian los macizos rocosos en diversas categorías de calidad. En décadas anteriores construir en roca era, conceptualmente, construir sobre seguro y la mayoría de los sondeos se limitaban por esto a atravesar el material de cubierta y tocar la roca, sin investigar las características de la misma en profundidad. Conjuntamente con esta idea, surgen las apreciaciones cualitativas sobre la aptitud del macizo rocoso principalmente como medio lindante de una excavación subterránea. Existen diferentes tipos de roca, cada una de las cuales tienen sus propias características y propiedades físicas. Existen también, diferentes situaciones que requieren el uso de fortificación adicional para consolidar los estratos de la roca, afirmar los bloques y prevenir la caída de roca.

Figura 1.  
Sección y corte transversal de una excavación



Estas clasificaciones que se han ido perfeccionando con el tiempo, tienden fundamentalmente a:

- A. Ubicar el macizo rocoso en un tipo estructural determinado y establecer zonas Geomecánicas.
- B. Establecer una cuantificación Geomecánica que permita dilucidar, ya en la etapa de anteproyecto las dificultades que se encontrarán y lo que es aún más importante prever la metodología de tratamiento (sostenimiento, método de excavación etc.) más adecuada en base a la clasificación establecida. se pueden establecer los planes a seguir para garantizar la instalación adecuada de las fortificaciones.

Las etapas más importantes en el desarrollo de sistemas de clasificación de macizos rocosos, que tuvieron su origen en los túneles, por ser en estas obras donde parecía más necesario conocer el comportamiento mecánico del macizo son las siguientes:

a. Clasificación de Terzaghi:

Este método de clasificación de rocas para sostenimiento con marcos de acero fue el primero formulado en forma racional, lo cual fue muy importante ya que el sostenimiento con marcos de acero en túneles había sido usado en los pasados 50 años. Esta clasificación ha resultado ser muy conservadora, sobretodo en rocas de buena calidad: su principal campo de aplicación es en túneles de tamaño medio, del orden de 8 m de ancho. No se debe aplicar en terrenos de comportamiento plástico.

Los criterios de Terzaghi empleados extensamente por 35 años, para los túneles con marcos de acero, han resultado correctos, aunque un poco conservadores, Cecil (1970) estimó que la clasificación de Terzaghi era demasiado general para permitir una evaluación objetiva de la calidad de la roca sin proporcionar una información cuantitativa sobre sus propiedades, y recomendó que se limitara su uso a túneles con refuerzo de marcos de acero.

b. Clasificación de Rabcewicz:

Desarrollo del concepto de expansión temporal y combina bases geológicas y mecánicas de roca con procedimientos especiales de construcción para asegurar y expandir una cavidad de túnel. Estas ventajas técnicas también condujeron a menores costos de construcción, por lo que el método prevaleció rápidamente y desde entonces se ha desarrollado continuamente. En términos generales, la construcción de hormigón proyectado de acoplamiento según NÖT se encuentra a menudo como una distinción del uso de hormigón proyectado para la protección de la superficie.

c. Clasificación de Protodyakonov:

Mediante esta clasificación geomecánica se define la calidad del macizo rocoso, por medio de un parámetro "F", que es el coeficiente de resistencia. Teniendo en cuenta este coeficiente y las dimensiones de la excavación subterránea, se definen las cargas de cálculo para dimensionar el tipo de sostenimiento.

d. Clasificación de Stini y Lauffer:

Clasificación que involucra el tiempo de autosostenimiento para túneles. Insistió sobre la importancia de los defectos estructurales de la roca y recomendó que la orientación de excavación no fuera paralela al rumbo de discontinuidad, o fuera muy inclinada.

e. Clasificación de Deere:

El RQD fue definido por Deere en 1963. Fue propuesto como una clasificación del macizo rocoso. Se define como el porcentaje de testigo que se recupera en piezas enteras de 100 mm o más, del largo total del testigo. Para la determinación del RQD, la International Society for Rock Mechanics recomienda un diámetro de testigo de al menos NX (54,7 mm) recuperados con una perforadora de diamante de doble barril.

f. Clasificación (RSR) de Wickman, Tiedemann y Skinner:

Este índice y las recomendaciones para el sostenimiento se basaron fundamentalmente en túneles sostenidos mediante cerchas. Los autores resumieron en gráficos correspondientes a diferentes diámetros de túnel el sostenimiento necesario para cada valor de RSR

g. Clasificación Bieniawski (CSIR):

El RSR fue un paso hacia adelante en varios aspectos ya que consideró dos categorías de factores que influyen en el comportamiento de la roca en los túneles; ellos fueron factores geológicos y factores de construcción.

- Los factores geológicos fueron: a) tipo de roca b) espaciamiento medio de las diaclasas c) orientación de las diaclasas (rumbo y buzamiento) d) tipo de discontinuidades como: fallas, cizalles, contactos, pliegues e) propiedades de la roca g) alteración y/o grado de meteorización.
- Los factores de construcción fueron a) dimensiones del túnel b) orientación del túnel c) método de excavación.

Estos factores fueron agrupados en tres parámetros A, B, C

- Parámetro A: apreciación general de la estructura de la roca en base a: a) Origen de la roca (ígneas, metamórficas, sedimentarias), b) Dureza de la roca (dura, media, blanda, descompuesta), c) Estructura geológica (masiva, fracturado, cizalle, fallas). Parámetro
- Parámetro B: geometría, a) Espaciamiento de diaclasas, b) Orientación de diaclasas, c) Dirección del túnel.
- Parámetro C: Efecto de infiltraciones de agua, El valor de RSR para alguna sección del túnel es determinado por la suma del valor numérico determinado por los tres parámetros, es decir:  $RSR = A + B + C$  con un máximo valor de 100

h. Clasificación de Barton (NGI):

Índice de Calidad Tunelera (Q) para la determinación de las características de la masa rocosa y de los requerimientos de sostenimiento de túneles.

El sistema Q ha sido usado en numerosos proyectos en el mundo desde hace 25 años como un método de caracterización de la calidad de la roca y definición de un sostenimiento que asegure la estabilidad en su tiempo de vida útil en obras de excavaciones subterráneas como túneles civiles (carreteros), centrales hidráulicas y nucleares, cavernas para almacenamiento de petróleo, cavernas para estadios de deportes y excavaciones mineras.

El sistema Q es un método empírico definido en el año 1974 por Barton, Lien y Lunde para el Instituto Geotécnico de Noruega (IGN) y mejorado por Grimstad, Barton y Loset (1993) basado en la correlación de una base datos de más de 1000 ejemplos de túneles y cavernas. El sistema Q puede ser usado en la etapa de construcción y también como una herramienta de predicción de la clasificación basado en el mapeo geotécnico de testigos. En el sistema Q mejorado se ha incorporado el shotcrete con fibra en reemplazo de la combinación “malla metálica más shotcrete simple” lo cual en términos prácticos ha significado: mayor rapidez en el resultado del ciclo de la excavación, mayor seguridad, acepta mayores deformaciones de la abertura rocosa, permite su utilización en la gran mayoría de rocas de mala calidad creando una ligazón íntima entre roca y sostenimiento lo que no ocurre al utilizar marcos metálicos.

i. Clasificación de Hoek y Brown:

Índice de Resistencia Geológica GSI (Geological Strength Index), para clasificar a la masa rocosa, estimar la resistencia de la masa rocosa y el sostenimiento. Última versión 1998.

j. Clasificación de Laubscher:

RMR de Bieniawski modificada para la minería MRMR (Mining Rock Mass Rating), última versión 1990. Aplicable a la estimación del sostenimiento y los parámetros de los métodos de minado por hundimiento, principalmente.

k. Clasificación del N.A.T.M.:

Es un método flexible de construcción que ofrece gran seguridad y mejora la economía y eficiencia, mediante la integración del comportamiento de la masa rocosa, el registro de deformaciones de la excavación durante su construcción y la aplicación del soporte apropiado a tiempo.

l. Clasificación GSI (Geological Strength Index):

Se define como un sistema de caracterización de macizos rocosos, desarrollado en el campo de la mecánica de rocas con el fin de incluir en el análisis propiedades del macizo rocoso, además de datos confiables requeridos para el análisis numérico o soluciones de diseño para el diseño de túneles, taludes o cimentaciones en rocas.

### **2.2.2. RESUMEN DE COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS.**

La clasificación de rocas (Blandas o Duras) se realiza por medio de sistemas de clasificación, para lo cual mencionaremos los aspectos relevantes de los diferentes sistemas de clasificación existente:

El sistema de clasificación de Terzaghi (1946) fue el primer sistema de clasificación de rocas aplicado especialmente a túneles con sostenimiento con marcos de acero. Este método fue usado por 35 años con mucho éxito.

La clasificación de Lauffer (1958) basada en los trabajos de Stini (1950) fue un paso adelante introduciendo el concepto de stand-up time de la abertura activa en un túnel, el cual es altamente relevante en la determinación del tipo y cantidad de sostenimiento.

La clasificación de Deere (1967) introduce el índice de calidad de la roca (RQD), el cual es un método simple de evaluación de núcleos de sondajes, y forma parte de los sistemas de clasificación.

El concepto de valuación del sistema rocoso (RSR) desarrollado por Wickham (1972) fue el primer sistema que realiza una valuación de algunos parámetros geotécnicos que dependen directamente de la roca misma.

Los sistemas de clasificación geomecánica (RMR system) propuesta por Bieniawski (1973), y el Q-system, propuesto por Barton (1974) fueron desarrollados independientemente y ambos proporcionan una valoración cuantitativa de la clasificación de un macizo rocoso y el sostenimiento asociado a la calidad de roca.

El sistema Q fue desarrollado específicamente para túneles y cavernas, en cambio el sistema RMR inicialmente desarrollado para túneles, también tiene aplicaciones en taludes de roca y en fundaciones.

En 1977 Laubsher modificó la clasificación desarrollada por Bieniawski (RMR) para darle una aplicación dirigida al diseño minero en las excavaciones originadas por la explotación de minas.

### **2.2.3. DISEÑO DE LAS LABORES MINERAS Y DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN**

Luego de la valuación de las rocas de la mina con todos los sistemas de clasificación Geomecánica mencionados anteriormente; se determina el sistema de explotación y el diseño de sostenimiento que actualmente rigen en la operación, en ambos casos se han tendido que considerar el factor de seguridad de acuerdo a cada tipo de roca.

La Clasificación Geomecánica que formuló el tipo de sostenimiento fue el N.A.T.M.

Para el control y seguimiento diario se trabaja con las clasificaciones NGI, CSIR y GSI; cuyos resultados son indicados en los reportes diarios de operaciones.

#### **Sistema de Explotación Basado en el NATM**

El objetivo principal, es el empleo de la roca circundante de la labor subterránea como un miembro activo del sistema de sostenimiento (auto-soporte con la propia roca).

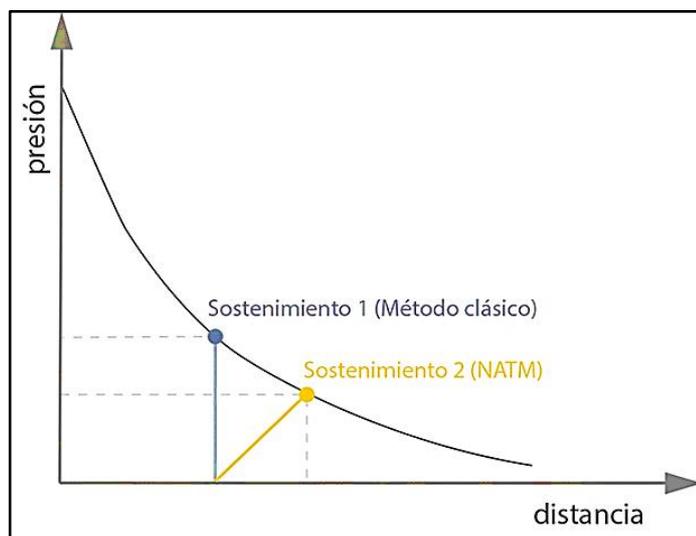
### 2.2.3.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL NATM.

NATM busca maximizar la capacidad de resistencia y soporte inherente del propio terreno, y es reconocido como una de las técnicas más económicas para construir y evaluar la integridad de un túnel.

Además de ofrecer ahorros considerables en material de sostenimiento, personal y tiempo de desarrollo de proyecto; también ofrece beneficios como una enorme resistencia en zonas sísmicas. De hecho, es el método por excelencia para la construcción de una gran mayoría de túneles a nivel global.

El método de construcción subterránea más utilizado, debe parte de su éxito a la evolución de la tecnología de shotcrete.

Figura 2 . Sección y corte transversal de una excavación



- a) Consideramos que la parte más importante de la estructura de la labor minera es el macizo rocoso circundante.
- b) Tratar de mantener la resistencia original de la roca tanto como sea posible; porque, ésta es el elemento de resistencia inicial.

- c) Se previene la desintegración o alteración de la roca, tanto como sea posible, porque esto, nos conduce a una considerable pérdida de resistencia del macizo.
- d) Se evita en lo posible la presión por esfuerzos uniaxiales o biaxiales, mediante el confinamiento del arco circundante a la excavación.
- e) Se controla la relajación o deformaciones prematuras del macizo; para prevenir el realce o inestabilidad de la roca.
- f) El revestimiento con shotcrete es dentro del tiempo establecido, cuya resistencia presenta una dosificación de acuerdo al diseño elaborado en la mina en base a muchos ensayos.
- g) El shotcrete aplicado es capaz de adaptarse a la deformación del macizo, es decir, presenta flexibilidad.
- h) El sistema de sostenimiento considerado permite ajustes en cuanto a espesores de shotcrete y distribución de pernos de anclaje. En algunos casos cuando la roca necesita se considera la adición de malla electro- soldada.
- i) Se considera el efecto de las etapas de construcción de la labor y el efecto del tiempo en el comportamiento de la excavación, conocido como tiempo de auto-soporte. El planeamiento de construcción es una buena herramienta para controlar el comportamiento de la roca.

- j) Para prevenir concentración de esfuerzos que empujan la roca, deben evitarse los ángulos y ejecutarse las secciones de contornos redondeados.
- k) La excavación y la primera etapa del soporte, conocida como soporte temporal, es considerada como parte importante del control de excavación de la labor, porque ella evita la relajación inicial y tiene una influencia significativa sobre la acción del soporte final. En realidad, el soporte temporal es el principal elemento de control de las deformaciones y permite alcanzar equilibrios definitivos.
- l) La estabilidad total se logra mediante el soporte definitivo es con los anclajes. El soporte definitivo sirve para confinar el macizo rocoso formando el arco de auto-soporte. Estas técnicas de soporte son las últimas del mercado mundial que aseguran la estabilidad definitiva.
- m) En caso de presencia de flujos de agua subterránea, se considera drenajes mediante la perforación de taladros y pernos huecos.

#### **2.2.3.2. CLASIFICACIÓN DE BARTON (NGI).**

Desarrollado por Barton, Lien y Lunde del NGI (Norwegian Geotechnical Institute), Esta clasificación geomecánica permite estimar parámetros geotécnicos del macizo rocoso y lo que es más importante diseñar sostenimientos para túneles y otras excavaciones subterráneas. El sistema Q está basado en la evaluación numérica de seis parámetros.

- RQD
- Numero de familia de juntas
- Rugosidad de la discontinuidad más favorable.
- Grado de alteración o relleno en la discontinuidad más débil (más favorable)
- Presencia de agua (flujo de agua).

En el sistema Q el índice de calidad de la roca varía de 0.001 y 1000 en una escala logarítmica.

Consiste en determinar el índice (Q) de acuerdo a la siguiente relación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde el primer cociente corresponde a una estimación del tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso, el segundo cociente corresponde a una estimación de la resistencia al corte entre bloques, y el tercer cociente representa lo que Barton et al. (1974) denominan esfuerzo “activo”. Los parámetros que definen estos cocientes son:

**RQD:** Es la designación de la calidad de la roca definida por Deere et al. (1967), que puede variar de 0 (macizos rocosos de muy mala calidad) a 100 (macizos rocosos de excelente calidad).

**J<sub>n</sub>:** Es un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Set Number), que puede variar de 0.5 (macizo masivo o con pocas estructuras) a 20 (roca totalmente disgregada o triturada).

**J<sub>r</sub>:** Es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Roughness Number), que puede variar

de 0.5 (estructuras planas y pulidas) a 5 (estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3 m).

**Ja:** Es un coeficiente asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Alteration Number), que puede variar de 0.75 (vetillas selladas en roca dura con rellenos resistentes y no degradables) a 20 (estructuras con rellenos potentes de arcilla).

**Jw:** Es un coeficiente asociado a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Water Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (flujo notorio de aguas, permanente o que no decae en el tiempo) a 1 (estructuras secas o con flujos mínimos de agua).

**SRF:** Es un coeficiente asociado al posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente) a 400 (potencial ocurrencia de estallidos de roca).

- El primer factor **R.Q.D. / Jn**, la estructura de la masa rocosa representa en la fórmula el tamaño de los bloques o partículas.
- El segundo factor **Jr / Ja**, la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno se representa en la fórmula la resistencia al corte de los bloques.
- El tercer y último factor **Jw / SRF**, consiste de dos parámetros de tensiones, representa en la fórmula el estado tensional del macizo rocoso.

El SRF es una medida de: Carga que produce deformación en rocas plásticas incompetentes. El parámetro  $J_w$  es una medida de la presión de agua subterránea, la cual tiene un efecto adverso en la resistencia al corte de las discontinuidades debido a que reducen las tensiones normales efectivas. Analizando las tablas de esta clasificación los autores no presentan corrección por la orientación de las discontinuidades, debido a que consideran que los tres factores que mencionamos, juegan un rol general más importante que el de la orientación de las discontinuidades.

Sin lugar a dudas, hay varios otros parámetros que podrían añadirse para mejorar la precisión del sistema de clasificación. Una de ellas sería la orientación conjunta, aunque muchos expedientes incluyen la información necesaria en la orientación estructural en relación con el eje de excavación, no se encontró que el parámetro general importante que se podría esperar. Parte de la razón para esto puede ser que las orientaciones de muchos tipos de excavaciones pueden ser, y normalmente están, ajustarse para evitar el efecto máximo de las articulaciones principales orientadas desfavorablemente. Sin embargo, esta opción no está disponible en el caso de los túneles, y más de la mitad de los autos se encontraban en esta categoría. Los parámetros  $J_n$ ,  $J_r$  y  $J_a$  parecen jugar un papel más importante que la orientación, ya que el número de conjuntos determina el grado de libertad de movimiento del bloque (en caso lo hubiera) , y las características de fricción y de dilatación puede variar más que el buzamiento abajo componente gravitacional de las articulaciones orientadas desfavorablemente . Si se hubieran incluido las orientaciones conjuntas de la clasificación hubiera sido menos general, y su esencial simplicidad perdida.

Tabla 6 (Después de Barton 1974) le da la clasificación de los distintos parámetros utilizados para obtener la calidad de Túneles Índice Q para una masa rocosa.

En la siguiente mostramos las tablas usadas para la clasificación de Barton:

*Tabla 1. RQD. Clasificación de parámetros individuales utilizados en el índice de calidad de excavaciones de túneles Q (según Barton et al. 1974)*

<b>Descripción de la calidad del macizo rocoso</b>	<b>R . Q . D . %</b>	<b>Observaciones.</b>
Muy mala	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Mala	25-50	
Mediana	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	

*Tabla 2. Parámetro que representa el número de familias de diaclasas (joint set number)*

<b>Descripción</b>	<b>Jn</b>
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

Tabla 3.  
Parámetro de la rugosidad de las Diaclasas Jr.

Esta tabla está basada por la relación o el contacto entre dos caras de la junta.

❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	<b>Jn</b>
▪ Juntas discontinuas.	4
▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
▪ Suave ondulada.	2
▪ Espejo de falla, ondulada,	1.5
▪ Rugosa o irregular, plana.	1.5
▪ Suave plana.	1
▪ Espejo de Falla, plano.	0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	<b>Jn</b>
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.	
Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5	

Tabla 4.  
Parámetro Aguas en la diaclasa Jw.

El valor numérico del factor de reducción por agua depende de las infiltraciones de agua hacia el interior de la excavación.

	<b>Jw</b>	<b>Presión del agua Kg/cm<sup>2</sup></b>
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-0.01*	>10
Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw		

Para la evaluación de los requerimientos de soporte de excavaciones, la Clasificación del NGI contempla un factor adicional denominado por los autores.

a. Dimensión Equivalente (De):

Para poder relacionar su índice de calidad Q, con el comportamiento de una excavación subterránea y con las necesidades de sostenimiento de la misma, Barton, Lien y Lunde inventaron un elemento cuantitativo adicional que llamaron “La dimensión Equivalente De” de la excavación. Esta dimensión equivalente se obtiene al dividir el ancho, diámetro o altura de la excavación por una cantidad llamada “Relación de soporte de la excavación” (ESR: Excavation Support Ratio).

$$De = \frac{\text{(ancho de la excavación, diámetro o altura (m))}}{(SRF)}$$

La relación de soporte de la excavación ESR tiene que ver con el uso que se pretende dar la excavación y hasta donde se le puede permitir cierto grado de inestabilidad.

b. Relación De Soporte De La Excavación (SRF):

El grado de importancia de la excavación es definido mediante el índice ESR (Excavation Support Ratio) que viene a ser un factor de seguridad. Los valores de ESR aparecen en la tabla III.1.2, la referencia (ESR=1.6) corresponde típicamente a “excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de aguas para hidroeléctricas, (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), 40 túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes”.

Tabla 5.  
Tabla de evaluación SRF

CATEGORIA DE EXCAVACIONES	DESCRIPCION	ESR
A	Excavaciones mineras temporales	3- 5
B	Aberturas mineras permanentes, túneles de agua para hidroeléctricas (excluyendo conductos forzados de alta presión), túneles, galerías y sostrados para grandes excavaciones.	1.6
C	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles carreteros y ferrocarrileros menores, cámaras de equilibrio, túneles de acceso.	1.3
D	Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1.0
E	Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.80

La relación entre “Q” y “De” determina una recta (estrictamente una familia de rectas para cada “ESR”) que separa excavaciones que requieren soportes de las que no lo requieren. Los actuales límites para excavaciones sin soportes (permanentes) pueden expresarse por la siguiente ecuación:

$$\text{Span} = 2\text{ESR} \cdot Q^{0.4}$$

El detalle de los parámetros de esta clasificación, así como las 38 categorías de soporte recomendadas se muestra en las tablas Geomecánicas diseñadas por Barton.

Tabla 6.  
Clasificación de Barton de los macizos rocosos. Índice de calidad Q

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	0,001 - 0,01
Extremadamente mala.	0,01 - 0,1
Muy mala.	0,1 - 1
Mala.	1 - 4
Media.	4 - 10
Buena.	10 - 40
Muy buena.	40 - 100
Extremadamente Buena.	100 - 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

Sugerencias para el uso de las Tablas.

- 1) Cuando no se disponen de sondeos, el RQD se estima a partir de floramientos, mediante el índice volumétrico de juntas Jv.
- 2) En el parámetro Jn, puede estar afectado por la foliación, esquistosidad, y laminaciones. Si las discontinuidades paralelas están suficientemente desarrolladas, se contabilizan como una familia, si no se contabilizan como discontinuidades ocasionales.
- 3) Se tomarán los valores de los parámetros Jr y Ja de la familia de discontinuidades rellenas de arcilla más débil de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las discontinuidades de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente Jr/Ja.
- 4) En las rocas anisótropas, la resistencia a la compresión simple de la roca, y la resistencia a la tracción,  $\sigma_c$  y  $\sigma_t$ , respectivamente se evalúan en la zona más desfavorable de las labores para la correcta estabilidad de la estructura subterránea.

### 2.2.3.3. CLASIFICACIÓN BIENIAWSKY (CSIR).

La clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), tiene como objetivo definir la calidad de los macizos rocosos en función al índice RMR, este índice se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, el índice RQD, condición de las discontinuidades y parámetros hidrogeológicos.

A continuación se detalla una tabla que sirve para calcular o determinar el índice RMR.

Esta clasificación del CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research) fue propuesta por Bieniawsky.

Considera cinco parámetros básicos para definir la clasificación:

#### a. RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Está determinada por ensayos de Compresión simple ( $R_c$ ) o en su defecto por los ensayos de cargas puntuales ( $I_s$ ); datos que se obtiene en el laboratorio de mecánica de rocas.

*Tabla 7.  
Parámetro: Resistencia de la matriz rocosa*

Parámetro: Resistencia de la matriz rocosa (MPa)							
Ensayos de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	1<
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0

b. RQD DEL TESTIGO (ROCK QUALITY DESIGNATION):

Tal como fue definido por su autor (Deere, 1964) es el % de testigos de perforación diamantina recuperados en piezas intactas de 100 mm o más con respecto a la longitud total de la perforación.

*Tabla 8.  
Parámetros RQD*

Parámetro: RQD					
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
Puntuación	20	17	13	6	3

c. ESPACIAMIENTO ENTRE DISCONTINUIDADES:

Aquí, discontinuidades es un término que abarca diaclasas, fallas geológicas, planos de estratificación y otras superficies de debilidad.

*Tabla 9.  
Parámetro de Separación entre diaclasas.*

Parámetro: Separación entre diaclasas					
Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m
Puntuación	20	15	10	8	5

d. CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES:

Este parámetro toma en cuenta la abertura de las discontinuidades, su continuidad, rugosidad de su superficie, grado de alteración de sus paredes y la presencia de material de relleno.

Tabla 10.  
Parámetro del estado de las discontinuidades

Parámetro: estado de las discontinuidades					
<b>Longitud de la discontinuidad</b>	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Puntuación	6	4	2	1	0
<b>Abertura</b>	Nada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm
Puntuación	6	5	3	1	0
<b>Rugosidad</b>	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Puntuación	6	5	3	1	0
<b>Relleno</b>	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Puntuación	6	4	2	2	0
<b>Alteración</b>	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0

e. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS:

Este parámetro considera la influencia del agua subterránea en la estabilidad de las excavaciones; la clasificación se hace a la cantidad de flujo de agua que entra en la excavación o alternativamente usando la relación entre la presión hidrostática y la tensión principal mayor, siempre que sean conocidas.

