

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**"CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y MINERALIZACIÓN EN  
LA VETA BUENOS AIRES ANDARAY – CONDESUYOS –  
AREQUIPA"**

**TESIS**

PRESENTADA POR:

**YIMY ALCIDES CCALLO MAQUERA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2016**

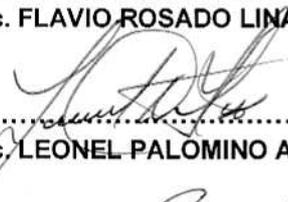
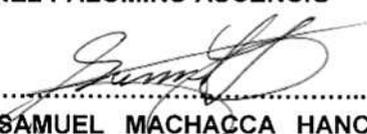
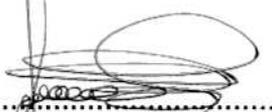
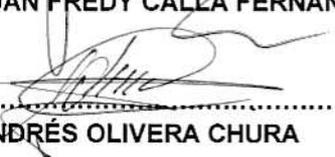
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**  
**“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y MINERALIZACIÓN EN**  
**LA VETA BUENOS AIRES ANDARAY – CONDESUYOS –**  
**AREQUIPA”**

**TESIS**

PRESENTADA POR:

**YIMY ALCIDES CCALLO MAQUERA**  
 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO GEÓLOGO**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

<b>PRESIDENTE</b>	:	 ..... <b>M.Sc. FLAVIO ROSADO LINARES</b>
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	 ..... <b>M.Sc. LEONEL PALOMINO ASCENCIO</b>
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	 ..... <b>M.Sc. E. SAMUEL MACHACCA HANCCO</b>
<b>ASESOR DE TESIS</b>	:	 ..... <b>M.Sc. JUAN FREDY CALLA FERNÁNDEZ</b>
<b>DIRECTO DE TESIS</b>	:	 ..... <b>M.Sc. ANDRÉS OLIVERA CHURA</b>

ÁREA: Geología de Minas  
 TEMA: Prospección y Evaluación de Yacimientos Metálicos

PUNO - PERÚ  
 2016

## **DEDICATORIA**

*Con mucho amor y cariño le dedico a mis padres, que me forjaron ha formarme como profesional.*

*Mis reconocimientos a las personas que en forma directa o indirecta, me ayudaron, poniendo a mi disposición el valor incalculable de sus conocimientos, compartiendo mis ideas y metas para llegar al objetivo.*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme otorgado la gran bendición, así mismo a mis padres, por todo lo que me han dado en la vida, y constante motivación, enseñarme a nunca rendirme ante los problemas, gracias mamá por enseñarme que el amor es la fuerza más grande que existe, ustedes son los seres a quienes más valoro en el mundo”.

Agradezco al M.Sc. Juan Fredy Calla Fernández por su valiosa asesoría y conocimiento para la elaboración de este proyecto de investigación y obtener el título profesional.

Finalmente agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Geología y Metalúrgica, Carrera Profesional de Ingeniería Geológica, al Decano y la plana Docente, porque me ha permitido ser parte de ello y porque estoy seguro que será para siempre.