*Tabla 11.*  
*Parámetros de agua subterránea o freática.*

Parámetro: agua subterránea o freática					
Caudal por 10m del tunel	Nulo	10 litros/minuto	10-25 litros/minuto	25-125 litros/minuto	>125 litros/minuto
Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	Seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

La clasificación Geomecánica de Bieniawsky presenta índices que son simplemente puntajes asignados a cada rango de valores para cada parámetro.

El índice total se calcula sumando todos los índices parciales de cada parámetro.

Bieniawsky considera que el índice total debe ser corregido debido al efecto que

tiene la orientación de las discontinuidades en las excavaciones subterráneas.

Luego se indica los tipos de masas rocosas de acuerdo a sus índices de igual

manera presentan características representativas de cada tipo de macizo rocoso,

tales como tiempo aproximado de auto soporte, cohesión y ángulo de fricción

del macizo rocoso.

Bieniawsky, basado en la clasificación geomecánica del macizo rocoso,

presentó una serie de recomendaciones para soporte en túneles. Estas

recomendaciones están dirigidas principalmente a trabajos de Ingeniería civil

para túneles con luces de 10 m y que van a ser excavados por perforación y

voladura y en profundidades menores que 1000m.

#### 2.2.3.4. ÍNDICE G.S.I. (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).

El índice de resistencia geológica, GSI, fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos:

- RMS es la “estructura del macizo rocoso”, definida en términos de su blocosidad y grado de trabazón.
- JC es la condición de las estructuras presentes en el macizo rocoso.

La evaluación del GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas, y el mismo puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

*Tabla 12.  
Clases de macizo rocoso*

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

Respecto al uso del índice GSI para caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso, es conveniente indicar lo siguiente:

- No es aplicable en aquellos casos en que el comportamiento del macizo rocoso presenta un claro control estructural. De hecho, cuando el macizo presenta solo dos sets de estructuras el criterio de Hoek-Brown (para el cual fue desarrollado el GSI) debe aplicarse con mucho cuidado.
- No considera la resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta, ya que al evaluar la resistencia del macizo se incluyen los parámetros que definen el criterio de Hoek-Brown (si se incluyera se “contaría dos veces”).
- No considera el espaciamiento entre estructuras, ya que éste está implícitamente incluido al evaluar la blocosidad del macizo rocoso (a mayor espaciamiento el macizo es más masivo y a menor espaciamiento es de mayor blocosidad).
- No considera la condición de aguas porque el criterio de Hoek-Brown se define en términos de esfuerzos efectivos (si se incluyera se “contaría dos veces”).

El índice GSI debe definirse en un rango y no como un valor específico. En la práctica es usual definir un rango de unos 15 puntos.

Este índice ha sido introducido como un equivalente del RMR para que sirva como un medio de incluir la información geológica en la aplicación del criterio de falla generalizada de Hoek - Brown, especialmente para rocas de mala a muy mala calidad (muy alterada y con elevado contenido de finos).

La determinación del G.S.I., es el primer paso a seguir, definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso, basándose en las condiciones

estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, forma de fracturas, relleno).

La clasificación según su estructura varía de:

#### LEVEMENTE FRACTURADO (LF)

- Fracturada (F)
- Muy fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)
- Triturada (T)

La clasificación según sus condiciones superficiales varía de:

- Muy buena (MB)
- Buena (B)
- Regular (R)
- Pobre (P)
- Muy pobre (MP)

Su aplicación permite obtener una clasificación geológica muy simple como, por ejemplo: fracturada, regular (F/R) o muy fracturada, muy pobre (MF/MP) y mediante la tabla de Ábacos de GSI obtener a continuación, una evaluación que se relaciona con estas características geológicas y que corresponde al promedio entre los límites de las líneas de Ábaco que cruzan el cuadro relacionado a esa descripción, por ejemplo, a una descripción MF/MP, el valor del Índice GSI. Sería equivalente:

$$(18 + 65 / 2) = 50.5$$

ó para un F/R, el valor del Índice GSI sería

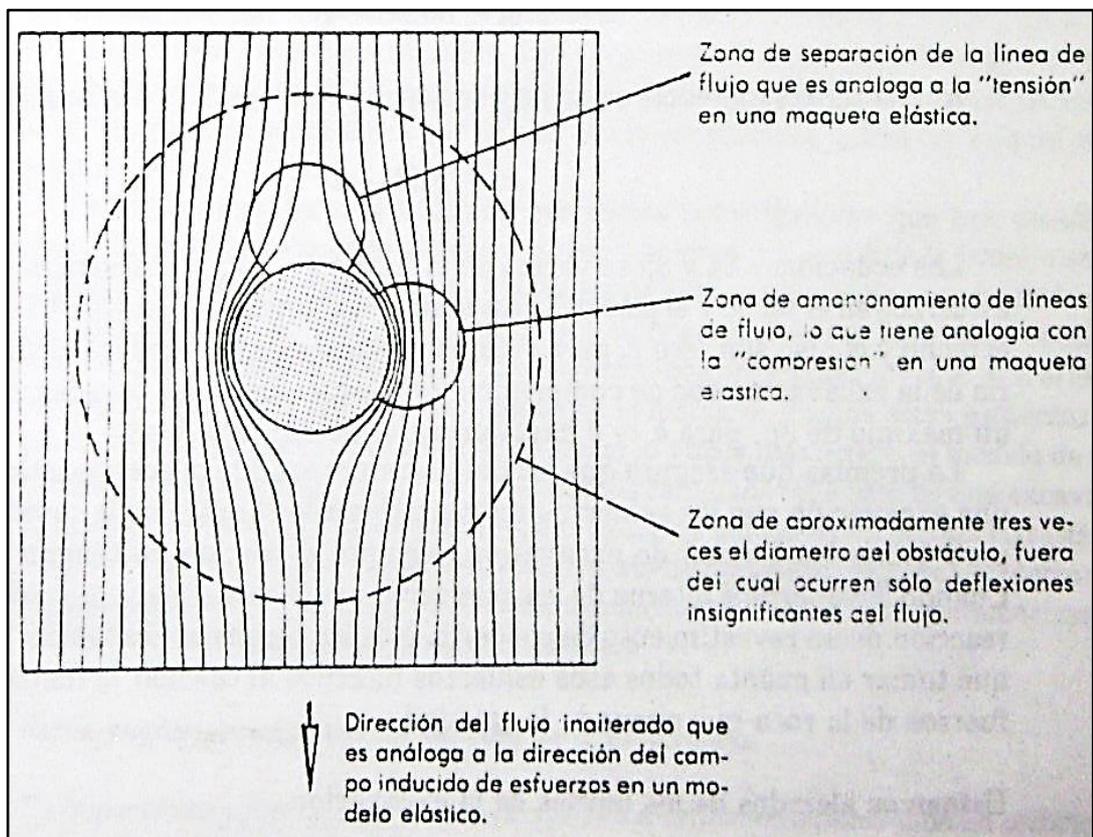
$$(46 + 65 / 2) = 78.5$$

#### 2.2.4. ESFUERZOS ALREDEDOR DE UNA EXCAVACIÓN CIRCULAR

Para calcular los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos inducidos alrededor de excavaciones en materiales elásticos, tenemos que apoyarnos en la teoría matemática de la elasticidad. Para ello se debe resolver una serie de ecuaciones de equilibrio y de compatibilidad de desplazamiento para condiciones de límites determinados, y ecuaciones constitutivas para el material.

El proceso para obtener las soluciones deseadas puede ser bastante complejo y aburrido y no lo trataremos en este capítulo. Los que se interesen en conseguir sus propias soluciones pueden remitirse a los libros de texto sobre este tema como son los de Love, Timoshenko y Goodier y Jaeger y Cook.

*Figura 3.  
Deflexión de líneas de flujo alrededor de un obstáculo cilíndrico.*



### 2.2.5. ESFUERZOS INDEPENDIENTES DE LAS CONSTANTES ELÁSTICAS

Las ecuaciones que se presentan muestran que los esfuerzos alrededor de un orificio redondo dependen de la magnitud de los esfuerzos aplicados y de la geometría o forma del cuerpo comprimido. Las constantes  $E$  (módulo de Young) y  $\nu$  (relación de Poisson) no aparecen en ecuación alguna y esto significa que el modelo de esfuerzos es independiente del material que se usa, con la condición de que se trate de un material elástico lineal. Este fenómeno ha sido utilizado por varios investigadores que han estudiado la distribución de los esfuerzos alrededor de excavaciones por medio de la fotoelasticidad. Esta técnica incluye el examen de maquetas de vidrio o de plástico comprimidos con la luz polarizada. El modelo de esfuerzos que se pueden observar bajo estas condiciones está relacionado con la diferencia entre los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  (o  $\sigma_3$  si el esfuerzo principal menor es a tensión) en el plano de la maqueta.

Ya que estos esfuerzos no dependen de las propiedades del material, como lo vimos más arriba, el modelo de esfuerzos fotoelásticos puede servir para calcular los esfuerzos alrededor de una excavación o excavaciones de la misma forma en roca tenaz. Hoy día las técnicas fotoelásticas se utilizan poco para este fin, ya que los esfuerzos alrededor de excavaciones subterráneas se pueden calcular más aprisa y más económicamente con las técnicas matemáticas de las que hablaremos más adelante en este capítulo.

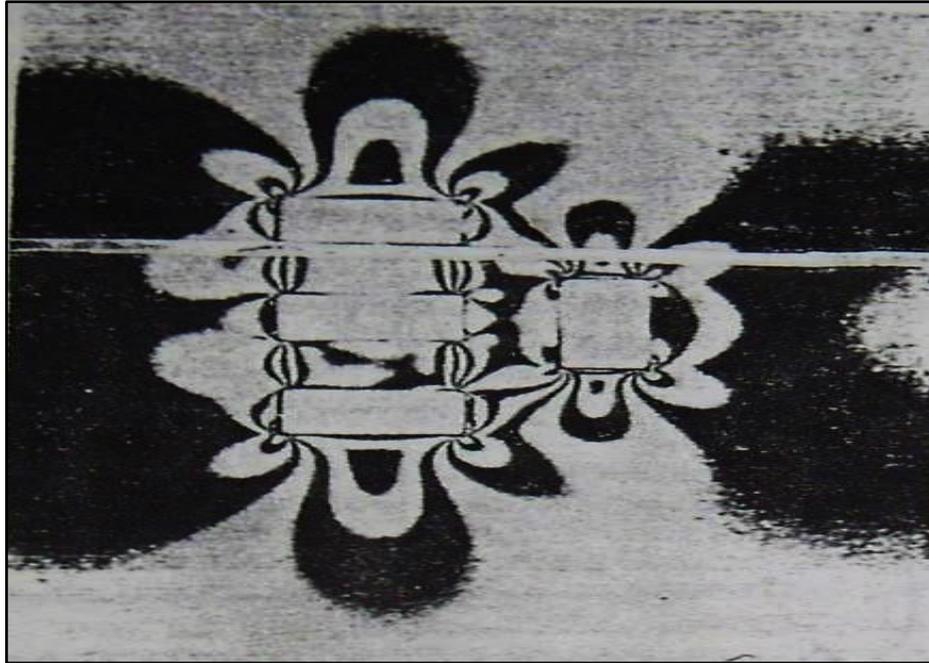
### 2.2.6. ESFUERZOS INDEPENDIENTES DEL TAMAÑO DE LA EXCAVACIÓN.

Es importante notar que las ecuaciones para los esfuerzos alrededor de un orificio circular, en un macizo de roca infinito, no incluyen términos con el radio del Juego de esfuerzos fotoelásticos de una hoja de vidrio comprimido en la que hay varios orificios

rectangulares que representan excavaciones subterráneas en roca tenaz túnel, a, sino que incluyen más bien términos con el parámetro sin dimensiones  $a/r$ . Esto quiere decir que los niveles calculados de los esfuerzos en los límites de la excavación, por ejemplo, son independientes del valor absoluto del radio. En las paredes de un túnel circular de 1 metro se indujeron los mismos niveles de esfuerzos que en las paredes de un túnel de 10 metros, en la misma roca elástica.

Este fenómeno provocó mucha confusión en el pasado. Algunos especialistas del diseño de excavaciones subterráneas han llegado a concluir que en vista de que los esfuerzos inducidos en la roca alrededor de una excavación son independientes del tamaño de la excavación, la estabilidad de la excavación también era independiente de su tamaño. Si el macizo fuera perfectamente elástico y libre de defectos, podría ser que esta conclusión resultara razonablemente correcta, pero no es el caso cuando se trata de macizos ya fracturados de por sí. Aunque los esfuerzos son idénticos, la estabilidad de una excavación en un macizo fracturado y fisurado la controlará la relación entre el tamaño de la excavación y el tamaño de los bloques en el macizo. En consecuencia, al aumentarse el tamaño de la excavación en una formación de roca típicamente fisurada no aumentarán los esfuerzos, aunque seguramente provocará una disminución de la estabilidad.

*Figura 4.  
Esfuerzos alrededor de un orificio circular.*



Se conocen por lo menos dos casos de minas que se vieron en problemas cuando se agrandaron pequeñas galerías que habían sido hechas con pala de arrastre para poder meter equipo. Se había supuesto que la estabilidad de la excavación era independiente de su tamaño y que al duplicar el claro del túnel no cambiaría para nada su estabilidad. Esta suposición resultó ser incorrecta acarreando en consecuencia serios problemas de estabilidad a causa de caídas del techo, provocadas por las fallas de las juntas que no habían sido afectadas por las excavaciones pequeñas. Muchos de los libros de texto y artículos que en un principio trataron sobre el diseño de excavaciones subterráneas se basaron casi enteramente en la teoría elástica, y pasaron por alto los fenómenos estructurales tales como las fisuras, los planos de estratificación y fallas de los que se habló en los capítulos anteriores. Esta simplificación extrema del tema llevó a la confusión de la que se habla aquí. Hay que tomar en cuenta estos hechos históricos cuando se lea literatura antigua sobre mecánica de rocas.

### **2.2.7. SOSTENIMIENTO POR MÉTODO GEOMECÁNICO**

Usualmente se denomina soporte de rocas a los procedimientos y materiales utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de resistir las cargas que producen las rocas cerca al perímetro de la excavación subterránea.

En la actualidad en la mayoría de las empresas mineras hace uso de este tipo de sostenimiento esta aplicación se consolida con las investigaciones permanentes sobre la evaluación de la calidad del macizo rocoso y por otro lado por la disponibilidad en el mercado de los equipos y herramientas para este tipo de soporte activo y pasivo. Soporte activo: que viene a ser el refuerzo de la roca donde los elementos de sostenimiento son una parte integral de la masa rocosa. Soporte pasivo; donde los elementos de sostenimiento son externos a la roca y dependen del movimiento interno de la roca que está en contacto con el perímetro excavado.

#### 1) Pernos:

Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. En roca fracturada e intensamente fracturada y/o débil, los pernos confieren nuevas propiedades a la roca que rodea la excavación. Instalados en forma radial, cada perno crea un bulbo de resistencia, el cual al interactuar con los bulbos de los pernos adyacentes forman un arco rocoso portante que trabaja a compresión denominado «efecto arco», el mismo que da estabilidad a la excavación.

En general, el principio de su funcionamiento es estabilizar los bloques rocosos y/o las deformaciones de la superficie de la excavación, restringiendo los desplazamientos relativos de los bloques de roca adyacentes.

Figura 5.

Efecto "cuña" En roca masiva o levemente fracturada y en rocas fracturadas.

El papel principal de los pernos de roca es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas potencialmente inestables.

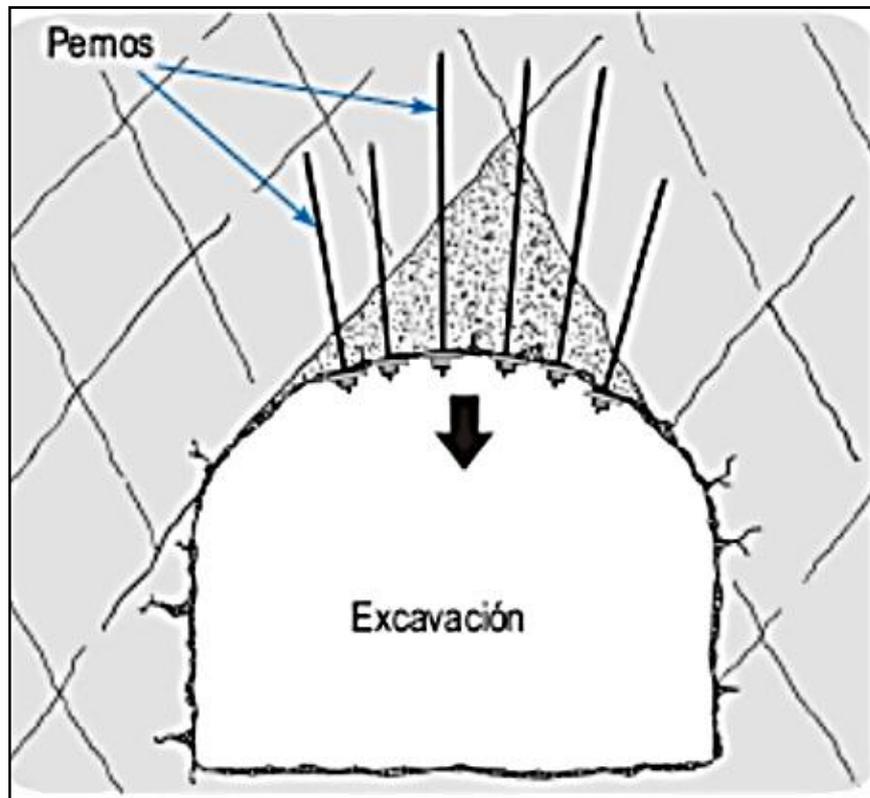


Figura 6.

Efecto "Viga" En roca estratificada sub-horizontal y roca no estratificada

con un sistema de fracturas dominantes subhorizontales los pernos ayudan a minimizar la deflexión del techo (pandeamiento). Esto es lo que se llama también el "EFECTO VIGA"

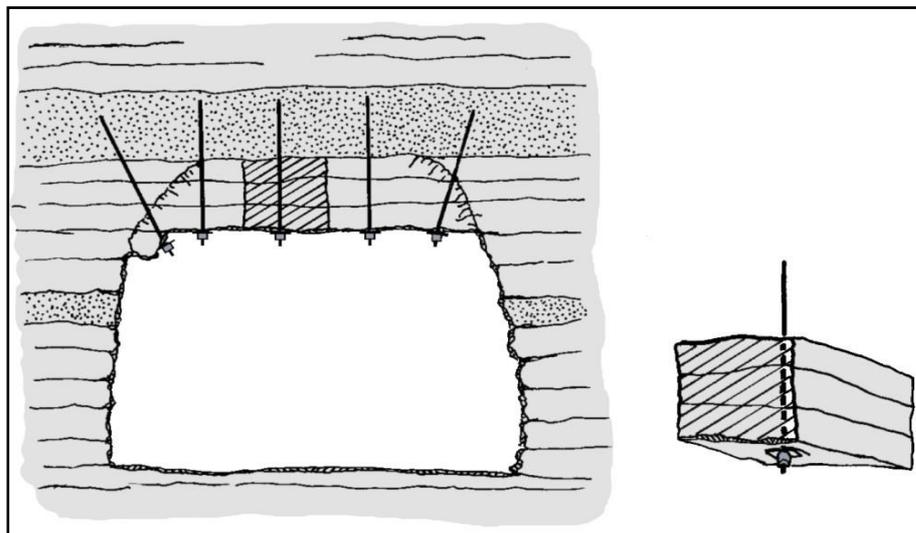
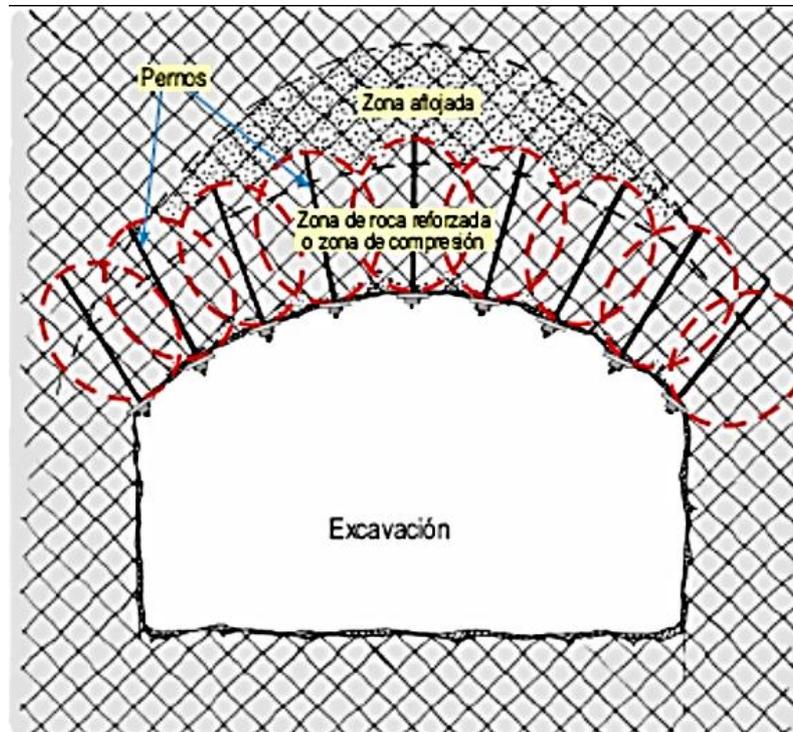


Figura 7.  
En roca fracturada e intensamente fracturada y/o débil.

Los pernos confieren nuevas propiedades a la roca que rodea la excavación. Instalados en forma radial, los pernos en conjunto forman un arco rocoso que trabaja a compresión denominado "efecto arco"



## 2) Split set

El perno split set es un tipo de sostenimiento metálico considerado TEMPORAL que trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro.

Al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

**Parámetros:**

Diámetro: 39 milímetros.

Longitud: 5 pies (1,50 metros).

Resistencia: De 1 a 1,5 toneladas métricas/ pie de longitud, dependiendo principalmente del diámetro del taladro y del tipo de la roca.

- a) **Tipo de roca:** Regular, en roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso.
- b) **Instalación:** Requiere una máquina jack-leg o un jumbo, una presión de aire de 60 a 80 psi.
- c) **Diámetro de perforación del taladro:** Es crucial para su eficacia. Es recomendable para los split set de 39 mm un diámetro de perforación de 37 a 38 mm, son susceptibles a la corrosión en presencia de agua, a menos que sean galvanizados.

Los pernos tipo split-set corresponden a una marca registrada por Ingersoll Rand Comp. (EE.UU.) y están constituidos por un tubo, de 2,3 mm. de espesor, que tiene una ranura longitudinal y un diámetro superior al del taladro en el que va a ser anclado el proceso de colocación de un split-set, es sumamente sencillo, ya que basta con introducir a presión el split-set en el taladro donde debe ser anclado. Los split-set consiguen un cierto efecto de puesta en carga inmediato y permiten un deslizamiento muy importante antes de la rotura como aspectos negativos hay que señalar su escasa capacidad de anclaje, que en el mejor de los casos no sobrepasan los 11 TM/perno, la gran sensibilidad de anclaje al diámetro de perforación y los problemas que plantea su durabilidad.

De acuerdo a los tipos de anclaje los pernos se clasifican en:

- Pernos de anclaje puntual
- Pernos de anclaje repartido
- Pernos de anclaje combinado

Los bulones tipo split set corresponden a una marca registrada por Ingersoll Rand Comp (EE.UU.) y están constituidos por un tubo de 2,3 mm de espesor, que tiene una ranura longitudinal y un diámetro superior al del taladro en el que va ser anclado.

Los estabilizadores de fricción split set están constituidos por un tubo de acero seccionado en su longitud. En el taladro el split set ejerce una presión radial contra la roca, su contacto es longitudinal y provee un refuerzo al macizo rocoso previniendo el movimiento de los bloques a soportar.

La estabilización se produce por fricción y la resistencia mínima aproximada es de 1.0 TM/pie.

Pero la resistencia de estabilización de este tipo de pernos es influenciada por lo siguiente:

- Diámetro del taladro perforado.
- La presencia de agua.
- Presencia de fallas y fracturas.
- Oxidación presente por la presencia del perno.
- Tipo y calidad de roca.

Los pernos split set de 5 pies, tienen una capacidad aproximada de anclaje lineal repartido de 0,81 TM/pie.

a) **Ventajas**

- Los Split set consiguen un efecto de puesta en carga inmediato y permiten un deslizamiento muy importante antes de la rotura.
- Permiten la resistencia inmediata debido a su función como anclaje de la resina rápida y la reducción de costo de la lechada para estos elementos de sostenimiento de roca.
- El proceso de instalación es sencillo y consiste en colocar el split set en el taladro a presión.

b) **Desventajas**

- Como aspecto negativo es su escasa capacidad de anclaje, que en el mejor de los casos no sobrepasa 11 TM/perno.
- Gran sensibilidad de anclaje al diámetro de perforación.
- Su uso es temporal.
- Se requiere protección contra la corrosión.

c) **Tipos de split set**

Los distintos fabricantes van generando nuevos desarrollos para sus productos, y se tiene los siguientes tipos:

- **Split set estándar.** Se trata del clásico Split set, pero puede existir algunos modelos diferentes según el material con el que se construyen, chapa de acero, galvanizada y otros.
- **Split set cementado.** Se basa en los principios de los pernos mecánicos o de carga puntual cuyo trabajo se realiza en el extremo del perno donde se ubica el anclaje, ayuda a consolidar su resistencia total hasta 5 veces más que un Split set convencional.

Otro de los pernos de fricción muy utilizados son los pernos Hidrabolt, el mismo que está dando buenos resultados en el sostenimiento de labores temporales de explotación, con una distribución sistemática con malla y sin malla electrosoldada.

### 3) Malla electro soldada

Son estructuras de acero formadas por barras dispuestas en forma ortogonal y electro-soldadas por fisión, es decir sin aporte de material en todos los puntos del encuentro, estos productos son fabricados bajo la norma IRAMIAS U 500-06, el acero utilizado es de calidad T-500 (1), es decir laminado en frío y con una tensión de fluencia característica de 500 MPa, se presentan en una amplia variedad de secciones, cuadrículas y diámetros.

Primero, para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca. Segundo, para retener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos, actuando en este caso como un elemento de seguridad; y Tercero, como refuerzo de shotcrete. Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electrosoldada.

La soldadura por fisión eléctrica permite lograr uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad. Los cruces soldados a lo largo de las barras proporcionan un anclaje efectivo del concreto, el acero AT56 – 50H, permite reducir la sección debido a su alta resistencia, lo que hace que la malla electro soldada sean fáciles y rápidas de instalar. Las características de este elemento de sostenimiento son las siguientes:

*Tabla 13.*  
*Cuadro Características físico-mecánicas de la malla*

<b>FABRICADAS EN ACERO TREFILADO-LAMINADO AT56-50H</b>	
Límite de fluencia	5 000 kg/cm <sup>2</sup>
Límite de ruptura	5 600 kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Tubos y perfiles CL. Accesorios

*Tabla 14.*  
*Cuadro Características físicas de la malla electro soldada*

Tipo de malla	Distancia barras		Diámetro barras		Sección de acero		Peso malla
	Longitud mm	Transv. mm	Longitud mm	Transv. mm	Longitud cm <sup>2</sup> /m	Transv. cm <sup>2</sup> /m	kg
C-139	100	100	4,20	4,20	1,39	1,39	28,34
C-188	150	150	6,00	6,00	1,88	1,88	39,03
C-196	100	100	5,00	5,00	1,96	1,96	40,04
C-257	150	150	7,00	7,00	2,57	2,57	53,10

**Fuente:** Tubos y perfiles CL. Accesorios- malla electrosoldada.

#### ▪ **VENTAJAS GEOMECÁNICAS Y OPERACIONALES.**

La soldadura por fisión eléctrica permite lograr uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad.

- Los cruces soldados a lo largo de las barras proporcionan un anclaje efectivo del concreto.

- El acero AT56 – 50H, permite reducir la sección debido a su alta resistencia, lo que hace que la malla electro soldada sean fáciles y rápidas de instalar.
- Las mallas de acero de alta resistencia han probado su alto rendimiento y su idoneidad para su aplicación en el sostenimiento contra la voladura de rocas o en su caso de estratos altamente deformables en pruebas estáticas y dinámicas realizadas por la Western Australian School of Mines (WASM).
- Debido a la elevada resistencia del alambre de acero (1770 MPa) y su característica de alta deformación de la malla, este sistema de sostenimiento subterráneo es aplicable en ambientes de grandes solicitaciones de esfuerzos, aumentando la seguridad del personal minero y el rendimiento de producción mina.
- La malla de alta resistencia TECCO G80/4, fue capaz de resistir cargas de 100 a 110 kN antes de fallar en la esquina de la placa de carga. En comparación con la malla electrosoldada falló a 40 kN aproximadamente.

#### ■ **SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA**

El sostenimiento en minería subterránea es muy nea es muy importante, ya que por la naturaleza del trabajo toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos, inestabilizados que son producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe de redistribuir sus fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con

el refuerzo o el sostenimiento adecuado, considerando el tipo de rocas, fallas con relleno, fallas abiertas.

En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo, donde se reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger a las personas de accidentes y daños a los equipos.

### **Selección entre refuerzo y soporte.**

Existe una confusión entre lo que es un soporte de roca y un refuerzo de roca.

- Refuerzo de roca generalmente consisten en sistemas de empernado o cables que proveen un refuerzo a la masa rocosa aumentando la resistencia friccional entre bloques que la componen.
- Soporte, consistente en cerchas de acero o concreto, shotcrete o cuadros de madera, son diseñados para estabilizar la masa rocosa mediante el control del colapso progresivo o deformación de la misma.
- En términos simples se dice que el refuerzo en un sistema “activo” mientras que el soporte es uno “pasivo”.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- a. **Deformación.** - Modificación que sufre una roca o material por acción de uno o más esfuerzos.
- b. **Deformación elástica.** - Cuando una roca se deforma por acción de un esfuerzo, y al cesar dicho esfuerzo la roca o material deformado recupera su forma original.
- c. **Deformación plástica.** - cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar dicho esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación.
- d. **Desplazamiento.** - Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.
- e. **Detrítico.** - roca formada por fragmentos o detritus provenientes de la erosión de rocas pre-existentes.
- f. **Esfuerzo.** - fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero.  
**Sostenimiento.** - Son los procedimientos para soporte de rocas, para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de resistir las cargas que producen las rocas cerca al perímetro de la excavación subterránea.
- g. **Labor.** - Nombre general para todos los trabajos mineros subterráneos, tales como: túnel, socavón, galería, chimenea, sub nivel, rampa etc.
- h. **Geomecánica.** - Es la ciencia aplicada al comportamiento mecánico del macizo rocoso al campo de fuerzas de su entorno físico.
- i. **Perforación.** - Es una operación mecánica que consiste en realizar taladros en el macizo rocoso o mineral.
- j. **Perno split set.**- Son pernos de anclaje que se utiliza en el sostenimiento de labores mineras subterráneas para mantener la estabilidad del macizo rocoso.

- k. **Malla electro soldada.** - Son estructuras de acero, planas formadas por barras de acero dispuestas en forma cuadrada y electrosoldadas por fisión es decir sin aporte de material en todos los puntos del encuentro, estos productos son fabricados bajo la norma IRAM-IAS U 500-06, es decir laminado en frio con una tensión de fluencia característica de 500 MPa.
- l. **Falla.** - Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas que afecta al macizo rocoso ocasionando desplazamiento a lo largo de la falla.
- m. **Fisura.** - Es la grieta, rotura o fractura que se presenta en la superficie del macizo rocoso.
- n. **Macizo rocoso.** - Es el conjunto de bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades que se presenta en la naturaleza.
- o. **Costos.** - Son los recursos económicos que se utilizan para la producción de bienes o servicios.
- p. **Blocosidad.** - Del macizo rocoso, definida en forma indirecta mediante variables asociadas al grado de fracturamiento y/o espaciamiento de las estructuras del macizo rocoso.

## **2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

El diseño geotécnico determina las dimensiones del crucero XC 100 en la Mina Shalca.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

Se pudo terminar que el método de corte y relleno ascendente es inviable por el tipo de roca en el crucero XC 100 en la Mina Shalca.

Se logró definir las características del macizo rocoso y se obtuvo según el modelamiento, el máximo de abertura del tajeo para control de cajas.

## **2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

Se estudian cada una de las variables, las que se correlacionarán y compararán. Se identificaron las siguientes variables:

### **2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES:**

Dimensiones del crucero XC 100 en la Mina Shalca.

### **2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

El diseño geotécnico

### **2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES:**

Alteración del macizo rocoso: Alteraciones que se producen en el macizo rocoso por causa del método de perforación.

## **2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES**

Crucero XC 100 es una obra minera subterránea que se desarrolla para intersectar una veta, de un rumbo perpendicular a la dirección de las vetas principales.

## **CAPÍTULO III:**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El proyecto a desarrollar está basado en tres tipos: exploratorio, descriptivo y explicativo.

#### **3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

- A. Exploratorio: Para ello se obtendrán la mayor cantidad de datos de campo de las estructuras que nos servirá para diseñar el crucero.
- B. Descriptiva: Descripción detallada de los macizos rocosos.

C. Explicativa: Definiremos las causas y efectos que implican el diseño del cruceo.

La metodología es parte de la lógica que estudia los métodos y sus formas lógicas especiales para la investigación. (Garro Ayala, M.S.2009).

Para el presente trabajo de investigación se ha requerido básicamente del análisis muy detallado de la base teórica y antecedentes del depósito, los cuales ayudaron en el entendimiento de las estructuras del macizo rocoso hasta encontrar una estabilidad que no permita acceder hacia la zona de mineralización y su posterior extracción, la parte más importante consistió en aplicar los conocimientos y técnicas modernas y softwares que nos ayudaron a entender las características del macizo rocoso al ser afectado al cambio en la distribución de sus esfuerzos por la presencia de labores mineras en su interior.

1) Método de Logueo Geológico:

Se tomará las fotografías, RQD, muestreo de densidad, y muestreo de cores, todos estos procedimientos que se realiza de acuerdo a los protocolos, cumpliendo con los estándares de calidad y confiabilidad que demanda la corporación.

2) Petrografía:

Se realizará la descripción macroscópica y microscópica de los diferentes tipos de roca sedimentarias con y sin mineralización. Todos estos procedimientos que se realiza de acuerdo a los protocolos, cumpliendo con los estándares de calidad y confiabilidad que demanda la corporación.

### 3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se adecuó a los propósitos de investigación exploratorio, debido a que carece de información, sin embargo, es pertinente resaltar que las Investigaciones Exploratorias no buscan establecer conclusiones o preceptos sobre el objeto abordado, tiene como objetivo genera hipótesis, que estimulen el desarrollo de una tesis elaborada, en búsqueda como objetivo desarrollar resultados y conclusiones.

### 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población en el estudio son los macizos rocosos del distrito minero y las muestras serán tomadas exactamente en la zona donde se realizará la construcción del cruceo.

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

En base al mapeo geológico existente se identificarán la zona de interés, en donde se realizará los mapeos a detalle, siguiendo los protocolos como la limpieza, delimitación, selección, toma de datos y muestras.

Se realizará columnas estratigráficas que nos servirán para diferenciar las facies litológicas y mineralógicas.

- **Registro y codificación de datos:** Para seleccionar los diferentes datos y muestras, se recolectarán muestras de roca, tanto de superficie como de los diferentes sondajes DDH; la recolección estará orientada a las zonas de interés económicamente rentable.

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

Se entiende por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.

Para el recojo de información se utilizó los siguientes instrumentos: Fuentes de información académica en bibliografías, internet. Comunicación con los ingenieros geotécnicos con experiencia, el cual es una guía para alimentar los conocimientos al diseñar un crucero y correlacionar con la ayuda de softwares mineros, realizando simulaciones y analizando el comportamiento de la calidad del macizo rocoso, ayudando a determinar su composición, centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma con relación a la mineralización económica que se presenta para su correcta extracción.

Técnicas Analíticas e Interpretación de toda la información obtenida en las diferentes etapas de Trabajo tendrán que pasar por un filtro de aprobación.

- Calculo de esfuerzos y deformaciones (**Phase2**).

### 3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico de datos se realizó a través del software Phase 2 versión 5.0 de Rocsciencia, el cual nos permite interactuar mediante simulaciones sobre las dimensiones en la apertura de un tajeo y relacionado a su factor de seguridad al reacomodo de toda la estructura, de donde se obtiene stage's, el cual nos muestras las zonas más estables o más débiles, según sea el avance.

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

La validación y confiabilidad de los instrumentos cumplen los requerimientos de calidad para poder realizar las simulaciones del diseño del crucero ya que cuentan datos reales de los mapeos geomecánicos.

### **3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA**

Se ha cumplido con realizar un adecuado y correcto procedimiento de recolección de información, el cual nos ha servido para realizar el análisis e interpretación de toda esta información; cumpliendo las normas establecidas que exigen en un correcto trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO IV:**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO**

##### **4.1.1. UBICACIÓN**

Políticamente el proyecto de exploración Shalca está ubicado en el distrito de Pacaraos, provincia de Huaral, departamento de Lima, a una altura que varía entre los 3,900.0 y 4,800.0 m.s.n.m. Geográficamente se ubica en las coordenadas UTM:

- Norte: 8'770,900.0
- Este: 320,100.0

#### 4.1.2. ACCESIBILIDAD

La ruta para acceder hasta el proyecto será por vía terrestre. Existiendo tres vías, desde la ciudad de Lima hasta el proyecto de exploración Shalca, teniendo los siguientes recorridos (Ruta 1, Ruta 2 y Ruta 3).

RUTA 1: Distancia 180 Km en 5:00 horas

DE	A	VÍA
Lima	Huaral	Carretera asfaltada
Huaral	Pacaraos	Carretera afirmada
Pacaraos	Proyecto Shalca	Trocha carrozable

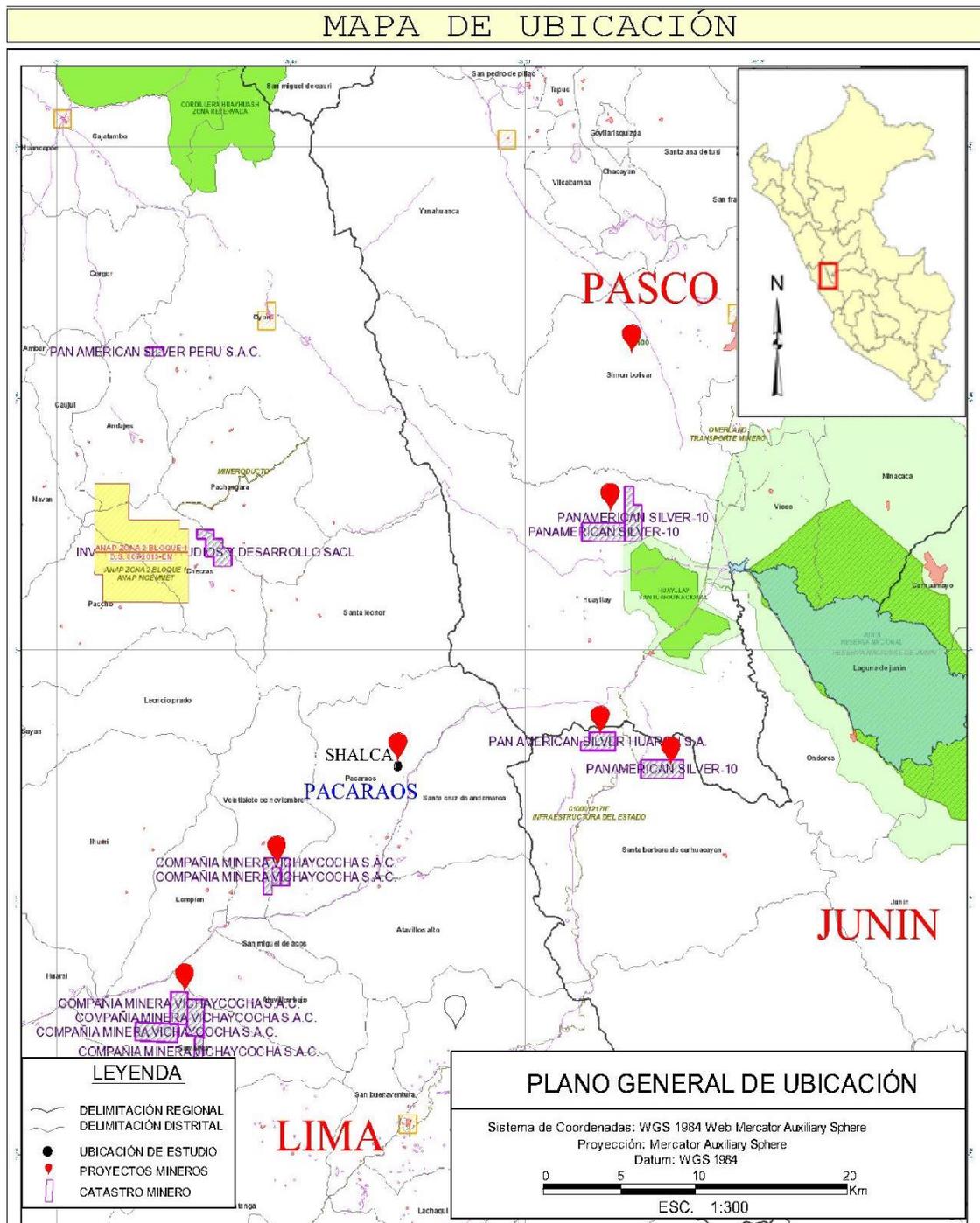
RUTA 2: Distancia 259 Km en 7:00 horas.

DE	A	VÍA
Lima	La Oroya	Carretera asfaltada
La Oroya	Cerro de Pasco	Carretera asfaltada
Cerro de Pasco	Animón	Carretera afirmada
Animón	Pacaraos	Trocha carrozable
Pacaraos	Proyecto Shalca	Trocha carrozable

RUTA 3: Distancia 344 Km en 9:00 horas.

DE	A	VÍA
Lima	Canta	Carretera asfaltada
Canta	Animón	Carretera afirmada
Animón	Pacaraos	Trocha carrozable
Pacaraos	Proyecto Shalca	Trocha carrozable

Figura 8.  
Mapa de ubicación



#### 4.1.3. RESEÑA HISTÓRICA

La mina de Shalca ha sido trabajada antiguamente para obtener minerales polimetálicos, primero de forma artesanal, para posteriormente estar a cargo de Sociedad Minera Río

Pallanga que junto con la Mina Santa Rosa son quienes desarrollaron parcialmente la parte superior de la mina desde hace 60 años aproximadamente.

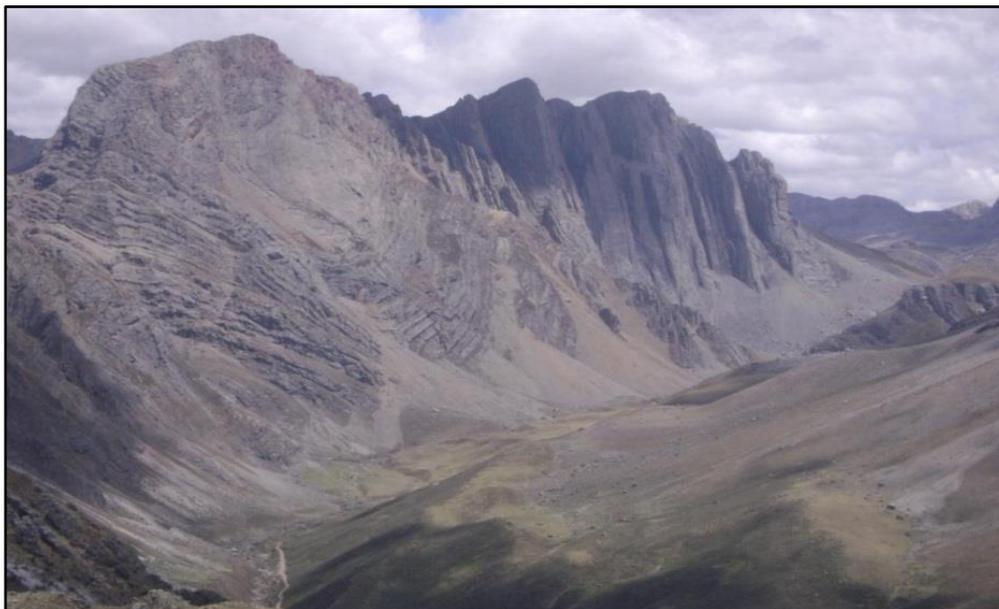
A partir de año 2006 el proyecto es adquirido por la Compañía Minera Volcan S.A.C., iniciando algunos trabajos de exploración superficial y posteriormente se inicia trabajos de reconocimiento con laboreo subterráneo, rehabilitando y dando estabilidad a los niveles superiores. Estos niveles superiores han sido muestreados y mapeados, obteniendo resultados favorables. Además de haber realizado perforación diamantina que suman los 1900 m, todo ello dentro de esta etapa de exploración.

#### **4.1.4. GEOMORFOLOGÍA**

El área de estudio se encuentra en la unidad geomorfológica de Puna, superficie de erosión (glaciación pleistocénica) que esencialmente es una penillanura cuya altitud oscila entre los 4200 y 5000 msnm.

En la zona de estudio la superficie Puna de un modelado glacial está afectada por la etapa posterior de erosión tipo Cañón, siendo cortada por laderas abruptas de 2000 m o más en las márgenes de los ríos.

*Figura 9.  
Cerros con laderas abruptas.*



La morfología abrupta del sector está definida por la presencia de unidades competentes en el sector, tal es el caso de las formaciones Chimú y Jumasha ubicados en los núcleos de los anticlinales y sinclinales respectivamente.

#### **4.1.4.1. DRENAJE**

El drenaje regional es de diseño dendrítico (semejante a las ramificaciones), en el área local el drenaje esta entre las quebradas Huanin y Huayla, los cuales son drenados hacia el Río Shipra, para que finalmente pueda desembocar en el Río Chancay que es perteneciente a la vertiente del Pacífico. La altitud promedio del área de estudio es de 4,020.0 m.s.n.m.

#### **4.1.5. ASPECTOS GEOLÓGICOS**

##### **4.1.5.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

Proyecto de Exploración Shalca se encuentra sobre formaciones Jumasha y Pariatambo, identificándose dos tipos de rocas, las metamórficas que están

mayormente emplazado en las ortocuarcitas y cuarcitas de la formación Chimú y los productos efusivos volcánicos como tobas y lavas andesíticas del Grupo Calipuy, sobre Cuaternario.

a) Formación Chimú

Constituye una unidad de potencia constante en el Perú central. Generalmente tiene entre 500 y 700 m de espesor, dentro del área de estudio se presenta invariablemente en anticlinales que pueden estar o no fallados.

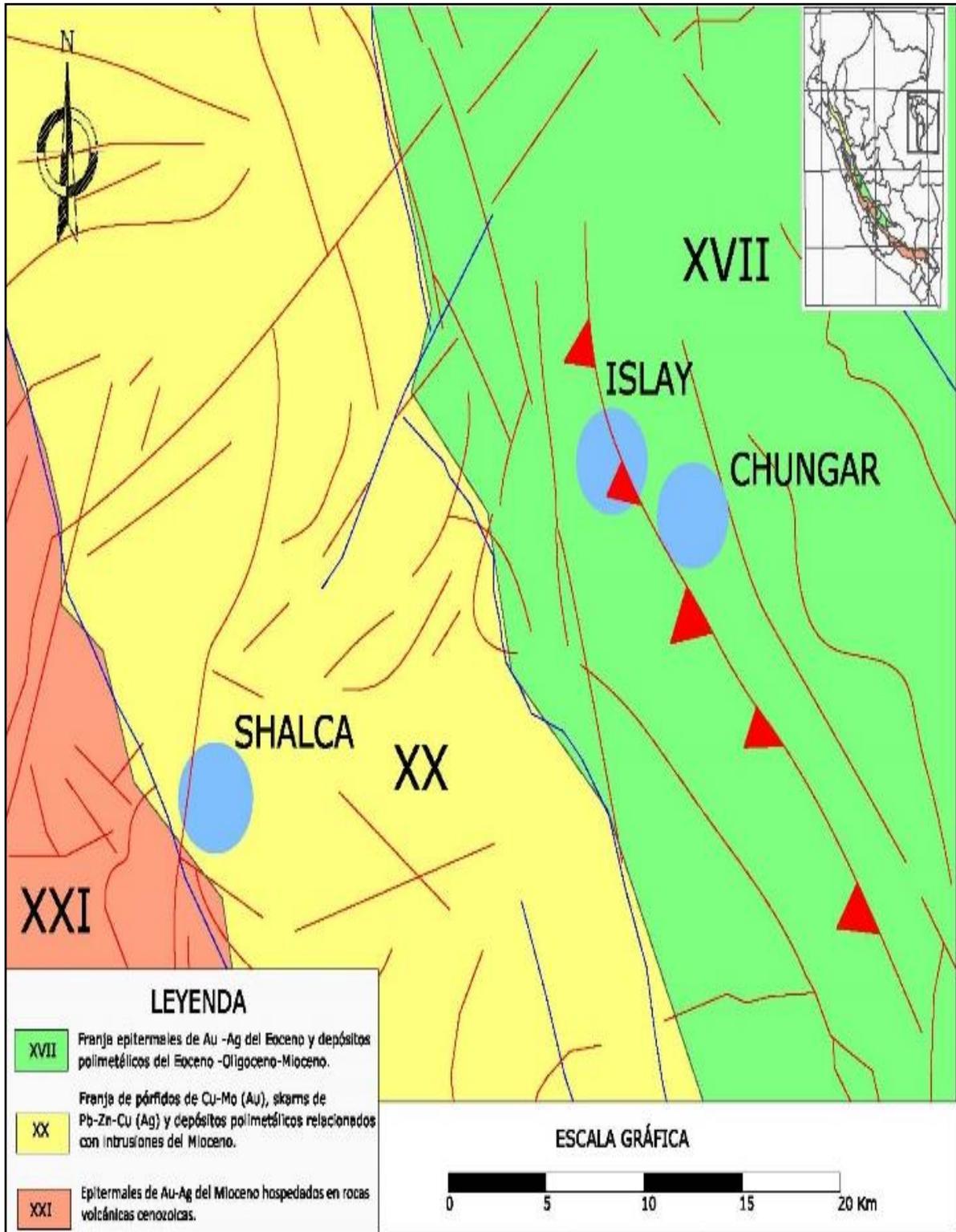
Litológicamente la formación consiste de una ortocuarcita de grano medio, la que, sin embargo, ha sido recristalizada, teniendo en muestra de mano el aspecto general de una cuarcita metamórfica. Dentro de las capas arcillosas transicionales a la formación subyacente, aparecen lechos de carbón, siendo difícil mapear el contacto entre las dos unidades. Esta formación se presenta en bancos de más o menos 3 metros de espesor, con estratificación cruzada y muy fracturada y diaclasada. Debido a su naturaleza masiva, siempre constituye las partes escarpadas de los cerros, y cuando estos están modelados íntegramente en esta formación presentan una topografía característicamente abrupta. Esta formación pertenece al valanginiano del cretáceo inferior.

b) Volcánico Calipuy

Esta unidad yace en gran discordancia sobre la secuencia plegada del cretáceo. En esta zona la Formación no es potente, variando entre unos 500 m, lo que demuestra que ha sido afectada por una gran actividad erosiva si se hace una comparación regional, corroborando por remanentes que permiten inferir que

anteriormente debió cubrir, por lo menos, gran parte de la zona. Su descripción se ha hecho en la parte correspondiente a la zona de los volcánicos de la sierra.