**INDICE**

RESUMEN ..... xi

ABSTRACT ..... xii

**CAPITULO I** ..... 1

INTRODUCCION ..... 1

    1.1. Generalidades..... 1

    1.2. Problema de Estudio..... 2

    1.3. Antecedentes ..... 3

    1.4. Justificación ..... 4

    1.5. Hipótesis ..... 4

    1.6. Objetivos ..... 4

        1.6.1. Objetivo General..... 4

        1.6.2. Objetivos Específicos..... 4

    1.7. Metodología..... 4

        1.7.1. Etapa de Recopilación de Información ..... 5

        1.7.2. Etapa de Campo..... 5

        1.7.3. Etapa de Gabinete ..... 5

**CAPITULO II** ..... 7

MARCO TEORICO..... 7

    2.1. Generalidades..... 7

    2.2. Geomorfología ..... 8

        2.2.1. Cordillera Occidental..... 8

        2.2.2. Lomas..... 8

        2.2.3. Valles y Quebradas Transversales..... 8

    2.3. Lito Estratigrafía..... 8

        2.3.1. Complejo Basal de la Costa ..... 8

        2.3.2. Grupo Yura ..... 9

        2.3.3. Volcánico Nazca ..... 9

        2.3.4. Depósitos Aluviales..... 10

        2.3.5. Súper Unidad Bella Unión..... 10

        2.3.6. Diques de Dioritas ..... 11

        2.3.7. Diques de Monzo-diorita ..... 11

    2.4. Marco Conceptual ..... 11

        2.4.1. Condiciones Geomecánicas del Macizo Rocosó ..... 11

        2.4.2. Mecánica de Rocas..... 12

        2.4.3. Macizo Rocosó ..... 12

2.4.4.	Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso .....	15
2.4.6.	Índice de Calidad de Macizo Rocoso .....	17
2.4.7.	Planos Principales de Sistema de Discontinuidades .....	18
2.4.8.	Juntas .....	19
2.4.9.	Excavaciones Subterráneas .....	19
2.4.10.	Procesos Relacionados al Magmatismo .....	20
2.4.11.	Procesos Magmáticos .....	20
2.4.12.	Actividad Magmática .....	21
2.4.13.	Fluidos Hidrotermales .....	22
2.4.14.	Alteraciones Hidrotermales .....	22
2.4.14.1.	Alteración Argílica .....	23
2.4.14.2.	Alteración Potásica .....	24
2.4.14.3.	Alteración Fílica .....	24
2.4.14.4.	Alteración Propílica .....	25
2.4.14.5.	Silicificación .....	25
2.4.15.	Mineralización Aurífera .....	26
2.4.16.	Diseño de Excavaciones Subterráneas .....	27
2.4.17.	Medidas de Sostenimiento .....	28
2.4.18.	Condiciones Hidrogeológicas .....	28
2.4.19.	Fenómeno de Estallido de Rocas .....	29
<b>CAPITULO III</b>	.....	<b>31</b>
Caracterización del Área De Investigación	.....	31
3.1.	Generalidades .....	31
3.2.	Ubicación y Acceso .....	32
3.3.	Condiciones Climáticas .....	32
3.4.	Geología del Área de Investigación .....	33
3.5.	Rocas Intrusivas .....	35
3.5.1.	Granodiorita .....	35
3.5.2.	Dioritas .....	36
3.5.3.	Tonalitas .....	37
3.6.	Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso .....	37
3.6.1.	Litología de la Galería de Desarrollo .....	38
3.6.2.	Identificación de Sistemas de Discontinuidades Principales .....	38
3.6.3.	Densidad de las Discontinuidades .....	38
3.6.4.	Orientación e Inclinación .....	39
3.6.5.	Espaciamiento entre Juntas .....	39

3.6.6.	Rugosidad de las Discontinuidades .....	39
3.6.7.	Tipo de Abertura .....	40
3.6.8.	Tipo de Relleno .....	41
3.6.9.	Filtraciones .....	42
3.7.	Parámetros Geomecánicos .....	42
3.7.1.	Resistencia a la Compresión Uniaxial.....	43
3.7.2.	Índice de Calidad de Roca .....	43
3.7.3.	Espaciamiento de Juntas .....	45
3.7.4.	Estado de las Fisuras .....	45
3.7.5.	Condiciones Hidrogeológicas .....	46
3.7.6.	Ajuste por Orientación de Fisuras.....	47
3.8.	Identificación Sistema de Discontinuidades.....	48
3.8.1.	Clasificación Geomecánica.....	49
3.8.2.	Clasificación RMR .....	49
3.8.3.	Sistema de Clasificación Q.....	49
3.8.4.	Sistema de Clasificación GSI .....	50
3.9.	GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN DE LA VETA BUENOS AIRES.....	57
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>60</b>
<b>ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>60</b>
4.1.	Clasificación Geomecánica del Macizo .....	60
4.2.	Comportamiento de los Parámetros Geomecánicos .....	70
4.3.	Análisis de Proyección Estereográfica.....	71
4.4.	Estabilidad en las Excavaciones Subterráneas.....	72
4.5.	Diseño de Excavaciones Subterráneas.....	73
4.6.	Geología de la Veta Buenos Aires.....	76
4.7.	Estructura Mineralizada.....	77
4.8.	Mineralogía del Yacimiento.....	78
4.8.1.	Cuarzo.....	79
4.8.3.	Calcita .....	80
4.8.4.	Arsenopirita .....	80
4.8.5.	Bornita .....	80
4.8.6.	Calcopirita.....	80
4.8.7.	Oro.....	81
4.8.8.	Oro Invisible.....	81
4.9.	Alteraciones Hidrotermales.....	82
4.9.1.	Alteración Propilítica .....	82

4.9.2.	Alteración Fílica .....	83
4.9.3.	Alteración Argílica.....	83
4.9.4.	Silicificación.....	83
4.10.	controles de la Mineralización .....	84
4.10.1.	Control Litológico.....	84
4.10.2.	Control Mineralógico .....	85
4.10.3.	Control Estructural.....	85
4.11.	Paragénesis del Yacimiento .....	86
4.12.	Génesis del Yacimiento.....	87
	CONCLUSIONES .....	88
	RECOMENDACIONES .....	89
	BIBLIOGRAFÍA .....	90
	ANEXOS .....	93