Figura 10.  
Mapa Metalogénico



#### 4.1.5.2. GEOLOGÍA LOCAL

Desde la perspectiva de la geología local, el Proyecto de Exploración Shalca esta mayormente emplazado en las ortocuarcitas y cuarcitas de la formación Chimú y la secuencia volcánica (tobas y lavas andesíticas) del Grupo Calipuy y Cuaternario.

En la zona se encuentran cuarcitas y areniscas cuarcíticas a ortocuarcitas de grano medio a grueso, con estratificación cruzada muy fracturada y diaclasada, alternadas con lutitas gris oscuras y areniscas grises a gris oscuras de grano fino y medio en estratos de 0.05 a 0.10 m. de potencia, con lentes de carbón antracítico, toda esta secuencia tiene un rumbo general de N 30° W y buzamiento de 40° a 75° NE - SW.

Esta formación constituye zonas escarpadas con una topografía abrupta, la misma que abarca aproximadamente un 35% del área total del proyecto.

En el sector oeste del área se observan extensos afloramientos de aglomerados, tobas, lavas volcánicas de composición andesítica, con tonalidades gris verdoso, beige y pardo rojizo, presentan una pseudo estratificación entre fina mediana y gruesa de rumbo N 30° W y buzamiento entre 45° a 60° SW, que sobreyacen a las cuarcitas de la formación Chimú.

Generalmente las lavas andesíticas tienen una textura afanítica, los afloramientos principalmente se presentan a manera de mantos.

En el área estudiada no se han identificado centros volcánicos que alimentaron al Volcánico Calipuy.

Finalmente, el cuaternario se encuentra presente cubriendo gran parte del área, dificultando así el seguimiento en superficie de estructuras aflorantes.

#### 4.1.5.2.1. LITOLOGÍA

En términos generales se han detectado cuarcitas, areniscas, lutitas negras y carbón de la formación Chimú pegadas en el anticlinal asimétrico Shalca, e intruídas por apófisis andesíticos. Además, se tienen tobas andesíticas del grupo Calipuy, mostrando una pseudo estratificación, el porcentaje de afloramiento en la zona alcanza un 80%; el resto está cubierto por depósitos cuaternarios o vegetación silvestre.

a) Las cuarcitas (Ki- fch-c):

Aparecen intercaladas en toda la secuencia siendo especialmente abundante en el extremo Noreste y Sureste del área cartografiada. Allí los bancos poseen potencia de 0.20 m a 2.00 m. Con granulometría fina. Su coloración es blanco – rosácea y constituye crestones resistentes al intemperismo.

b) Las Lutitas negras (Ki-fch-I):

Se han cartografiados lutitas negras y carbón bituminoso con abundante diseminación de pirita. Están expuestas principalmente en ambos flancos del anticlinal asimétrico con potencias de 0.10m a 20.0m y colores de intemperismo gris oscuro.

c) Las areniscas (Ki-fch-a):

En esta unidad se han agrupado los estratos de areniscas grises que caracterizan el grueso de las secuencias sedimentarias expuestas en el proyecto Shalca. Se trata de horizontes delgados que forman pliegues intraformacionales de una

potencia de 0.20 metros a 0.50 metros. Las areniscas son cuarzo - feldespática, de granulometría fina a media.

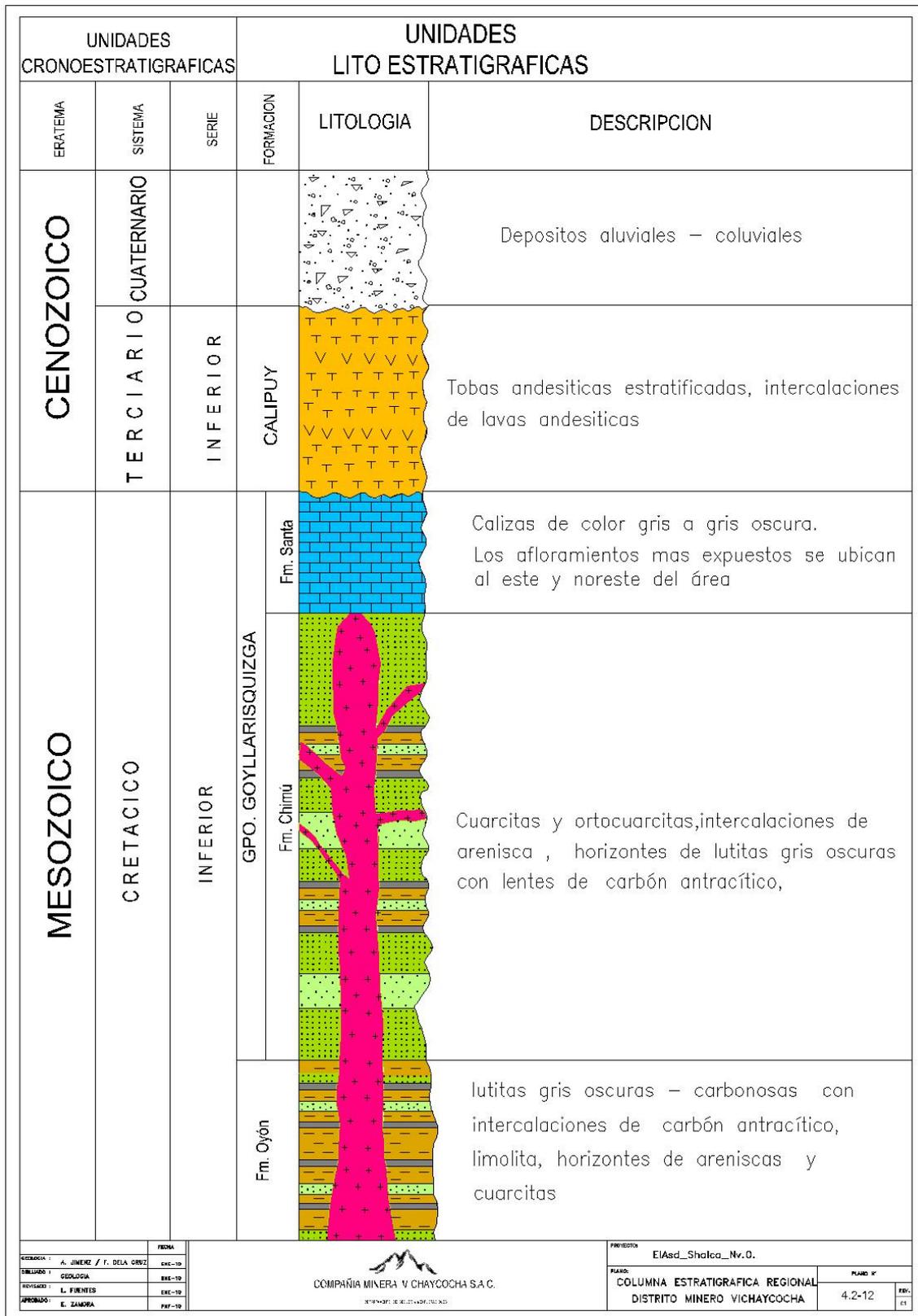
d) Las tobas andesíticas (Tim-tb):

Aflora en el extremo Oeste y Suroeste del proyecto Shalca, sobre yacen a las cuarcitas de la formación Chimú. La textura de las rocas piro plásticas es esencialmente ocoita con presencia esporádica de fiambres de una longitud máxima de 0.50 m.

e) El stock hipabisal andesítico (Tim-an):

Aflora principalmente al Noreste y al Noroeste en el proyecto Shalca, allí sobre todo el eje del anticlinal asimétrico se aprecian pequeños afloramientos andesíticos. En resto del área aparecen numerosas apófisis pequeños. La textura de las rocas hipabisales es característicamente afanítica con líticos subangulosos.

Figura 11.  
Columna estratigráfica



#### **4.1.5.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

En la zona de estudio se presenta los elementos estructurales siguientes: la orientación de los estratos, pseudo estratos, fallas geológicas, pliegues y discontinuidades. La influencia de los planos de discontinuidad sobre la estabilidad del macizo rocoso en las excavaciones depende de su orientación, número de familias, espaciamiento y características entre sí.

Las discontinuidades y sus características son los parámetros que ejercen mayor influencia en las propiedades del macizo rocoso, por lo que, en las estaciones micro tectónicas se consideran estos aspectos de gran importancia, juntamente con la rugosidad, continuidad, separación, alteración de las cajas y propiedades del relleno.

##### **A. ESTRUCTURAS ESTRUCTURALES**

Se tiene el anticlinal asimétrico, los sistemas de fallamiento, el sistema de fracturamiento y el sistema de filones hidrotermales.

##### **B. EL ANTICLINAL ASIMÉTRICO**

El yacimiento se emplaza dentro de un anticlinal asimétrico con orientación del plano axial promedio N 40° W y buzamiento entre 50 a 58° SW y 62° a 70° NE.

El flanco NorEste presenta una secuencia monótona de cuarcitas, areniscas, lutitas y carbón con rumbo de N 40° a 45° W y buzamiento promedio de 65° NE y ondulaciones suaves.

Por el contrario, el flanco Suroeste presenta todo el espectro litológico anteriormente descrito con rumbo de N 40° a 45° W y buzamiento promedio de

48° SW, con una cubierta de todas andesíticas que presentan una pseudo estratificación de rumbo N 35° W y buzamiento promedio 35° SW.

#### C. SISTEMAS DE FALLAS

Se han reconocido dos sistemas, un primer sistema posee un rumbo de N 40° - 55° W y buzamiento 58° - 80° NE concordante con el sistema andino y de mayor predominancia en el proyecto Shalca. El segundo sistema de fallamiento de rumbo N45° - 70° E y buzamiento 78° - 86° SE, el cual disloca al anticlinal asimétrico Shalca. También se observan un fallamiento dextral en los extremos del proyecto Shalca y un fallamiento sinextral en la parte central del mismo.

#### D. SISTEMA DE FRACTURAMIENTO

De rumbo N 60° 80° E y buzamiento 70° - 85° SE, el cual es transversal al rumbo de los estratos.

#### E. SISTEMA DE FILONES HIDROTERMALES

Shalca es un yacimiento tipo filoniano. Se reconocieron 2 sistemas de filones hidrotermales asociados a la mineralización económica, uno con una longitud de 300 metros de largo, altura de 200m, rumbo NW –SE y buzamiento de 70 grados al SW. El primer sistema de rumbo N 10° W y buzamiento 79° SW, paralelo al eje del anticlinal asimétrico. El segundo sistema de rumbo N 70° W y buzamiento 48° SW el que correspondería a un fallamiento tensional.

#### **4.1.5.4. MINERALIZACIÓN**

Se culminaron los trabajos de evaluación superficial concluyéndose que existe en Shalca una estructura vetiforme de considerable recorrido, aunque de moderada potencia. No obstante, las leyes de zinc son altas.

Por lo tanto, la mineralización en el Proyecto Shalca, es de tipo de relleno fisural (vetas), polimetálica. Una de las características esenciales para la identificación de la veta Infalible en la Mina Shalca son las rocas dacíticas a andesíticas emplazadas básicamente en un anticlinal de la Formación Chimú, zona favorable para la mineralización con importantes leyes de Ag, Zn, Pb y Cu. La mineralización principal de mena es galena, esfalerita, la galena generalmente se presenta masiva y ocasionalmente en pequeños cristales cúbicos diseminado y en vetillas, de la misma forma la esfalerita ocurre en cristales, medios diseminados y masiva. La ganga es generalmente cuarzo, masivo y en cristales. La veta está emplazada en tobas y cuarcitas brechadas.

La alteración predominante en las estructuras es la argilización. La argilización moderada y fuerte está presente en las cajas (tobas andesíticas) acompañadas con diseminación de piritita y vetillas de cuarzo hialino y óxidos de Fe y Mn.

## **4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.2.1. DISEÑO GEOTÉCNICO DEL CRUCERO XC 100**

Para realizar el diseño del cruceo 100, utilizaremos los modelos geológico y geomecánico y el modelo geomecánico de comportamiento.

## **4.2.2. MODELO GEOLÓGICO**

### **4.2.2.1. RESUMEN SECUENCIAL DE EVENTOS DEL YACIMIENTO**

Se manifiesta en el área un anticlinal asimétrico, parcialmente volcado y su respectivo sinclinal que tienen orientación andina. Aquí es donde se encuentra toda la secuencia estratigráfica de la zona predominando en los núcleos sinclinales las formaciones carbonatadas superiores de la secuencia (Pariatambo y Jumasha) y en los núcleos anticlinales la base del grupo Goyllarisquizga, la formación Chimú, estas estructuras se encuentran afectados por un sistema de fracturamiento y fallamiento con orientación andina y otro normal a este sistema, por donde se han dado los emplazamientos de las estructuras mineralizadas, teniendo a la estructura mineralizada principal (cuerpo subvolcánico) en el núcleo del anticlinal presente, se asume esta interpretación en base a los datos de los sondajes realizados en el sector y a las evidencias presentes en el campo.

Esto describe el grado de fracturamiento y su influencia en el macizo rocoso del área en estudio, para los trabajos de explotación y preparación programados.

Los controles advertidos más importantes de la mineralización en Shalca son el aspecto estructural y el litológico, la litología volcánica es la favorable para la mineralización, en tanto que la secuencia sedimentaria de Chimú presenta menor oportunidad de relleno de mineral al no formar realmente una veta sino más bien un lineamiento brechoide de cuarcitas fragmentadas rellenas irregularmente por mineralización irregular.

#### **4.2.2.2. METEORIZACIÓN**

Destrucción de rocas sólidas a causa de fuerzas químicas, físicas o biológicas, próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, que atacan la roca de modo intenso dada las temperaturas extremas en superficie atacando alteraciones y debilidades en el sistema de estratificación por las continuas intercalaciones de paquetes de carbón – lutita, creando circuitos de fácil acceso de flujos a interior mina.

#### **4.2.2.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL**

La característica distintiva de la alteración hidrotermal, que involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes atravesando las rocas, es la importancia del fluido hidrotermal para transferir constituyentes y calor, de esa forma han afectado en mayor grado a la roca encajonante. Estas ocurrieron durante la precipitación de las soluciones mineralizantes, fácilmente reconocidas en las proximidades de las vetas. La alteración argílica es moderadas en las tobas volcánicas; la alteración propilítica es moderada (en rocas andesíticas tobaceas con coloración verde oscura, tufo brecha).

### **4.2.3. MODELO GEOMECÁNICO**

#### **4.2.3.1. RASGOS ESTRUCTURALES MAYORES (DISCONTINUIDADES)**

En la ventana geológica del Proyecto Shalca, se observan tres alineamientos principales:

- 1° Sistema: Rumbo N50°E.
- 2° Sistema: Rumbo N60°W.

- 3° Sistema: Rumbo E-W

#### **4.2.3.2. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

Punto #3: Valores obtenidos empíricamente hasta se realicen las pruebas de carga en laboratorio para muestras de roca tipo

De acuerdo a los tipos se presenta de la siguiente forma:

##### **A. ROCAS VOLCÁNICAS**

Textura afanítica, ocasionalmente porfirítica con disseminaciones de pirita fina en el entorno de la mineralización. Su resistencia compresiva uniaxial (RCU) empíricamente puede llegar a: 25 – 50 Mpa.

##### **B. AGLOMERADO**

Están conformadas por fragmentos angulosos y heterométricos; se presume bajo el modelo geológico que son grandes paquetes de xenolitos que se desprendieron durante un evento tipo Horst-graben. Su resistencia compresiva uniaxial (RCU) empíricamente puede llegar a: 50 – 100 Mpa.

##### **C. CUARCITA**

Son paquetes silicificados producto de un metamorfismo de la arenisca. Se encuentra muy bien estratificada pero dentro de los intersticios de los planos generalmente presentan mantos de carbón o lutita bituminosa que actúan como material deslizante entre estrato y estrato. Su resistencia compresiva uniaxial (RCU) empíricamente puede llegar a 100 – 250 Mpa.

#### D. CARBÓN – LUTITA BITUMINOSA

Son paquetes que se presentan como intercalaciones entre las intercalaciones de otros paquetes ya existentes. Su resistencia compresiva uniaxial (RCU) empíricamente es de  $< 25$  Mpa.

#### 4.2.3.3. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Data tomada del “Estudio Hidrológico e Hidrogeológico – Proyecto Shalca”

La presencia de agua en el área de estudio esta originada principalmente por las precipitaciones pluviales. En superficie, las aguas de escorrentía discurren en su mayor porcentaje como avenidas superficiales, un porcentaje se infiltran por los depósitos cuaternarios que discurren hasta el contacto con las rocas volcánicas y por las fracturas hacia los niveles inferiores.

Se han identificado dos tipos de acuíferos, el fracturado localizado en la zona de exploración minera, en el que las formaciones geológicas se hallan muy fracturadas y otro acuífero cuaternario localizado en la zona baja del área de proyecto y muy cercano al curso del río Shipra, el mismo que recepciona las aguas subterráneas que proviene del acuífero fracturado.

La napa identificada en la zona del proyecto, tiene como recarga principal, las aguas de precipitación que ocurren en los periodos húmedos. Las intensidades de precipitación son interceptadas por la escasa vegetación y suelos con velocidades de infiltración que varían de moderada a alta. El acuífero identificado, es libre tanto el fracturado como el fluvio-glaciar – glaciar. El espesor del acuífero fracturado supera los 250 m, mientras que el de origen fluvio-glaciar tiene espesores que varían desde los 30m a 80 m, en promedio. Las profundidades antes mencionadas han sido determinadas de las perforaciones exploratorias con fines mineros y con

fines de instalación de 04 piezómetros. Debido al fuerte gradiente hidráulico que muestra el acuífero fracturado, la residencia de las aguas en las fracturas es corta, sin embargo, en el acuífero con material cuaternario, la presencia de aguas se prolonga durante todo el año.

### **4.3. PRUEBAS DE HIPÓTESIS**

#### **4.3.1. MODELO GEOMECÁNICO DE COMPORTAMIENTO**

Se define a través de varios criterios (clasificaciones) geomecánicas, las bases del modelo a determinar para definir los métodos de explotación a utilizarse en la mina Shalca.

Para establecer el modelo geomecánico de comportamiento a base de las características geológicas mencionadas (y reconocidas) se procede a establecer las siguientes pautas:

- Litología
- Geología Estructural
- Hidrogeología

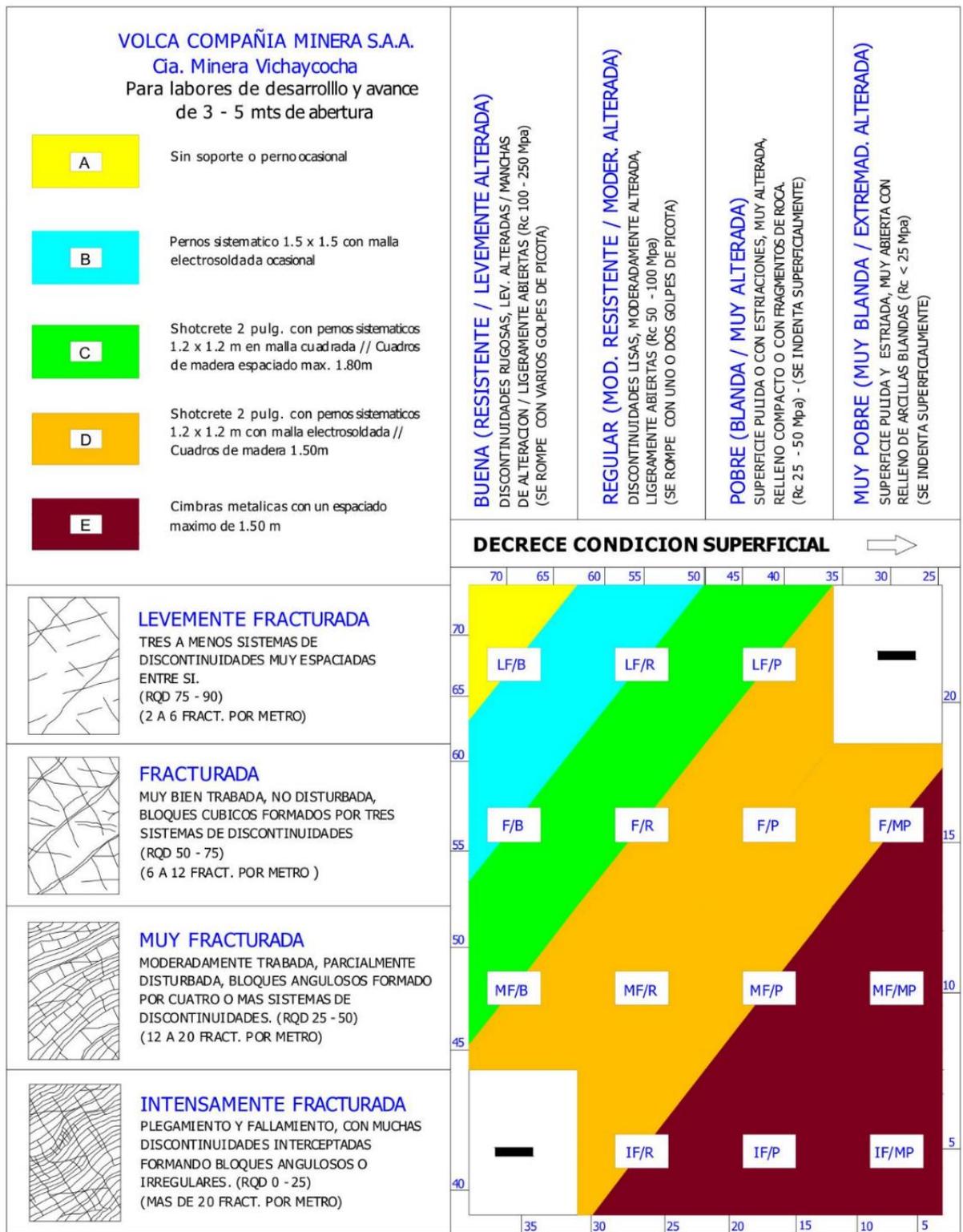
#### **4.3.1.1. DEFINICIÓN DEL RANGO DE VALORES CARACTERÍSTICOS DEL MACIZO ROCOSO**

Se reconoce a través de un monitoreo de pruebas, determinando los valores (Rangos mínimos y máximos) en RMR procediendo a simplificar la tabla base RMR<sub>89</sub> a mostrarse en las siguientes tablas.

Tabla 15.  
Tabla Matriz Geomecánica.

(GSI) MODIFICADO		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.		(se astilla con golpes de picota)				
(se astilla con golpes de picota)		(se rompe con varios golpes de picota)				
(se rompe con uno o dos golpes de picota)		(se indenta superficialmente)				
(se indenta superficialmente)		(se disgrega o indenta superficialmente)				
	<b>LEVEMENTE FRACTURADA</b> Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	95	90	85	80	75
	<b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b> Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	80	75	70	65	60
	<b>MUY FRACTURADA</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	65	60	55	50	45
	<b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b> Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)	50	45	40	35	30
	<b>TRITURADA O BRECHADA</b> Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	35	30	25	20	15
		20	15	10	5	0

Tabla 16.  
TABLA RMR89 (Adaptada Proyecto Minero Shallca) (en GSI)



#### 4.3.1.2. PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO (INFERIDOS)

Dadas las características particulares del proceso constructivo y el diámetro de excavación, adicionalmente se utilizó otros análisis geomecánicos, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos y cuantificar de manera práctica, las ventajas y desventajas de utilizar la misma.

Debido a la ausencia de parámetros del macizo rocoso obtenidos en laboratorio se genera valores a partir del terreno, realizando el mapeo geomecánico tradicional, y a base de la clasificación de Bienawsky 89, que da una estimación cercana a la real. De los cuales se obtiene los siguientes parámetros.

- **Nv 00 XC 100** (Tabla N° 15)

Esto para un tipo de roca cuarcita, de varios muestreos se obtiene un RMR89 entre 60-70. (Roca Tipo II)

- **Nv 00 XC 100:** (Tabla N° 16)

Con lo cual tenemos un valor promedio en el nivel de un RMR 40-50 como una roca tipo IIIB.

ESTE ÚLTIMO VALOR ES UTILIZADO PARA LA SIMULACIÓN EN EL METODO DE MINADO EN EL PUNTO #3, pues es la zona donde mineraliza el yacimiento.

Tabla 17.  
Tabla de mapeo geomecánico en roca cuarcita.

**DATOS DE MAPEO GEOMECANICO**  
**CIA. MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.**

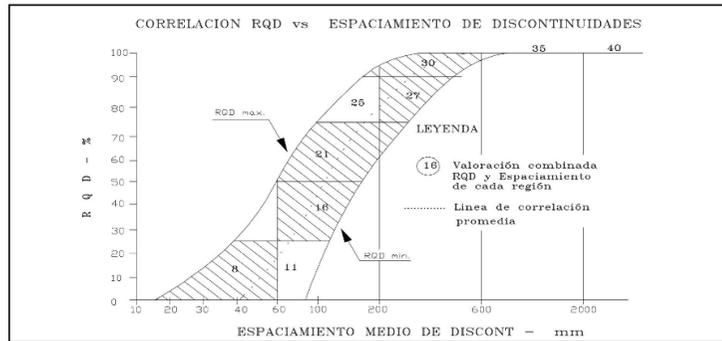
LUGAR: **MINA SHALLCA**  
NIVEL: **00**  
LABOR: **XC 100**

POR: **G. Pedraza**  
FECHA: **3-Aug-10**

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	Pto. 7B	TOPE	PARAMETRO					RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO					VALORACION	
E1	E-W	0	Pto. 7B	TOPE														
<b>TIPO DE ROCA</b>							FRECUECIA FRACTURA											
A	%	B	%	C	%	Nº Fract. / ml.	R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)					VALORACION						
Cz	80	Ca	20				ROD %											
TIPO							RELLENO		ESPACIAMIENTO (m)									
ESTRUC.	RUMBO, DIR. BUZAM.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	TIPO	ESPESOR (mm)	COMENTARIOS	CONDICION DE JUNTAS											
F1	N65E	45NW	0.1 - 0.2 m	L	<10	Perst: 3-10m	PERSISTENCIA											
D1	N50E	55SE	0.5-0.6 m	C	<10	< 1 m	ABERTURA											
Fn1	N10E	15NW	0.2-0.4	L	>10	> 10 m	RUGOSIDAD											
							ALTERACION		AGUA SUBTERRANEA									
									CORRECCIONES					VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =				
														VALOR CORREGIDO RMR =				
									CLASE DE MACIZO ROCOSO									
									RMR									
									DESCRIPCION									

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquitas de la muestra con el martillo	> 250

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0° - 20° CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO		EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO		AL EJE DEL TUNEL		
BUZAMIENTO	BUZAMINETO	BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO	
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon
L	Lutita
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	Diaclasa
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla

Tabla 18.  
Mapeo geomecánico en zona mineralizada.

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO  
CIA. MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

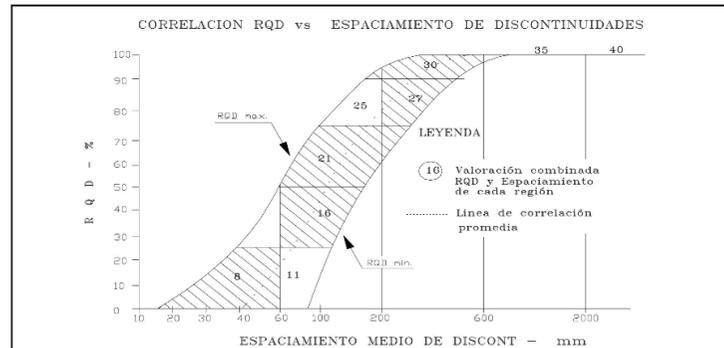
LUGAR: **MINA SHALLCA**  
NIVEL: **0**  
LABOR: **XC 100**

POR: **G. Pedraza**  
FECHA:

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																	
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALORACION							
E1	E-W	0	Pto. 12C	TOPE						VALOR ESTIMADO												
<b>TIPO DE ROCA</b>					<b>FRECUENCIA FRACTURA</b>																	
A	%	B	%	C	%	Nº Fract. / m.																
Min	80	Ca	20																			
TIPO	ORIENTACION		RELLENO		COMENTARIOS																	
ESTRUC.	RUMBO, DIR. BUZAM.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	TIPO	ESPESOR(mm)																	
F1	N70E	68NW	0.1 - 0.2 m	L	<10	Perst: 3-10m																
D1	N40E	82SE	0.5-0.6 m	L	<10	< 1 m																
Fn1	N10E	15NW	0.2-0.4	L	>10	> 10 m																
					R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)					>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7					
					RQD %					90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)		25-50 (8)	X	<25 (3)	2	8				
					ESPACIAMIENTO (m)					>2 (20)	0.6-2 (15)	X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10					
					CONDICION DE JUNTAS					PERSISTENCIA					<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	2
										ABERTURA					Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4
										RUGOSIDAD					Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
										RELLENO					Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	1
										ALTERACION					Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
					AGUA SUBTERRANEA					Seco (15)	Humedo (10)	X	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	8					
										VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					46							
										CORRECCIONES					=		2					
										VALOR CORREGIDO RMR =					44							
										CLASE DE MACIZO ROCOSO												
					RMR					100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0								
										III REGULAR					IV MALA		IIIB					
										51-60		41-50		31-40		21-30						
										REGULAR(A)		REGULAR(B)		MALA(A)		MALA(B)						
					DESCRIPCION					I MUY BUENA		II BUENA		V MUY MALA								

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0°-20° CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO	
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon
L	Lutita
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla
Vol	Volcanico

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	Diaclasa
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla

GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de alteración en el material rocoso. Quizás lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica alteración. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

#### 4.3.1.3. MODELAMIENTO DE MINADO

Para determinar las aberturas máximas, con el fin de determinar el método de minado más acorde al tipo de roca existente, se emplea el criterio generalizado de Hoek – Brown

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

$\delta_1$  = es el esfuerzo mayor

$\delta_3$  = es esfuerzo menor.

$\delta_{ci}$  = es el esfuerzo compresivo uniaxial de la roca intacta.

$m_b$  = es el valor de la constante Hoek – Brown para el macizo rocoso.

“a” y “s” = son constantes que dependen de las características del macizo rocoso.

Se realiza la tabulación de toda esta data, a través del software Rock Lab v1.0, que generará los valores cercanos de  $\delta_1$  y  $\delta_3$ , además de los módulos de deformación de Young y Poisson, necesarios para correr la simulación.

Igualmente, el RMR (convertido a GSI) obtenido en el punto #3 es utilizado para esta simulación (que vendrá a ser la zona mineralizada para su minado)

El software Phase2 v 5.0 generara la simulación de las características del macizo rocoso obtenido.

## A. SIMULACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE MINADO CON EL SOFTWARE PHASE2 v 5.0

Para realizar el análisis de estabilidad con el software se ha realizado la simulación de secciones típicas, consentimiento de refuerzo respectivo para roca buena a regular. También el cálculo de factor de seguridad, con la finalidad de conocer el grado de estabilidad de la roca circundante a la excavación. Para la estabilidad del macizo rocoso, el programa nos debe calcular un factor de seguridad mayor de 1.00 en condiciones pseudo estáticas. En caso de que el factor sea menor, existe la evidencia de mayores esfuerzos tensionales que desestabilizara a la excavación y sostenimiento inadecuado. Se asumen anchos de minado promedio de acuerdo a la fórmula de aberturas máximas de acuerdo al RMR obtenido:

- **Abertura Máxima**

$$RMR = 35 \quad Q = \text{EXP}((RMR - 44)/9)$$

$$ESR = 2$$

Q = Índice de Barton

ESR = Relación Excavación – Soporte

3 – 5 Para labores mineras provisionales

1.7 - 2 Labores Verticales

1.6 Para labores permanentes, acueductos para plantas hidroeléctricas

$$H = 2.68$$

Se obtiene un máximo de abertura de  $H = 2.7$  m aproximadamente. Bajo esta abertura se simula el minado bajo el método de Corte y relleno ascendente. Esto se mostrará en tres Stage's:

- Donde vemos que los factores de seguridad están por muy levemente por encima de 1.04, teniendo un factor de seguridad acorde a las normas.
- Se simula un segundo corte, y es donde se manifiesta se caen todos los valores (principalmente de hastiales) a menos de un valor 0.x
- Se simula un tercer corte, confirmando la viabilidad de este método, cayendo todos los valores por debajo de 0.x, principalmente en hastiales.

Análisis de Estabilidad Para XC 100 a sección de 2.7 x 2.7 m. Para la simulación con el software Phase2 se ha realizado sin sostenimiento y con sostenimiento. Los cálculos han sido tomados para roca tipo II con RMR de 35 y los parámetros mecánicos del macizo rocoso como sigue:

Figura 12.  
Determinación del Factor de seguridad. - Stage #1

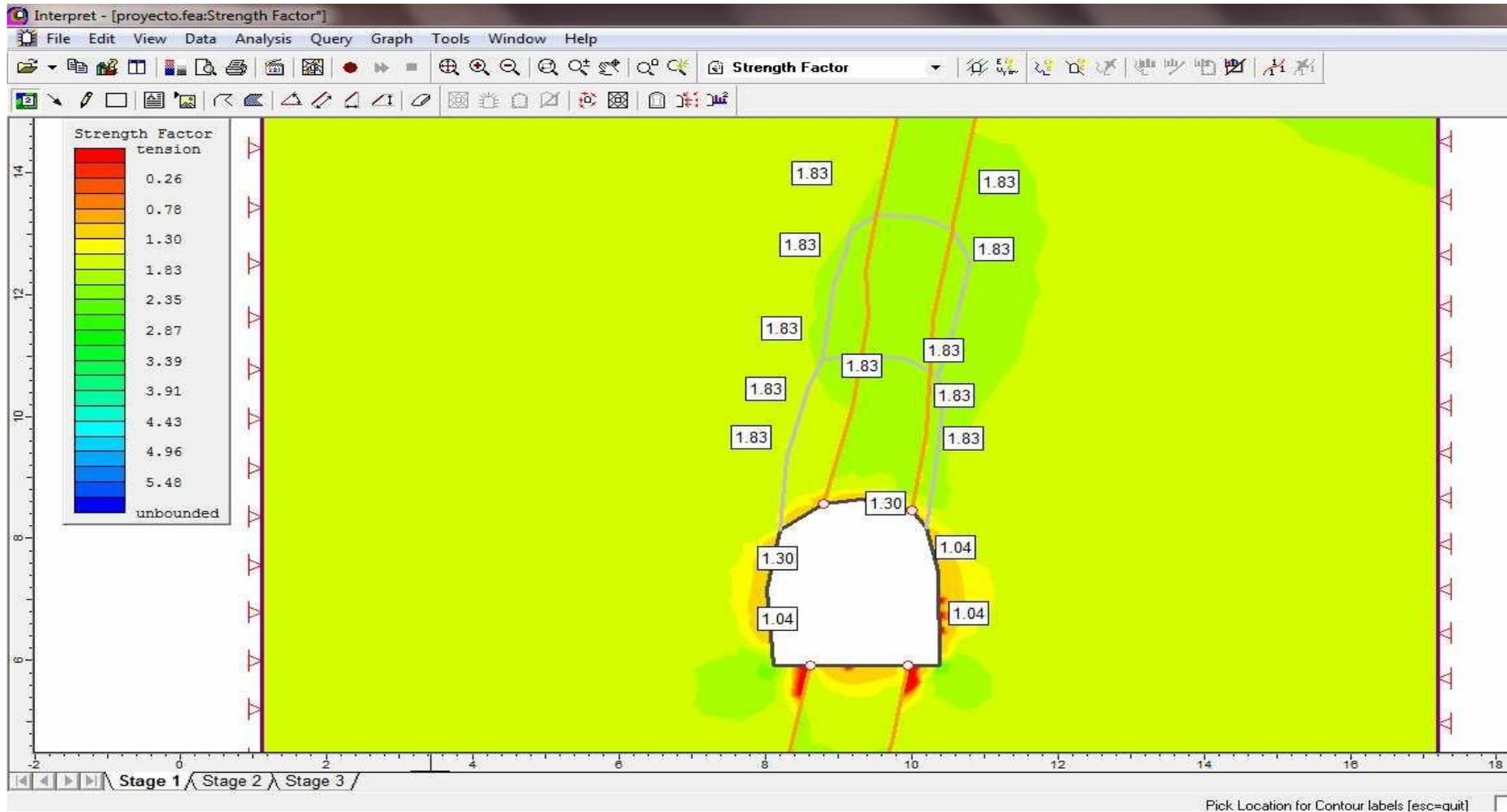
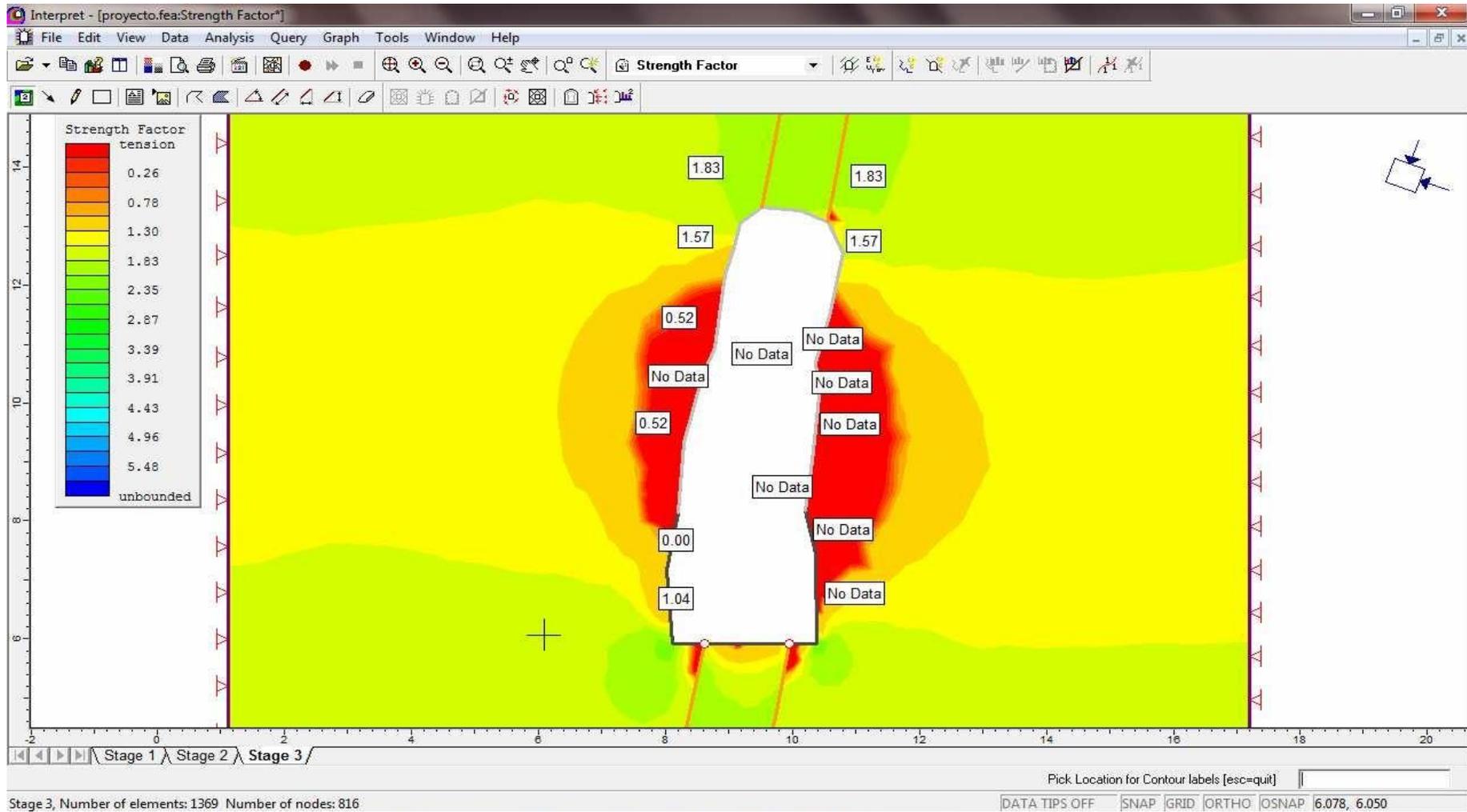




Figura 14.  
Máxima debilidad en los hastiales - Stage #3

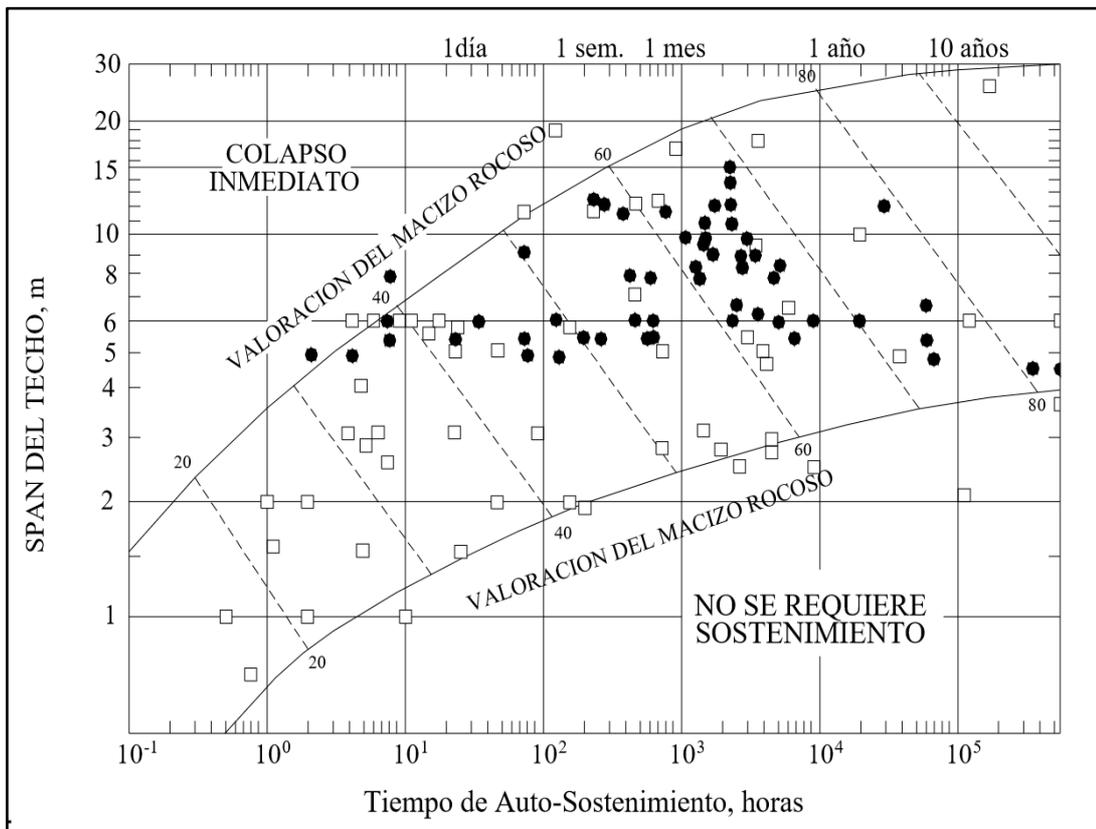


En resumen, el método de corte y relleno ascendente es inviable por el tipo de roca que se presenta, por lo que se recomienda el método de breasting, para mantener los valores de factor de seguridad por sobre el valor de 1.x como se confirma en el Stage #1. (Figura N° 14)

## B. DEFINICIÓN DE TIEMPO DE AUTOSOPORTE

Para casos generales, a definir, se define aberturas máximas y tiempos de auto soporte, a través del ábaco propuesto por Hoek a base de la clasificación RMR<sub>89</sub>, a mostrarse:

Tabla 19.  
Tabla para el cálculo de tiempo de autosoporte.



Para modelamientos más específicos y a más detalle respecto a estabilidad, aberturas máximas, y tiempo de autoaporte con pruebas de laboratorio, se calcula con el Modelo Grafico de Estabilidad desarrollado por Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992)

Por lo que se tiene los siguientes rangos:

*Tabla 20.  
Rango de Valores RMR para autosostenimiento*

RMR 20 – 40	< de 01 día (horas) para sostenimiento – sostenimiento inmediato.
RMR 40 – 50	01 - 04 días para sostenimiento.
50 – 60	04 – 10 días para sostenimiento
60 <	1 semana a más para sostenimiento.

### C. DETERMINACIÓN DE SOPORTE / SOSTENIMIENTO REQUERIDO

Según Barton 1995 y el modificado SPM de C. Vallejo.

Definido en el MODELO GEOMECÁNICO tenemos unos máximos de resistencia compresiva uniaxial de 200 Mpa y unos mínimos de 1-25 Mpa. El grado de fracturamiento se define netamente por la cantidad de fracturas por metro lineal en los 3 sistemas reconocidos existentes en el Proyecto Minero Shalca.

Tras definir los rangos de roca y equivalencias, de acuerdo a la calidad del macizo rocoso, se establece la tabla geomecánica propia base en GSI la cual es el **estándar de sostenimiento** (Para labores de aberturas máximas de 3 a 5 metros) mencionar:

El sostenimiento a colocar será de acuerdo a la valoración:

*Tabla 21.  
Valoración de sostenimiento.*

<b>LF/B</b> <b>(Sin factores influyentes)</b>	Sin soporte o colocación de perno puntual supervisado
<b>LF/B - F/B - LF/R</b>	Perno sistemático 1.5 x 1.5 (malla puntual supervisado)
<b>MF/B - F/R - LF/P</b> <b>(Sin factores influyentes)</b>	Shotcrete 2" con pernos sistemático 1.2 x 1.2 m
<b>MF/R - F/P - IF/P - MF/P - F/MP</b>	Perno sistemático 1.2 x 1.2 más malla electrosolada / Cuadro
<b>IF/P - MF/MP - IF/MP</b>	Cuadros de Madera / Shotcrete / Cimbras metálicas (A definir por Geotecnia / Operación)

#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En los siguientes apartados se realiza el análisis de resultados obtenidos y se describen las clasificaciones utilizadas, siendo una estrategia importante para verificar las hipótesis con el objetivo de asegurar la eficacia de los diversos elementos de soporte y refuerzo que se tendrían que instalar en el macizo rocoso.

## CONCLUSIONES

1. El método de corte y relleno ascendente es inviable por el tipo de roca que se presenta al avanzar el tajeo. Por lo que se recomienda el método de BREASTING, para mantener los valores de factor de seguridad superior al 1.0, es así como se confirma en el Stage #1 (Figura N° 12), donde nos muestran valores superiores desde el 1.04 hasta 1.83.
2. De acuerdo al modelamiento, con las características del macizo rocoso, se define un método con un máximo de abertura al span de 2.8m promedio y que definiría realizarse a través de la opción de BREASTING, esto para control de cajas principalmente.
3. Igualmente, a través del cálculo del tiempo de autosoporte, se obtiene un mínimo de exposición de acuerdo a la abertura generada, indicado dentro de las características del macizo rocoso.
4. La explotación implica no solo hacer económico el yacimiento, sino reducir la dilución consiguiendo ello con un adecuado trabajo en perforación y voladura por el tipo Breasting para conseguir el ancho de minado óptimo, para cumplir con los objetivos de la empresa, de esa manera se controlará la voladura para evitar la sobre rotura y elevación del terreno.
5. El sostenimiento se define luego de calcular las aberturas máximas, acorde a los estándares según BARTON 1995 y el modificado SPM de C. Vallejo, Para modelamientos más específicos y a más detalle respecto a estabilidad, aberturas máximas, y tiempo de autosoporte con pruebas de laboratorio.

6. El software Phase2 nos permite realizar una simulación real de la excavación, brindando la información adecuada para el tipo de sostenimiento a realizar. De esa manera se podrá conservar y controlar la estabilidad del macizo rocoso durante y después de la excavación.
7. Las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso de la veta, influyen en su comportamiento y calidad global. Las propiedades mecánicas de la roca corresponden a la resistencia irregular y el macizo rocoso presenta fracturamiento en bloques.
8. Es importante la aplicación de la Geomecánica, para el diseño de la voladura y las aberturas permisibles, el soporte definitivo debe ser evaluado constantemente. Los rendimientos están en relación directa a la eficiencia de la voladura.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe tener bastante cuidado en el control de la malla de perforación y carguío de taladros, para así controlar la fragmentación, sobre rotura y dilución.
2. Cuando se realice la simulación con El software Phase2, y se requiera importar información preexistente, se deben cerrar la ventana del programa que provee la información, sino se desactivaran las opciones de desarrollo.
3. La voladura controlada, en especial en las coronas, para lo cual se debe espaciar adecuadamente los taladros y distribuir mejor su carga explosiva.
4. En este método del Corte y Relleno Ascendente convencional, requiere un eficiente trabajo de ingeniería como se ha demostrado en el trabajo, exigiendo contar con una excelente toma de decisiones en lo concerniente a planeamiento, implementación, verificación y control de las operaciones de minado.
5. Los parámetros que intervienen en las clasificaciones RMR, Q índice de Barton y GSI en el campo, deben tener similitud y si existen dudas sobre la valoración de las discontinuidades y del macizo estas deben ser aclaradas en el campo.
6. En la estimación de la calidad geomecánica del macizo rocoso de Vichaycocha, se emplearon diferentes clasificaciones que se emplean en la actualidad, pero se debe tener en cuenta las limitaciones que tiene cada uno de ellos.

7. Se recomienda aplicar la metodología y los análisis realizados a lo largo de esta investigación durante el diseño de futuros cruceros u otras obras subterráneas en condiciones geológicas
  
8. La utilización de la clasificación geomecánica RMR se debe de implementar en conjunto con un adecuado conocimiento de las características geológicas del medio que se van adquiriendo durante el incremento de las excavaciones, con el objetivo de calibrar y optimizar el soporte la tabla geomecánica.