## INDICE DE FIGURAS

	PAG
Figura N° 1: Portal de acceso al nivel 1470 de la veta Buenos Aires Emplazados en granodioritas. ....	6
Figura N° 2: Afloramiento del macizo rocoso con superficies de alteración argílica en zonas próximas a la estructura mineralizada. .	17
Figura N° 3: Instalación de cimbras, con distanciamiento en cada Metro, en roca de tipo III. ....	30
Figura N° 4: Galería de acceso del nivel 1510, con medidas de Sostenimiento convencional con cuadros de madera.....	30
Figura N° 5: Plano geológico local de las estructuras minerales de la mina La Soledad.....	34
Figura N° 6: Microfotografía de sección delgada que corresponde a la granodiorita, caracterizados por fenocristales idiomorfos de plagioclasas, ortoclasa, cuarzo y augitas; entre los minerales de alteración se observan sericitas, caolinitas, en los bordes de las plagioclasas. ....	36
Figura N° 7: Microfotografía Fenocristales de plagioclasas con núcleos de zonación concéntrica, cristales subhedrales de augitas con superficies de alteración a cloritas.....	36
Figura N° 8: Microfotografía Fenocristal idiomorfo de plagioclasa corroído, alterado con intercrecimiento de otros cristales de plagioclasas como una segunda etapa de enfriamiento del magma, sección que corresponde a una tonalita. ....	37
Figura N° 9: Los planos de discontinuidades; como se observa en la bóveda central de la galería de producción 090, progresiva, 680, caracterizados por granodioritas.....	40
Figura N° 10: La variación de la abertura y el relleno que se encuentra rellenado por arcillas, roca triturada y una alteración argílica en la bóveda central de la galería. ....	41
Figura N° 11: Los planos de discontinuidades se encuentran, alteradas y con relleno; observadas en la bóveda izquierda, de la veta Buenos Aires. ....	46

Figura N° 12: Humedad y filtraciones en la galería de producción de la veta Buenos Aires. ....	47
Figura N° 13: Medidas de sostenimiento instalados con cimbra en la progresiva 0 + 850. ....	54
Figura N° 14: Diseño de estabilidad propuesta en los primeros en los primeros 10 m, con instalación de pernos spliset y aplicación del schocrete, sección completa. ....	61
Figura N° 15: Análisis de proyección estereográfica en la veta Buenos ...	72
Figura N° 16: Designación del tipo de macizo rocoso y la calidad de roca en la galería de producción de la veta Buenos Aires. ....	73
Figura N° 17: Estructura mineralizada en el nivel principal 470; se observan sulfuros primarios y una argilización en la roca encajonante. ....	79

## INDICE DE CUADROS

	PAG
Cuadro N° 1 Índice Calidad de Roca .....	15
Cuadro N° 2: Clasificación de Macizo Rocoso Según el Total de Valuación .....	16
Cuadro N° 3: Vías de Acceso .....	32
Cuadro N° 4: Densidad de Discontinuidades .....	39
Cuadro N° 5: Valoración de RQD.....	44
Cuadro N° 6: Calidad de Roca.....	44
Cuadro N° 7: Resumen De Los Principales Sistemas De Discontinuidades Dominantes .....	48
Cuadro N° 8: Clasificación Geomecánica CSIR de Roca Fisurada Clasificación de los Parámetros y su Valoración.....	51
Cuadro N° 9: Ajuste por Orientación de Discontinuidades .....	52
Cuadro N° 10: Clasificación de Rocas Según el Total de Valoración .....	52
Cuadro N° 11: Características Geotécnicas del Tiempo de Auto Sostenimiento .....	53
Cuadro N° 12: Orientación de las Discontinuidades en el Túnel.....	53
Cuadro N° 13 A: Clasificación de los Parámetros Individuales Empleados en el Índice de Calidad de Túneles (NGI) .....	55
Cuadro N° 14: Resumen de la Clasificación Geomecánica de la Galería de Producción .....	68
Cuadro N° 15: Cálculo de la Calidad de Roca Q .....	68
Cuadro N° 16: Calidad de Roca y Clasificación Geomecánica .....	70
Cuadro N° 17: Secuencia Paragenética en la Veta Buenos Aires .....	87