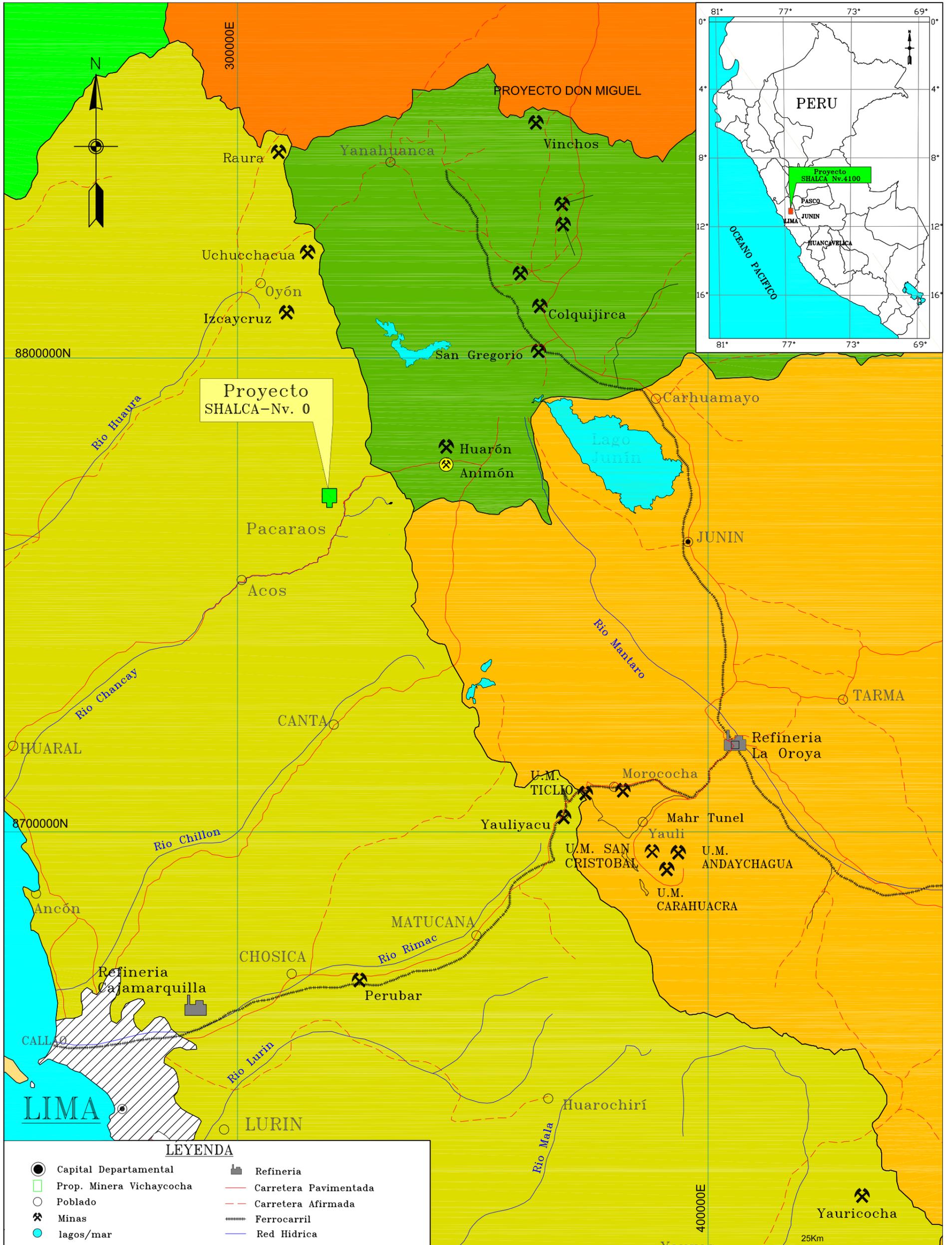
## BIBLIOGRAFÍA

1. BIENIAWSKI. Z. T. Geomechanic classification of rock masses and its application to tunneling. Proc. III. Tnt. Congress for Rock Mechanic. ISMR. Vol IIA. 1974.
2. BLANCO, T. R y M. P. CARTAYA. Estimación de la resistencia de las rocas. Minería y Geología (Moa). No.1. 2000.
3. David Córdova Rojas, “MANUAL MECÁNICA DE ROCAS”, Universidad Nacional de Ingeniería - UNI, Lima, Perú – 2004.
4. D .F. Coates, Fundamentos de Mecánica de Rocas. Dpto. de Minas de Canadá, Toronto, 1974.
5. DE LA SOTA. P. G. Aplicación de la geomecánica a los refuerzos en roca con el desarrollo de las minas. Minería. No. 242, Julio – agosto 1996. (6- 12 p).
6. E. Hoek, Rock Engineering Course Notes, Rocscience Edt. 2000.
7. Moreno Tallon, E. (1980). Aplicación de las clasificaciones geomecánicas a los túneles de Pajares. II curso de sostenimientos activos en galerías y túneles. Fundación Gómez - Pardo. Madrid.
8. FHILLIPS. F. C. la aplicación de las proyecciones estereográficas en geología estructural. Madrid: BLUME. 1975.125p.
9. Hoek E. And Brown, ET. “EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN ROCA” México, 1980.

10. Ríos, Ayala, J. (2010): Informe de la geología regional del distrito Huarón Animón-Alpamarca-Carhuacayan, Pasco, Perú.
11. Ing. Héctor Fabio Urrea campos: Clasificación Geomecánica De Las Rocas Metodo Terzaghi, CSIR (Bieniawski) y NGI.
12. Volcan Compañía Minera: “Compendio Geológico Animón”

## ANEXOS

- Anexo 01 – Plano de ubicación regional del proyecto
- Anexo 02 – Vía de acceso al proyecto
- Anexo 03 – Vía de acceso al Nv. 00
- Anexo 04 – Geología local regional del proyecto
- Anexo 05 – Plano hidrogeológico del proyecto
- Anexo 06 – Plano estructural del proyecto
- Anexo 07 – Geología local del proyecto
- Anexo 08 – Columna estratigráfica local
- Anexo 09 – Plano geomecánico
- Anexo 10 – Zonamiento pendientes
- Anexo 11 – Plano de suelos
- Anexo 12 – Datos de campo 1, 2, 3, 4 y 5



Proyecto SHALCA-Nv. 0

LEYENDA

- Capital Departamental
- Prop. Minera Vichaycocha
- Poblado
- ⚡ Minas
- lagos/mar
- Refinería
- Carretera Pavimentada
- - - Carretera Afirmada
- ++++ Ferrocarril
- Red Hidrica

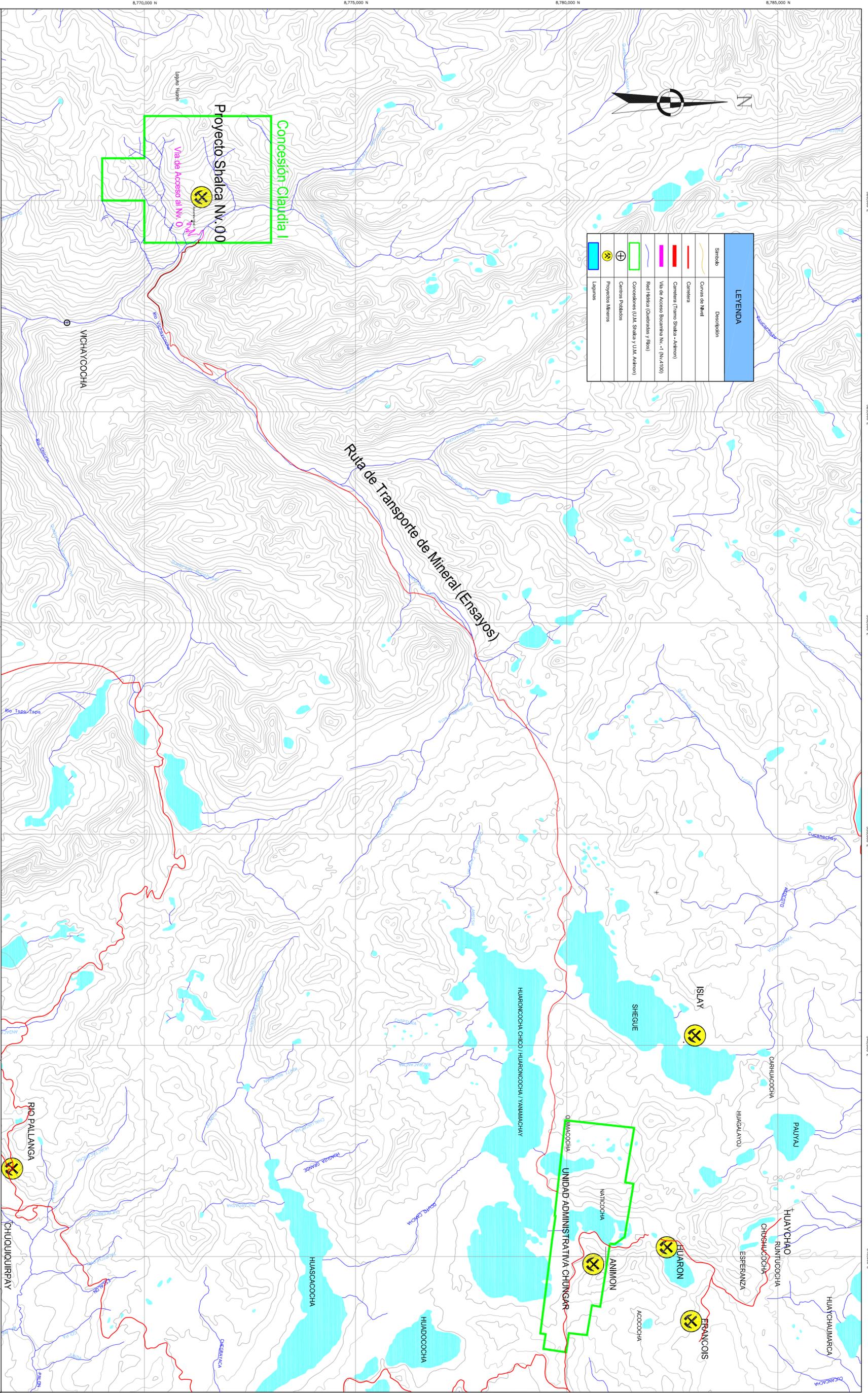
ESCALA : 1/750 000	FECHA
DIBUJADO : AGALIANO	JUN-10
REVISADO : IHUAYANAY	JUN-10
APROBADO : JSUCASACA	JUN-10

COMPañIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

UBICACIÓN REGIONAL DEL PROYECTO  
Etapa del Proyecto de Exploración Minera Shalca Nv.0

PLANO N°	REV.
4.1-1	01

LEYENDA	
Simbolo	Descripción
	Curvas de Nivel
	Camiones
	Camiones (Tramo Sialta - Animon)
	Via de Acceso Boscana No. 1 (NA4100)
	Red Hidrica (Quebradas y Rios)
	Concesiones (U.M. Sialta y U.M. Animon)
	Centros Poblados
	Proyectos Mineros
	Lagunas



**INFORMACION CARTOGRAFICA**

Datum Horizontal: PSAD-56  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar  
 Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)  
 Zona: 18-S  
 Pads

ESCALA: 1:80,000

ESCALA: 1/80,000

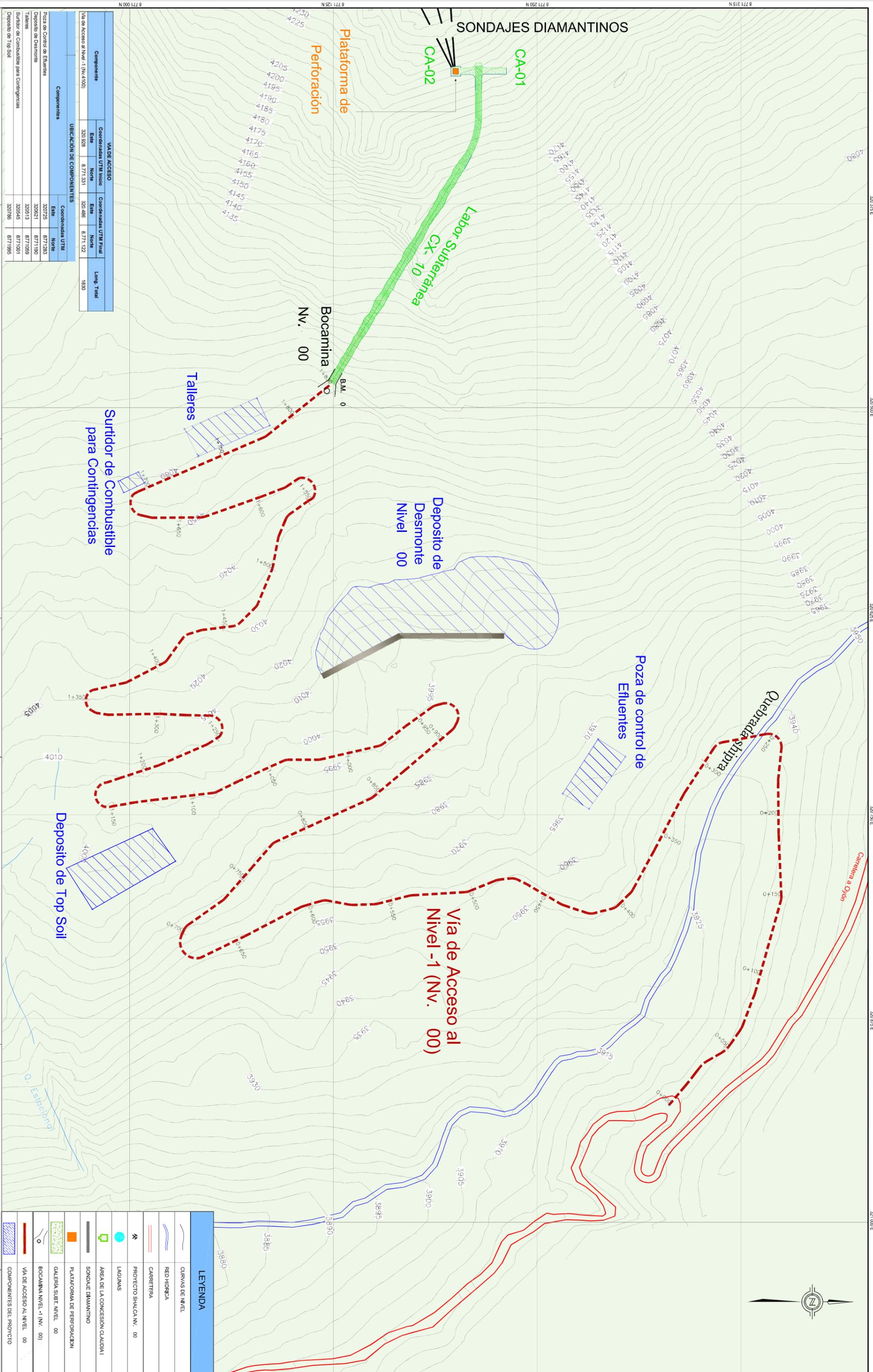
DIBUJADO: AGUILANO  
 REVISADO: HUAYANAY  
 APROBADO: JUSCASACA

**COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.**

VIA DE ACCESO AL PROYECTO CON  
 RUTA DE TRANSPORTE DE MINERAL  
 (Ensayos)

Datos del Proyecto de Expediente Minero: Sialta Nv. 0

PLANO  
 4.1-2  
 REV. 01



VIA DE ACCESO			
Componente	Coordenadas UTM Inicio	Coordenadas UTM Final	Long Total
Vía de Acceso al Nivel -1 (Nv.0100)	Este: 320 928 Norte: 8 771 331	Este: 320 486 Norte: 8 771 122	1830

UBICACION DE COMPONENTES			
Componente	Coordenadas UTM Este	Coordenadas UTM Norte	
Pozos de Control de Efluentes	320725	877283	
Deposito de Plastero	320621	877180	
Talleres	320613	877068	
Surtidor de Combustible para Contingencias	320645	877001	
Deposito de Top Soil	320786	877195	

**INFORMACION CARTOGRAFICA**

Datum Horizontal : PSAD56  
Datum Vertical : Nivel Medio del Mar  
Proyeccion : Universal Transversa de Mercator (UTM)  
Zona : 18S  
Pais : Peru



ESCALA : 1/1.500

DIBUJADO : AGALLIANO

REVISADO : HUAYANAY

APROBADO : JSUCASACA

COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

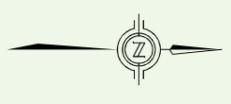
VIA DE ACCESO AL NIVEL "00"

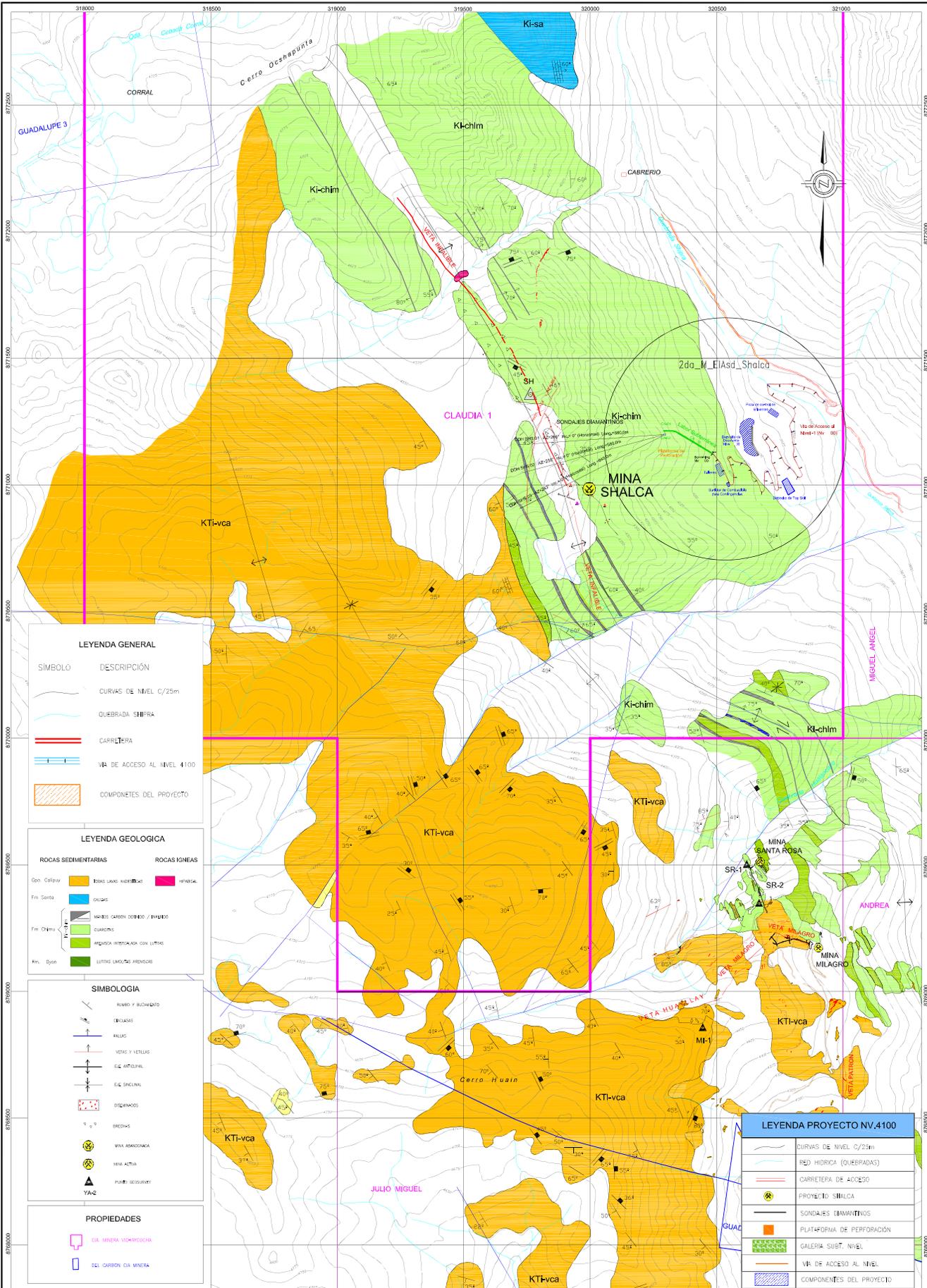
Datad del Proyecto de Explotacion: Maro Saldo

PLANO 4.1-3

REV 01

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL
	RED HIDRICA
	CARRETERA
	PROYECTO SINALCA NV. 00
	LAGUNAS
	AREA DE LA CONCESION CLAUDIA I
	SONDAIE DIAMANTINO
	PLATAFORMA DE PERFORACION
	GALERIA SUBT. NIVEL. 00
	BOCAMINA NIVEL. 00
	VIA DE ACCESO AL NIVEL. 00
	COMPONENTES DEL PROYECTO





**LEYENDA GENERAL**

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVAS DE NIVEL C/25m
	QUEBRADA SIMFRA
	CARRILTERA
	VIA DE ACCESO AL NIVEL 4100
	COMPONENTES DEL PROYECTO

**LEYENDA GEOLOGICA**

ROCAS SEDIMENTARIAS		ROCAS IGNEAS
Gm. Calipuy	ESQUELERA VICHAYCOCHA	IPABIAL
Fm. Santa	VALDES	
Fm. Chimu	MOJES CARBONADO / BIRIBEO	
	CHACABO	
	MESESA INTERMEDIAL CON LUTITAS	
Fm. Dyon	LUTITAS LAMINARES ANDENAS	

**SIMBOLOGIA**

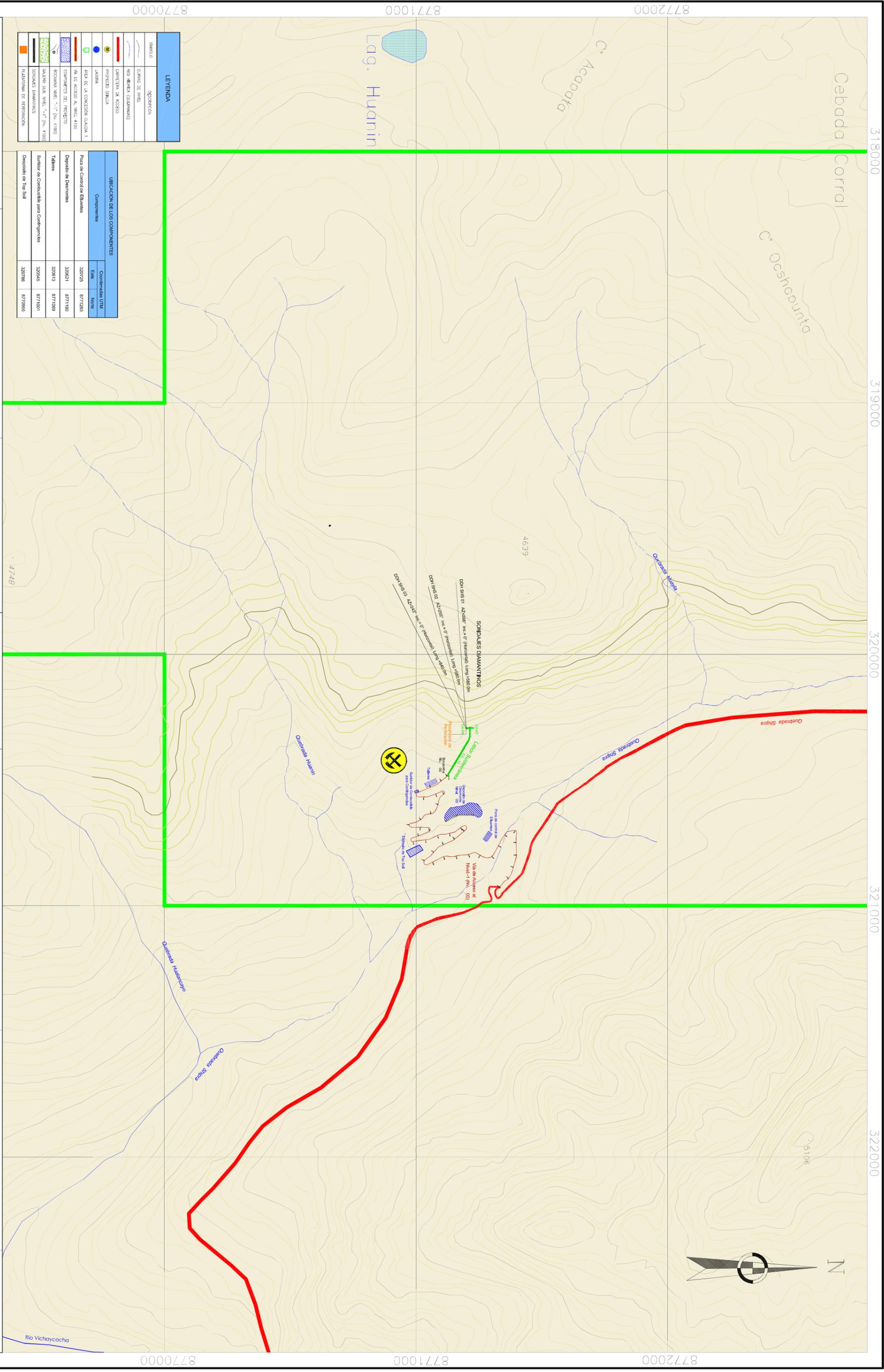
	RUEDO Y BUDAMENTO
	CEJUNAS
	VALLES
	VEDES Y VERTULUS
	E.E. HORIZONTAL
	E.E. ENCLINAL
	DISPARADOS
	BRINCHOS
	VEJA ANDENASICA
	VEJA ACTIVA
	PUENTE GEOLÓGICO
	YA-2

**PROPIEDADES**

	SIA MINERA VICHAYCOCHA
	SOL CARBON DE MINERA

**LEYENDA PROYECTO NV.4100**

	CURVAS DE NIVEL C/25m
	RED HIDRICA (QUEBRADAS)
	CARRILTERA DE ACCESO
	PROYECTO SIMFRA
	SONDAJES DIAMANTINOS
	PLATAFORMA DE PERFORACION
	GALERIA SUBT. NIVEL
	VIA DE ACCESO AL NIVEL
	COMPONENTES DEL PROYECTO



LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	CAMINO DE NIVEL
	RED DE MEDIDA (QUILÓMETROS)
	CARRERA DE ACCESO
	PROYECTO SIMULA
	URDIMBRE
	ÁREA DE LA CONCESIÓN GADUCA 1
	VÍA DE ACCESO A NIVEL 4100
	CONTORNOS DEL PROYECTO
	RECORRIDO NIVEL 1'1" (NIV. 4100)
	GALERÍA SUB NIVEL 1'1" (NIV. 4100)
	SOLICITUDES DIAMANTINOS
	PLATAFORMA DE ATERRIZAJE

UBICACION DE LOS COMPONENTES		
Componentes	Coordenadas UTM	
	Easting	
	Northing	
Plaza de Control de Efluentes	320725	877123
Deposito de Efluentes	320621	877180
Tanques	320813	877089
Sistema de Compuerta para Compuertas	320646	877001
Deposito de Topo Sal	320786	877065

**INFORMACION CARTOGRAFICA**

Edición: 1991-96  
 Datum: WGS 84  
 Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)  
 Zona: 18-S  
 País: Perú

**ESCALA 1:10000**

**ESCALA: 1/10,000**

DIBUJADO: AGUILANO  
 REVISADO: HUAYANAY  
 APROBADO: JUSCASACA

**COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.**

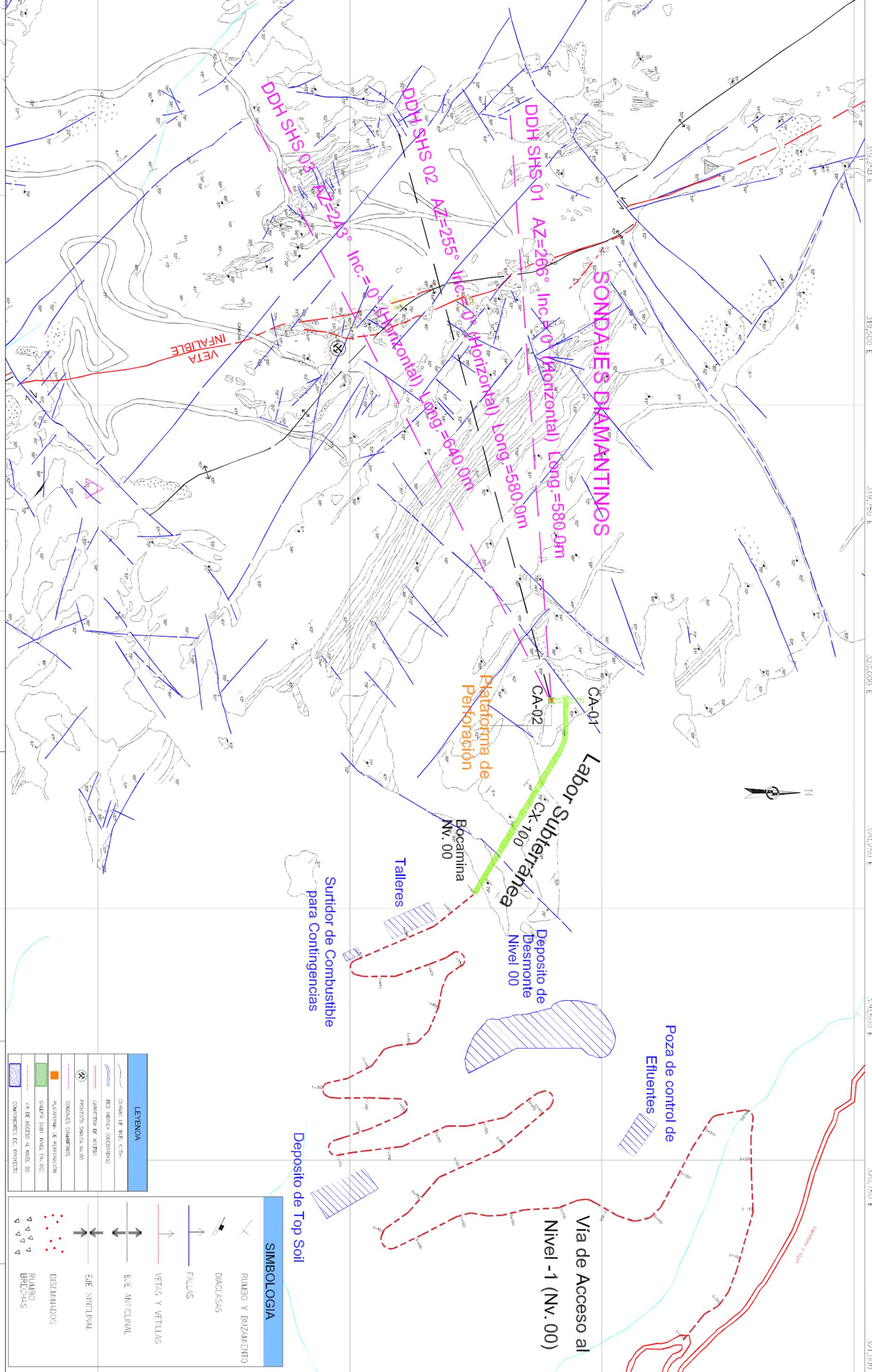
**HIDROLÓGICO**

Unidad del Proyecto de Evaluación de Impacto Ambiental

**PLANO**

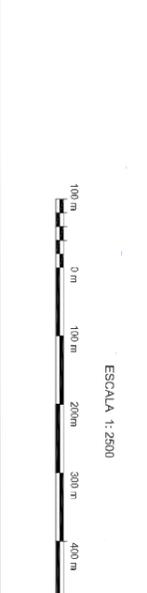
4.2-14

REV. 01



**INFORMACION CARTOGRAFICA**

Datada Horizontal: PNA-56  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar  
 Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)  
 Zona: 18  
 PmS: Perú



ESCALA: 1/2,500

DIBUJADO: AGUILANO

REVISADO: HUAYANAY

APROBADO: JUSCASICA

**COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.**

**GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

Proyecto de Exploración Mineral Suroeste

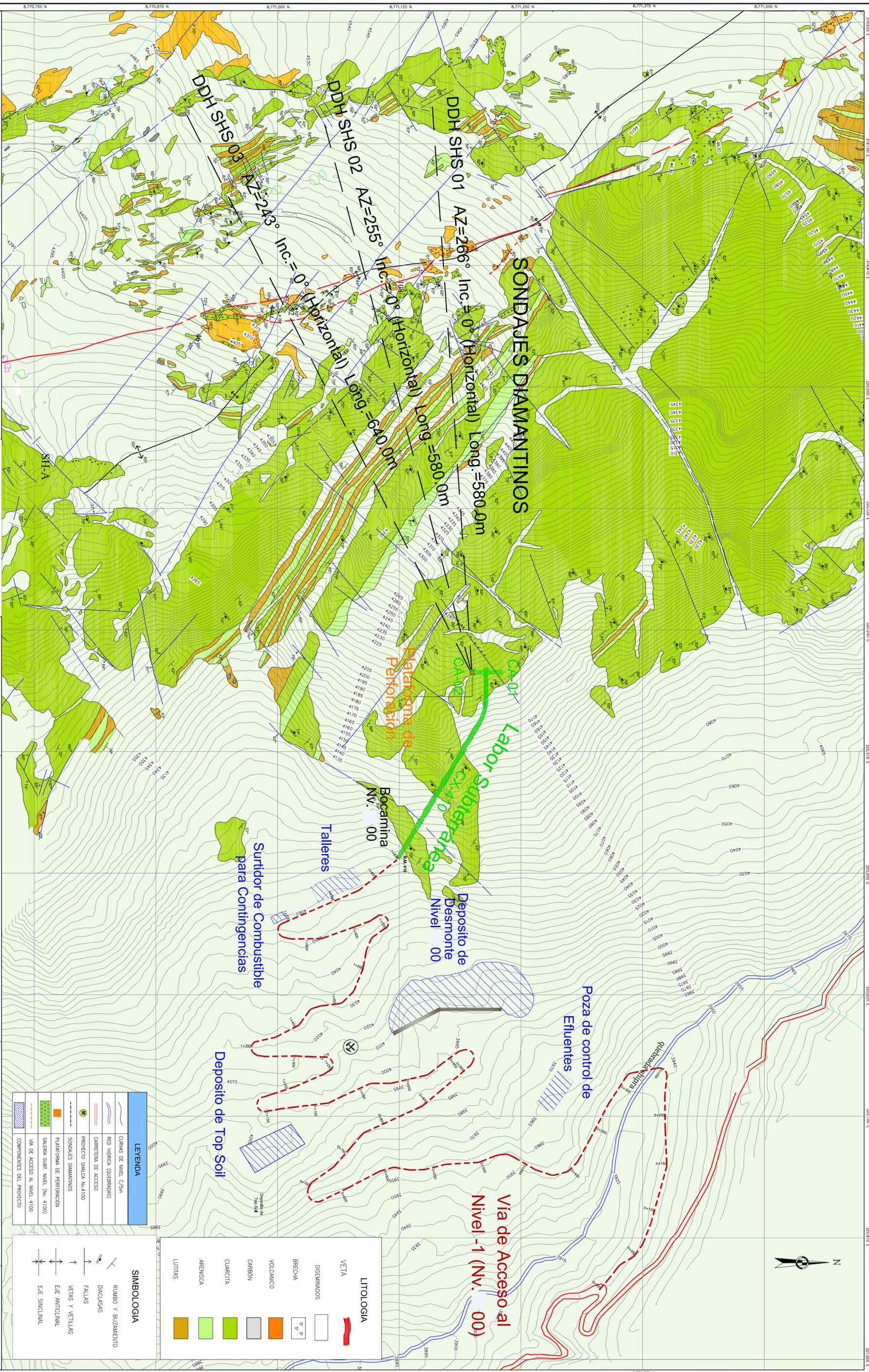
PLANO 4.2-13

REV. 01

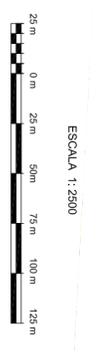
LEYENDA	
	CONTORNOS DE NIVEL (C/4m)
	REDO HIDRICA (QUEBRADAS)
	CARRETERA DE ACCESO
	PROYECTO SHALCA NIV.00
	SONDAJES DIAMANTINOS
	PLATAFORMA DE PERFORACION
	QUELVA SUBT. NIVEL (Niv. 00)
	VIA DE ACCESO AL NIVEL 00
	COMPONENTES DEL PROYECTO

SIMBOLOGIA	
	RUMBO Y BUZAMIENTO
	DIACLASAS
	FALLAS
	VETAS Y VETILLAS
	EJE ANTICLINAL
	EJE SINCLINAL
	DISEMINADOS
	RUMBO BRECHAS

8,770,500 N 8,770,750 N 8,771,000 N 8,771,250 N 8,771,500 N 319,250 E 319,500 E 319,750 E 320,000 E 320,250 E 320,500 E 320,750 E 321,000 E



**INFORMACION CARTOGRAFICA**  
 Datum Horizontal: PSAD-56  
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar  
 Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)  
 Zona: 18-S  
 Piel:



ESCALA : 1/2.500  
 DIBUJADO : AGUILANO  
 REVISADO : HUAYANAY  
 APROBADO : JSUCASACA

COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.



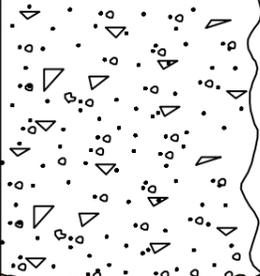
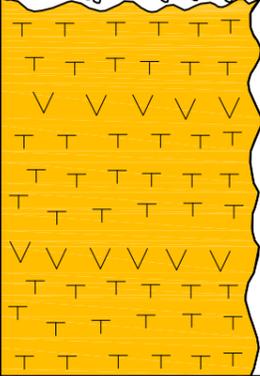
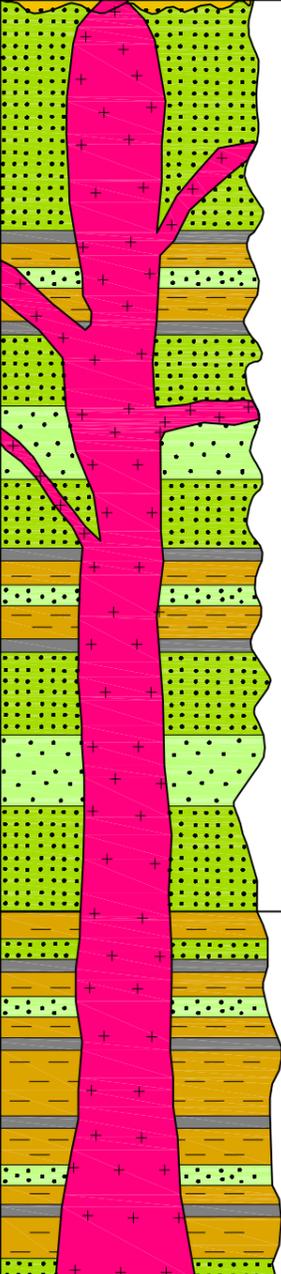
GEOLOGIA LOCAL

PLANO  
 REV. 4.2-9  
 01

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL C/5m
	RED HÍDRICA (QUEBRADAS)
	CARRETERA DE ACCESO
	PROYECTO SIALCA Nv.4100
	SONDAJES DIAMANTINOS
	GALERÍA SIBT NIVEL (Nv. 4100)
	VÍA DE ACCESO AL NIVEL 4100
	COMPONENTES DEL PROYECTO

SIMBOLOGIA	
	RUMBO Y BUZAMIENTO
	DIACLASAS
	FALLAS
	VEIAS Y VENTILAS
	EJE ANTICLINAL
	EJE SINCLINAL

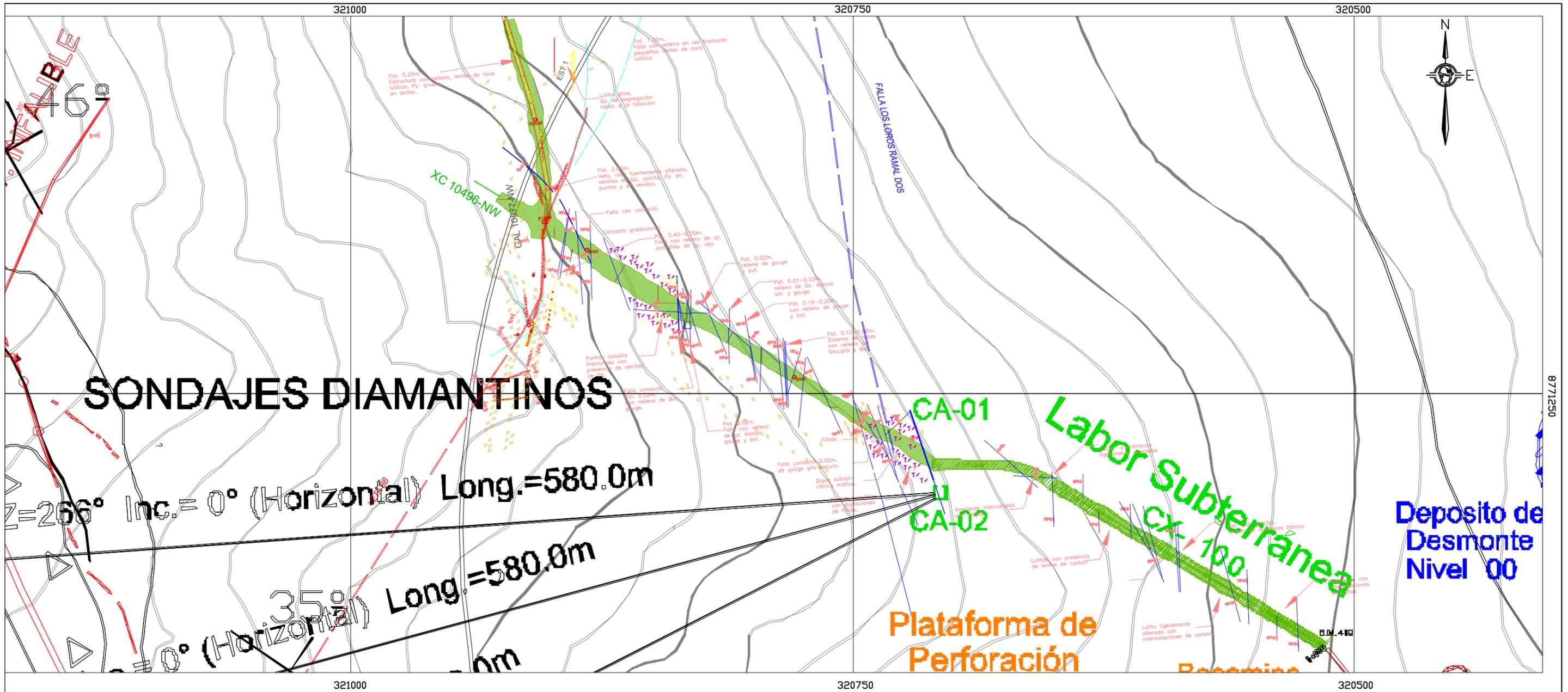
LITOLOGIA	
	VELTA
	DISEÑADOS
	BRECHA
	VOLCANICO
	CARBON
	CUARZITA
	ARENISCA
	LUTITAS

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS			UNIDADES LITO ESTRATIGRAFICAS		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACION	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	CUATERNARIO				Depositos aluviales – coluviales
	TERCIARIO	INFERIOR	CALIPUY		Tobas andesiticas estratificadas, intercalaciones de lavas andesiticas
MESOZOICO	CRETACICO	INFERIOR	GPO. GOYLLARISQUIZGA		Cuarцитas y ortocuarцитas, intercalaciones de arenisca , horizontes de lutitas gris oscuras con lentes de carbón antracítico,
			Fm. Chimú		lutitas gris oscuras – carbonosas con intercalaciones de carbón antracítico, limolita, horizontes de areniscas y cuarcitas
			Fm. Oyón		

GEOLOGIA :	A. JIMENZ / F. DELA CRUZ	FECHA	ENE-10
DIBUJADO :	GEOLOGIA		ENE-10
REVISADO :	L. FUENTES		ENE-10
APROBADO :	E. ZAMORA		ENE-10



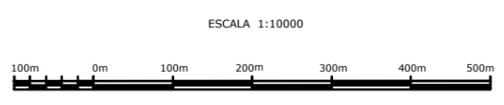
PROYECTO:	EIASd_Shilca_Nv.0	
PLANO:	COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL	PLANO N°
		4.2-11
		REV. 01

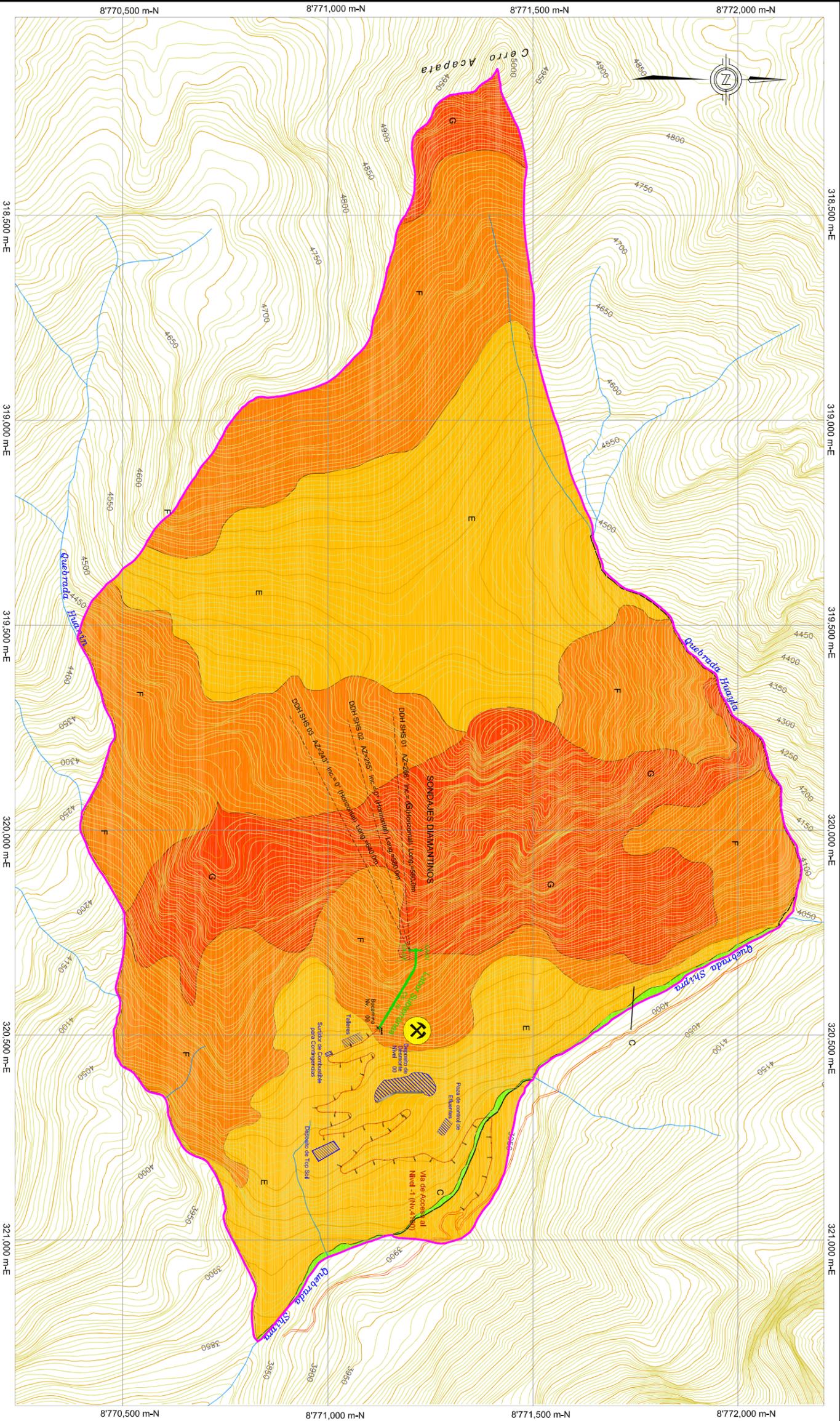


# SONDAJES DIAMANTINOS

$\alpha = 266^\circ$  Inc. =  $0^\circ$  (Horizontal) Long. = 580.0m  
 $\alpha = 352^\circ$  Inc. =  $0^\circ$  (Horizontal) Long. = 580.0m

<b>SIMBOLOGIA</b> 		<b>LEYENDA GENERAL</b> 		<b>LITOLOGÍA</b> 		<b>ESTRUCTURAS</b> 		<b>RELLENO HIDRAULICO</b> 		<b>LEYENDA PROYECTO NV. 00</b> 	
<b>INFORMACION CARTOGRAFICA</b> Datum Horizontal: PSAD-56 Datum Vertical: Nivel Medio Del Mar Proyección: Universal Transversa De Mercator (UTM) Zona: 18-S País: Perú				ESCALA: 1/10,000 DIBUJADO: AGALIANO REVISADO: HUAYANAY APROBADO: JSUCASACA		 <b>COMPAÑÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.</b>		<b>PLANO GEOMECÁNICO</b> Proyecto de exploración minera Shalca		<b>PLANO</b> 6.1-10 REV. 01	



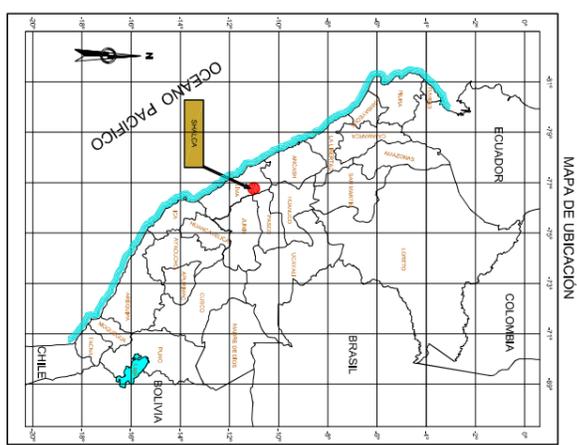


LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL 0/25m
	CURVAS DE NIVEL 0/2m
	ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA
	RED HÍDRICA (DIBUJADA)
	CARRETERA DE ACCESO
	PROYECTO SINALCA N° 00
	SONAJES DIAMANTINOS
	PLATAFORMA DE PERFORACIÓN
	GALERÍA SUBT. NIVEL (Nv. 00)
	ESCALERA NIVEL -1" (Nv. 00)
	VÍA DE ACCESO AL NIVEL 00
	COMPONENTES DEL PROYECTO

GALERÍA SUBTERRÁNEA NIVEL "4100"				
Símbolo	Ubicación de la Bocanina	Coordenadas UTM		
		Este	Norte	mamm
	Nv. -1" o Nv. 0	320485	8771123	4072

RANGO DE PENDIENTES		
Símbolo	Rangos de pendientes (%)	Fase por pendiente
	0 - 4	A
	4 - 8	B
	8 - 15	C
	15 - 25	D
	25 - 50	E
	50 - 75	F
	> 75	G

UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES		
Componentes	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
Poza de Control de Efluentes	320725	8771283
Deposito de Desmontes	320821	8771190
Talares	320813	8771059
Surtidor de Combustible para Contingencias	320545	8771001
Desposito de Top Soil	320786	8770995



**INFORMACION CARTOGRAFICA**

Datum Horizontal: PSAD-56  
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar  
Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)  
Zona: 18-S  
Escala: 1:7500