**SIGLAS Y ABREVIATURAS****SIMBOLOGIA DESCRIPCION**

UEA	-	Unidad Emprerial Asociada
SAC	-	Sociedad Anomina Cerrada
MS	-	Minera Soledad
UP	-	Unidad de Produccion
BA	-	Buenos Aires
INGEMMET	-	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
NV	-	Nivel
TMH	-	Toneladas Metricas Humedas
MA	-	Millones de Años
RI	-	Rocas Igneas
RS	-	Rocas Sedimentarias
RM	-	Rocas Metamorficas
RQD	-	Indice de Calidad de Roca (Rock Maiss Rating)
RC	-	Roca Caja
RB	-	Rumbo
Bz	-	Buzamiento
Py	-	Pirita
CPy	-	Calcopirita
AU	-	Oro
NGI	-	Norwegian Geotecnical Institute
$J_n$	-	Número de Discontinuidades
$J_r$	-	Índice De Rugosidad de Las Discontinuidades
$J_a$	-	Índice De Alteraciones de Las Discontinuidades
$J_w$	-	Condiciones Hidrogeológicas
SRF	=	Factor de reducción por tensiones.
$\lambda$	-	número de fracturas por metro lineal

## RESUMEN

La unidad minera La Soledad SAC, realiza trabajos de extracción de mineral, en los diferentes niveles dentro de la veta Buenos Aires, que se encuentra emplazada en rocas calco alcalinas de granodioritas, tonalitas y monzodioritas, que se consideran como roca de basamento. La mineralización en la unidad minera La Soledad, veta Buenos Aires, se encuentra ubicada en el Distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Región de Arequipa yacimiento que está relacionada genéticamente a las intrusiones del Batolito de la Costa, al Complejo Bella Unión, a diques de composición calco-alcalina y a unos conjuntos de intrusiones posteriores. La clasificación geomecánica, está evaluado en base a los datos tomados durante el proceso de excavación; del comportamiento de los parámetros geomecánicos; su litología, mineralización, grado de alteración; sistema de discontinuidades dominantes; son evaluadas en la galería de producción de la veta Buenos Aires. El objetivo principal del trabajo de la investigación, es Caracterizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y el tipo de mineralización, en base al tipo de roca, que existen en la profundización de la veta Buenos Aires.. La clasificación geomecánica del macizo rocoso es de tipo II – I con pequeños tramos del tipo de roca III entre los 15 – 20 en el portal de acceso; cuyos valores de RMR que varían de 55 – 82; índice geológica de resistencia GSI es de 50 – 75 indican que la, calidad de roca es buena. El análisis de calidad de roca Q es de 3.25 – 28.50; valores que muestran la estabilidad del macizo rocoso; el análisis de ángulo de fricción interna es de 31.10 – 37.69° valores que son confiables, para continuar con los tajeos en la mina La Soledad.

**Palabra clave:** Parámetros Geomecánicos – Calidad de Roca – Mineralización Aurífera.

## ABSTRACT

The mining unit La Soledad SAC carries out mineral extraction, at different levels within the vein Buenos Aires, which is located in calc - alkaline rocks of granodiorite, tonalite and monzodiorites, which are considered as bedrock. Mineralization in the mining unit La Soledad, vein Buenos Aires, is located in the Andaray District, Province of Condesuyos, Arequipa Region field that is related genetically to the intrusion of the Coastal Batholith, Complex Bella Union, levees calc-alkaline composition and subsequent sets of intrusions. Geomechanics classification is evaluated based on data taken during the excavation process; the behavior of geomechanical parameters; lithology, mineralization, degree of alteration; dominant discontinuities system; they are evaluated in the gallery of production of the grain Buenos Aires. The main objective of the research work is to characterize the geomechanical behavior of the rock mass and type of mineralization, based on the type of rock, which exist in the deepening of the grain Buenos Aires. The geomechanical classification rock mass is type II - I with small sections of rock type III among 15 to 20 in the gateway; RMR whose values ranging from 55-82; GSI Geological strength index is 50-75 indicate that, rock quality is good. Analysis of rock quality Q is 3.25 - 28.50; values that show the stability of the rock mass; analysis of internal friction angle is 31.10 - 37.69o values that are reliable, to continue with takes in La Soledad mine.

**Keyword:** Geomechanical parameters - quality rock - gold mineralization.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1. GENERALIDADES

La unidad minera La Soledad, realiza trabajos de extracción de mineral, en los diferentes niveles dentro de la veta Buenos Aires, que se encuentra emplazada en rocas calcos alcalinos de granodioritas, tonalitas y monzodiorita, que se consideran como roca de basamento. Según el comportamiento de los parámetros geomecánicos, la calidad de roca en la veta Buenos Aires es de regular a buena calidad. La mineralización está asociada a un conjunto de alteraciones hidrotermales; además son los que cooperan en el mejoramiento de la ocurrencia de altos valores de oro en la estructura mineralizada. Se puede detallar que las alteraciones hidrotermales son la argilización, la fílica, propílica, la silicificación y otros controles menores.