ESCALA: 1:7500

DIBUJADO: AGUILANO  
REVISADO: HUAYANAY  
APROBADO: JUCASACA

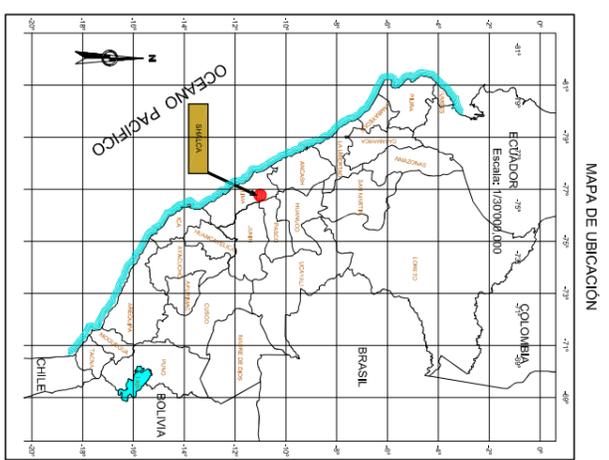
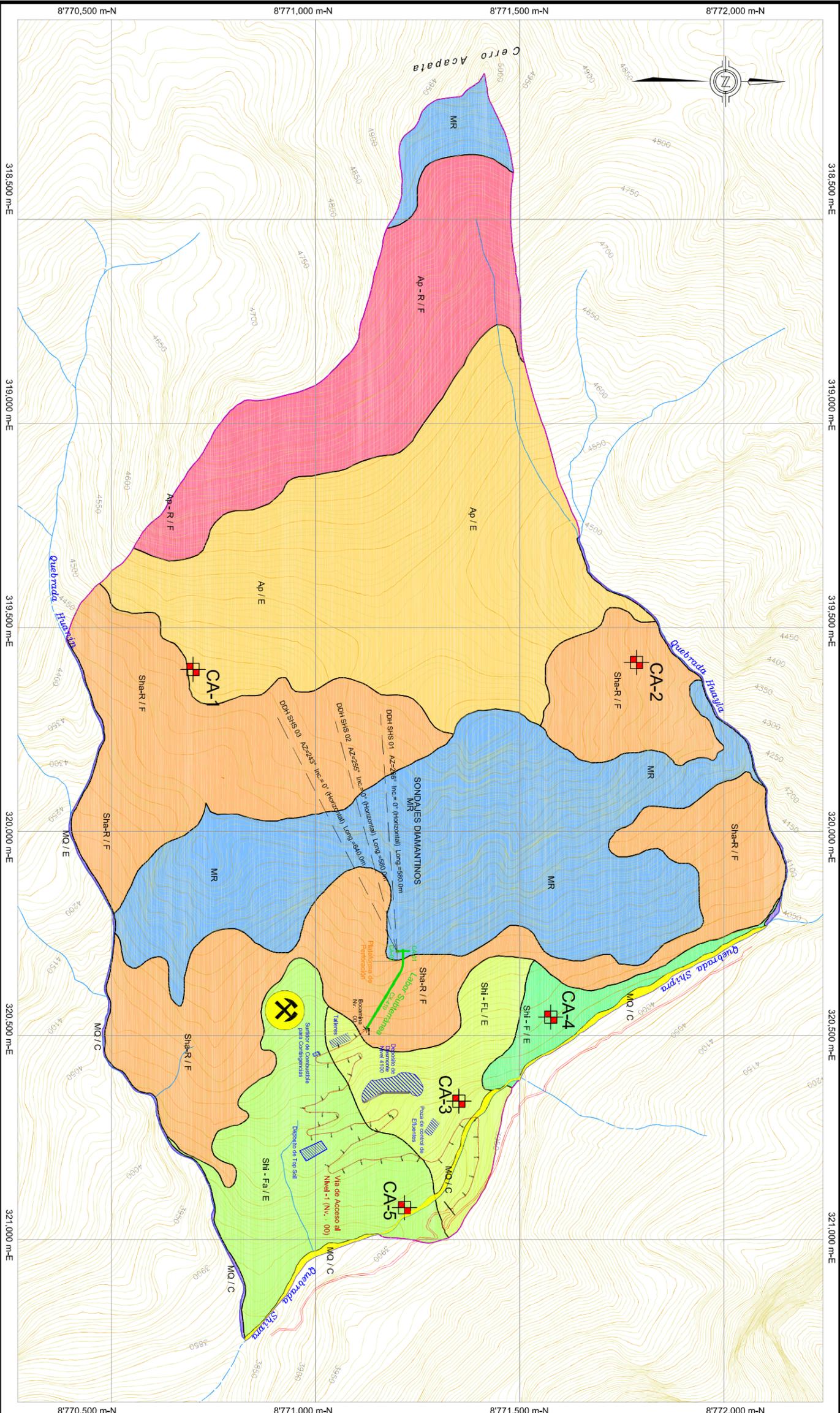
COMPANÍA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

**ZONAMIENTO PENDIENTES**

PLAN0

REV. 4.2-4

01



**GALERIA SUBTERRANEA NIVEL +1100"**

Ubicación de la Bocamina	Este	Norte	mnm
	Nv +1" o Nv 410	320485	8771123
			4072

**UBICACION DE LOS COMPONENTES**

Componentes	Coordenadas UTM Este	Coordenadas UTM Norte
Poza de Control de Efluentes	320725	8771233
Deposito de Derrames	320621	8771190
Taleros	320513	8771059
Surfidor de Combustible para Contingencias	320545	8771001
Deposito de Top Soil	320706	8770995

**CLASIFICACION NATURAL DE LOS SUELOS**

Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo	Nombre
			Litic Usorthents	Shalca Rocoso
			Litic Usorthents	Acapata Rocoso
			Typic Usorthents	Acapata
			Typic Usorthents	Shipira Franco Limoso
			Humic Dystrusteps	Shipira Franco Arenoso
			Typic Dystrusteps	Shipira Franco

**UNIDADES DE SUELOS EN EL AREA DE ESTUDIO**

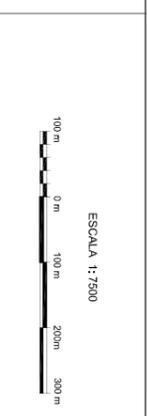
Nombre	Simbolo	Descripcion	Rango de Pendiente	Fase por Pendiente	Simbolo	Area (ha)	Area (%)
Conocedaciones							
Shalca Rocoso	Sha-R / F	Litic Usorthents (60% - 75%)	100	F	82,48	29,32	
Acapata Rocoso	Ap-R / F	Litic Usorthents (60% - 75%)	100	F	30,86	10,97	
Acapata	Ap / E	Typic Usorthents (25% - 50%)	100	E	62,41	22,18	
Shipira Franco Limoso	Shi-R / E	Typic Usorthents (25% - 50%)	100	E	14,81	5,27	
Shipira Franco Arenoso	Shi-FL / E	Humic Dystrusteps (25% - 50%)	100	E	24,12	8,57	
Shipira Franco	Shi-F / E	Humic Dystrusteps (> 75%)	100	E	4,98	1,77	
Miscelaneo Rocoso	MR		100	G	59,28	21,07	
Miscelaneo Quedrada	MQ / C		100	C	1,54	0,55	
Miscelaneo Quedrada	MO / E		100	E	0,83	0,30	
<b>TOTAL</b>					<b>281,30</b>	<b>100,00</b>	

**UBICACION DE CALICATAS**

Calicata	COORDENADAS UTM		MSNM
	ESTE	NORTE	
1	319603	8770700	4487
2	319586	8771786	4448
3	320661	8771351	3957
4	320455	8771576	4026
5	320922	8771218	3910

**INFORMACION CARTOGRAFICA**

Ortometria Horizontal  
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar  
Proyección: Universal Transverso de Mercator (UTM)  
Zona: 18-S  
Papel: 18x5



ESCALA: 1/7.500  
DIBUJADO: AGALIANO  
REVISADO: JHAYANAY  
APROBADO: VSUCKASCA

COMPANIA MINERA VICHAYCOCHA S.A.C.

**SUELOS**

PLANOS 4.2-5

REV: 01

DATOS  
MAPEO DE CAMPO

LUGAR:  
NIVEL:  
LABOR:

*Shallca*  
*0.00*  
*PC 100*

POR:  
FECHA:

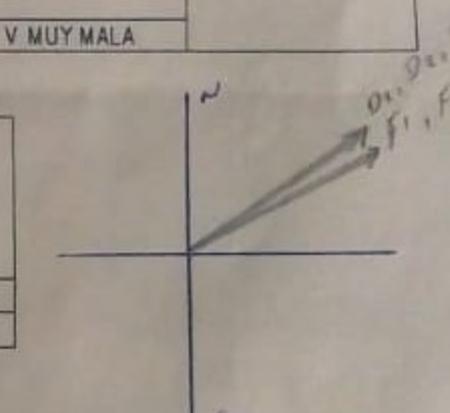
*J. Pedraza*  
*21-Agosto-10*

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																								
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO					VALORACION																														
<i>E1</i>	<i>E-W</i>	<i>0</i>	<i>Pto 7A</i>	<i>Pto 7B</i>																																									
TIPO DE ROCA					FRECUENCIA FRACTURA																																								
A		%	B		%	C		%																																					
<i>C2</i>		<i>78</i>	<i>Ca</i>		<i>19</i>																																								
TIPO	ORIENTACION		RELLENO		COMENTARIOS																																								
ESTRUC.	RUMBO DIR. BUZAM.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	TIPO	ESPESOR (mm)																																								
<i>F1</i>	<i>N60E</i>	<i>43°NW</i>	<i>0.1-0.2m</i>	<i>L</i>	<i>&lt;10</i>	<i>Post 4-10m</i>																																							
<i>D1</i>	<i>N55E</i>	<i>50°SE</i>	<i>0.4-0.5m</i>	<i>C</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;1m</i>																																							
<i>F01</i>	<i>N15E</i>	<i>18°NW</i>	<i>0.3-0.4m</i>	<i>L</i>	<i>&gt;10</i>	<i>&gt;10m</i>																																							
<i>F02</i>	<i>N13E</i>	<i>21°NW</i>	<i>0.4-0.5m</i>	<i>L</i>	<i>&gt;10</i>	<i>&gt;10m</i>																																							
<i>D2</i>	<i>N53E</i>	<i>53°SE</i>	<i>0.5-0.6m</i>	<i>C</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;1m</i>																																							
<i>D3</i>	<i>N55E</i>	<i>55°SW</i>	<i>0.4-0.6m</i>	<i>C</i>	<i>&lt;10mm</i>	<i>&lt;1m</i>																																							
<i>F2</i>	<i>N62E</i>	<i>45°NW</i>	<i>0.1-0.2m</i>	<i>L</i>	<i>&lt;10</i>	<i>Post. 5-10m</i>																																							
<i>D4</i>	<i>N53E</i>	<i>51°SW</i>	<i>0.4-0.5m</i>	<i>C</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;1m</i>																																							
<i>F03</i>	<i>N15E</i>	<i>20°NW</i>	<i>0.4-0.6m</i>	<i>L</i>	<i>&gt;10</i>	<i>&gt;10m</i>																																							
CONDICION DE JUNTAS										AGUA SUBTERRANEA					CORRECCIONES																														
PERSISTENCIA										Seco (15) Humedo (10)																																			
ABERTURA										Cerrada (6) <0.1mm apert (5)																																			
RUGOSIDAD										Muy rugosa (6) Rugosa (5)																																			
RELLENO										Limpia (6) Duro < 5mm (4)																																			
ALTERACION										Sano (6) Lig. Alterada (5)																																			
R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)										Mojado (7) Goteo (4) Flujo (0)					VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = <i>66</i>																														
RQD %															= <i>2</i>																														
ESPACIAMIENTO (m)															VALOR CORREGIDO RMR = <i>64</i>																														
CLASE DE MACIZO ROCOSO										RMR																																			
										100-81					80-61					60-41					40-21					20-0															
																				III REGULAR					IV MALA																				
																				51-60					41-50					31-40					21-30										
										MUY BUENA					II BUENA					REGULAR(A)					REGULAR(B)					MALA(A)					MALA(B)					V MUY MALA					

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de golpe se desconcha con una cuchilla	1,0-5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50-100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250

GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningun signo de alteracion en el material rocoso. Quizas lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica alteracion del material rocoso y superfl. de disc. El material rocoso descolorido exactamente es mas debil que en su condicion sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como nucleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca mas sana o decolorada se presenta como un nucleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL		DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0-20 CUALQUIER DIRECCION	
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO
45-90	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45
0	-2	-5	-10	-12	-5
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon
L	Luzia
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTU	
D	Diclaso
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla

DATOS  
MAPEO DE CAMPO

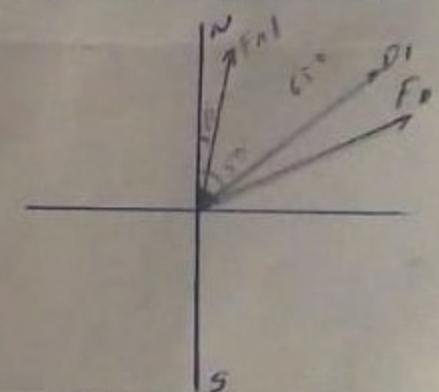
LUGAR: Shalca  
NIVEL: 0.00  
LABOR: XC 100

POR: J. Pedraza  
FECHA: 21-Agosto 10

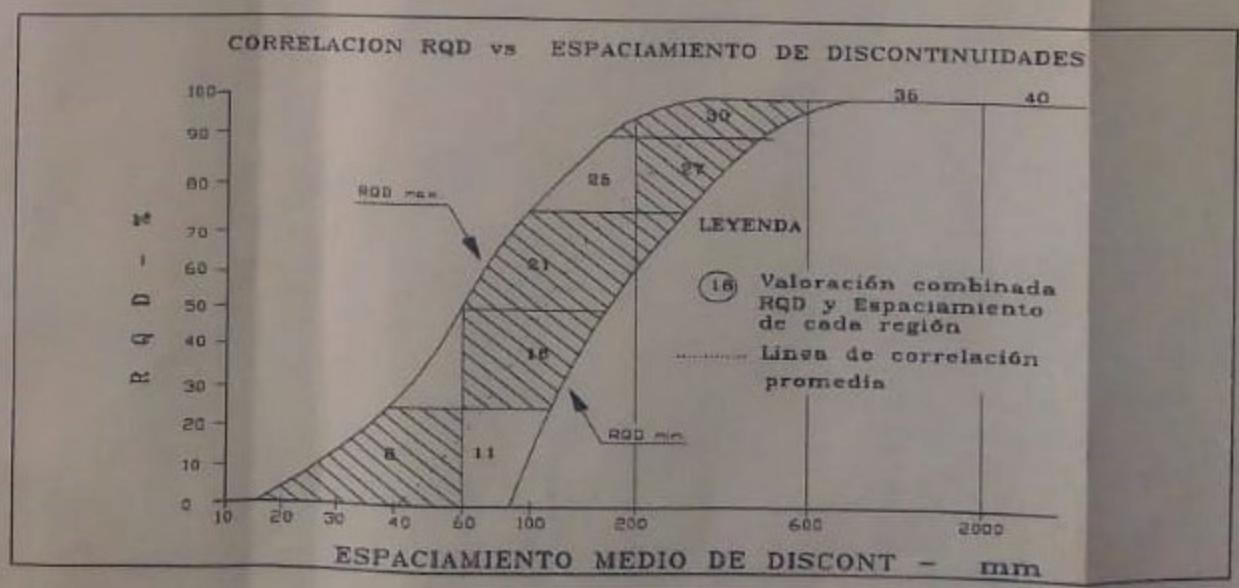
N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO					VALORACION						
E1	E-W	0	Pto 78	TOPE																	
TIPO DE ROCA					FRECUECIA FRACTURA N Fract./ml.																
A	%	B	%	C	%																
CZ	80	CZ	20																		
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION			RELLENO			COMENTARIOS	CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA SUBTERRANEA	VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5)						
	RUMBO, DIR. BUZAM.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	TIPO	ESPESOR (mm)	VALOR CORREGIDO RMR															
F1	NESE	45°NW	0.1-0.2m	L	<10	Pendientes 3-10m			<1m long.	(6)	1-3m Long.	(4)	3-10m	(2)	10-20m	(1)	>20m	(0)	4A	2	
D1	N50E	55SE	0.5-0.6m	C	<10	<1m			Cerrada	(6)	<0.1mm apert.	(5)	0.1-1.0mm	(4)	1-5mm	(1)	>5mm	(0)	4B	9	
F01	N10E	15NW	0.2-0.4m	L	710	710m			Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. rugosa	(3)	Liso	(1)	Espejo de falla	(0)	4C	4	
									Duro < 5mm	(4)	Duro > 5mm	(2)	Mod. Alterada	(3)	Suave < 5mm	(1)	Suave > 5mm	(0)	4D	1	
									Sana	(6)	Lig. Alterada	(5)	Muy Alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E	3			
									Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5		
CORRECCIONES															VALOR TOTAL RMR = 66						
															= 2						
															VALOR CORREGIDO RMR = 64						
CLASE DE MACIZO ROCOSO															11						
RMR															100-81						
															80-61						
															60-41						
															40-21						
															20-0						
DESCRIPCION															MUY BUENA						
															II BUENA						
															REGULAR(A)						
															REGULAR(B)						
															MALA(A)						
															MALA(B)						
															V MUY MALA						

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de golpe se desconcha con una cuchilla	1,0-5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50-100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL		DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0-20 CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO	
45-90	20-45	45-90	20-45	45-90
0	-2	-5	-10	-12
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable



GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningun signo de alteracion en el material rocoso. Quizas lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica alteracion del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado exactamente es mas debil que en su condicion sana.
III MODERADA	Manos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como nucleo rocoso.
IV MUY ALTERO	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca mas sana o decolorada se presenta como un nucleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon x
L	Lufa m
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTU	
D	Diaclazo
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla

DATOS  
MAPEO DE CAMPO

LUGAR:  
NIVEL:  
LABOR:

Shallca  
0.00  
X.C. 0.00

POR: G. Pedraza  
FECHA: 21 - Agosto 10

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO					VALORACION						
E1	E-W	0	Pto 12A	Pto 12B																	
TIPO DE ROCA					FRECUECIA FRACTURA N Fract./ml.																
A	%	B	%	C	%																
Min	77	Ca	23																		
TIPO ESTRUCT.	RUMBO, DIR. BUZAM.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	TIPO	ESPESOR (mm)	COMENTARIOS	CONDICION DE JUNTAS					AGUA SUBTERRANEA					CORRECCIONES				
F1	N73E	66NW	0.1-0.2m	L	<10	Perot 2-10m	PERSISTENCIA	<1m long.	(6)	1-3m Long.	(4)	3-10m	(2)	10-20m	(1)	>20m	(0)	4A	2		
D1	N39E	83SE	0.4-0.6m	L	<10	<10m	ABERTURA	Cerrada	(6)	<0.1mm apert.	(5)	0.1-1.0mm	(4)	1-5mm	(1)	>5mm	(0)	4B	4		
Fn1	N12E	15NW	0.3-0.4m	L	>10	>10m	RUGOSIDAD	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de fallo	(0)	4C	5		
Fn2	N15E	13NW	0.4-0.5m	L	>10	>10m	RELLENO	Limpio	(6)	Duro <5mm	(4)	Duro >5mm	(2)	Suave <5mm	(1)	Suave >5mm	(0)	4D	2		
Fn3	N15E	15NW	0.3-0.5m	L	>10	>10m	ALTERACION	Sano	(6)	Lig. Alterada.	(5)	Mod. Alterada.	(3)	Muy Alterada.	(2)	Descompuesta	(0)	4E	5		
D2	N42E	80SE	0.5-0.6m	L	<10	<10m	AGUA SUBTERRANEA	Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujp	(0)	5	8		
F2	N75E	65NW	0.1-0.2m	L	<10	Perot. 2-10m											VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 53				
																				= -5	
																				VALOR CORREGIDO RMR = 48	
										CLASE DE MACIZO ROCOSO											
										RMR											
										100-81											
										80-61											
										60-41											
										40-21											
										20-0											
										III REGULAR											
										51-60											
										41-50											
										31-40											
										21-30											
										MUY BUENA											
										II BUENA											
										REGULAR(A)											
										REGULAR(B)											
										MALA(A)											
										MALA(B)											
										V MUY MALA										111B	

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de ge. logo se desconcha con una cuchilla	1,0-5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50-100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250

GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningun signo de alteracion en el material rocoso. Quizas lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica alteracion del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido exactamente es mas debil que en su condicion sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorado se presenta como un marco continuo o como nucleo rocoso.
IV MUYALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca mas sana o decolorada se presenta como un nucleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura origial de la masa rocosa aun se conserva intacta.

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL		DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0-20 CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO	
45-90	20-45	45-90	20-45	
0	-2	-5	-10	-5
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable Regular Desfavorable



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon
L	Lufa
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTU	
D	Diaclase
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla

DATOS  
MAPEO DE CAMPO

LUGAR:  
NIVEL:  
LABOR:

Stalla  
0.00  
XC 0.00

POR:  
FECHA:

G. Pedraza  
21-Agosto 10

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)												
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO					VALORACION		
E1	E-W	0	Pto 12B	Pto 12C													
TIPO DE ROCA					FRECUCIA FRACTURA N Fract /ml												
A	%	B	%	C	%												
Min	80	Ca	25														
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	RELLENO		COMENTARIOS										
	RUMBO, DIR. BUZAM.	BUZAMIENTO			TIPO	ESPEJOR(mm)		R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)					RQD %				
D1	N40E	80NW	0.5-0.6	L	<10												
F1	N70E	65NW	0.1-0.3m	L	<10												
D2	N38E	83NW	0.4-0.6	L	<10												
F2	N72E	63NW	0.1-0.2m	L	<10												
Fn1	N13E	15NW	0.3-0.5	L	>10												
Fn2	N15E	13NW	0.4-0.6	L	>10												
D3	N42E	85NW	0.4-0.6	L	<10												
F3	N75E	65NW	0.1-0.2m	L	<10												
D4	N40E	82NW	0.5-0.6	L	<10												
										CONDICION DE JUNTAS							
										AGUA SUBTERRANEA							
										CORRECCIONES							
										CLASE DE MACIZO ROCOSO							
										VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 56							
										VALOR CORREGIDO RMR = 54							
										RMR							
										DESCRIPCION							

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de golpe se desconcha con una cuchilla	1,0-5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50-100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250

GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningun signo de alteracion en el material rocoso. Quizas lig. decoloracion sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloracion indica alteracion del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido exactamente es mas debil que en su condicion sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como nucleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca mas sana o decolorada se presenta como un nucleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL		DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0-20 CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMINETO	
45-90	20-45	45-90	20-45	
0	-2	-5	-10	-5
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon
L	Lutita
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTU	
D	Diaclasa
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla

DATOS  
MAPEO DE CAMPO

LUGAR:  
NIVEL:  
LABOR:

Shalca  
0.00  
pc. 100

POR:  
FECHA:

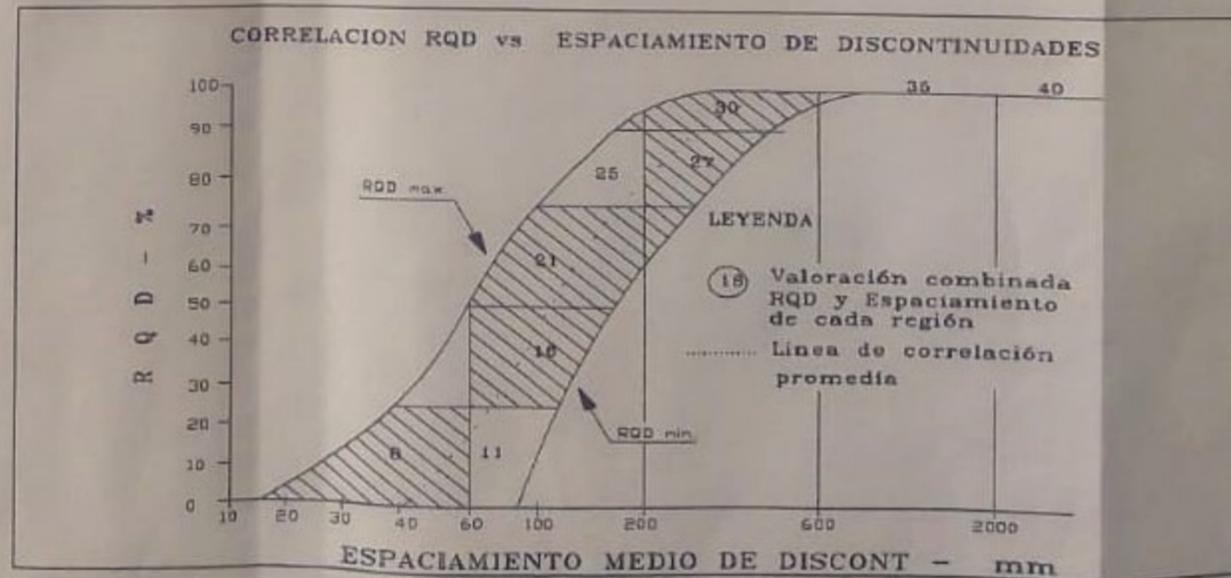
G. Pedraza  
21-Agosto 10

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO					VALORACION
E1	EW	0	H. 12C	YOPE											
TIPO DE ROCA					FRECUCENCIA FRACTURA N Fract./ml.										
A		%	B		%	C		%							
Min		80	Ca		20										
TIPO	ORIENTACION		RELLENO		COMENTARIOS										
ESTRUC.	RUMBO DIR.	BUZAM.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	TIPO	ESPESOR (mm)									
F1	N70E		68NW	0.1-0.2m	L	210	Perf + 3-10m								
D1	N40E		82SE	0.5-0.6m	L	210	210m								
F01	N10E		15NW	0.2-0.4m	L	710	710m								
R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)					>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2)	<10 (1)	<5 (0)	1	7		
RQD %					90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	<10 (1)	<5 (0)	2	8		
ESPACIAMIENTO (m)					>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.05-0.2 (8)	<0.06 (5)	<0.03 (3)	<0.01 (1)	3	10		
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA		<1m long. (6)	1-3m Long. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4A	2						
	ABERTURA		Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	4B	4						
	RUGOSIDAD		Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3						
	RELLENO		Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4D	1						
ALTERACION		Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod. Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3							
AGUA SUBTERRANEA					Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	8				
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoracion 1 a 5) =											46				
CORRECCIONES											=	2			
VALOR CORREGIDO RMR =											44				
CLASE DE MACIZO ROCOSO															
RMR		100-81	80-61	60-41	40-21	20-0									
		III REGULAR			IV MALA										
		51-60		41-50		31-40		21-30							
DESCRIPCION		MUY BUENA	II BUENA	REGULAR(A)	REGULAR(B)	MALA(A)	MALA(B)	V MUY MALA		III B					

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de golpe se desconcha con una cuchilla	1.0-5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50-100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL		DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0-20 CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO	EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	
BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	
45-90	20-45	45-90	20-45	
0	-2	-5	-10	-5
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable Regular Desfavorable

GRADO	INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION
I SANA	Ningun signo de alteracion en el material rocoso. Quizas lig. decoloracion sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloracion indica alteracion del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado exactamente es mas debil que en su condicion sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como nucleo rocoso.
IV MUY ALTERD.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca mas sana o decolorada se presenta como un nucleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
C	Carbon
L	Lutita
Ox	Oxido
Min	Mineral
Ar	Arcilla

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTU	
D	Diclasa
Fn	Falla
Ct	Contacto
E	Estrato
MF	Micro Falla