La unidad minera La Soledad ocurre dentro de la franja metalogenética aurífera conocida como Nazca - Ocoña, la cual hospeda un grupo de minas y proyectos auríferos de vetas angostas y con alto valor aurífero, estos depósitos ocurren frecuentemente dentro de las unidades rocosas del batolito de la costa, como la veta Buenos Aires, Sangre de Toro y otros. Los depósitos son de naturaleza mesotermal, la zona muestra una historia compleja de actividad ígnea, tectonismo y actividad hidrotermal.

Las rocas ígneas como diorita, monzonitas y granodioritas han sido intruidas por diques aplíticos y lamprofidos de textura porfídica.

## 1.2. PROBLEMA DE ESTUDIO

La estabilidad del macizo rocoso, en los diferentes niveles en la veta Buenos Aires y anexos, son variables, según la orientación de los principales planos de discontinuidades, que generan cuñas inestables de caída libre en los frentes de desarrollo en la extracción y acarreo de mineral para la planta de tratamiento. Los trabajos de extracción de minerales en los tajeos, requieren medidas de sostenimiento adecuados; la calidad de roca es muy cambiante.

La inestabilidad del macizo rocoso, no solamente se debe a los sistemas de discontinuidades principales dominantes, que han creado cuñas de caída libre; en zonas inestables; sino también a los diferentes alteraciones que ocurren en la roca de caja que no son evaluados adecuadamente, la calidad y el control del macizo rocoso, que está constituido por la granodiorita de la Súper Unidad Bella Unión, a su vez intruidas por diques de dioritas, monzo-dioritas y diabasas. Además los grandes cambios en la estructura de la roca son por el proceso de intemperismo o escorrentía de superficie que constantemente afecta a estos afloramientos.

Actualmente las labores mineras se sostienen con cuadros de madera, malla electrosoldada + pernos Split set y puntales, teniendo en cuenta que las labores principales tienen dimensiones pequeñas (2.1 x 2.4 m) y que los tajeos corresponden a vetas angostas (0.15 a 0.8m) y tratándose de roca intrusiva ligeramente alterada los problemas encontrados son manejables; sin embargo, se realizará una evaluación geológica geotécnica de acuerdo a las especificaciones técnicas actuales de trabajo en mecánica de rocas.

¿Por qué se generan las discontinuidades en la Minera la Soledad UP Buenos Aires?

¿Por qué generan los tipos de alteraciones en la veta Buenos Aires?

### 1.3. ANTECEDENTES

Unidad Minera La Soledad es una Empresa Peruana que tiene sus operaciones mineras en el Distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Departamento de Arequipa; esta unidad minera opera como una Unidad Empresarial Asociada (UEA), que se compone por las siguientes concesiones mineras: Sofía Chalhuane I, JG de Chalhuane, Eva Hilda I,

Eva Hilda, Sofía Chalhuane III. Minera la Soledad cuenta con la infraestructura de oficinas y campamentos, equipamiento de mina que permiten continuar con una operación a escala reducida. Durante el año 2014 la Compañía Chalhuane ha comenzado la exploración en esta veta con subniveles y galerías lo que ha permitido delimitar un clavo mineralizado que tiene cerca de 100 metros de ancho y ha sido actualmente reconocida unos 60 metros en sección vertical.

El área fue reconocida por los geólogos de Buenaventura en la década de los setenta y por CEDEMIN en los años 1985 y 1990. En las vetas se encontró una serie de trabajos antiguos de españoles y de mineros informales contemporáneos. Los estudios de CEDEMIN fueron el tipo de reconocimiento y muestreo en las vetas del sector El Viento, Chalhuane y Esperanza. En el estudio del 90 se hace un estimado de reservas probables.

En los años 1998, 1999 y 2000 nuevamente la Cía. CEDEMIN realiza un inventario en detalle de las vetas para lo cual hace levantamientos topográficos y geológicos a escala 1/2000 de la veta Buenos Aires y otras del sector El Viento. Realizan estudios geoquímicos de suelos e investigan la ocurrencia de pórfidos o cuerpos diseminados en las rocas dioríticas alteradas, granodioritas y tonalitas.

Construyen 508 metros de galerías en los niveles 1550 y 1590 de la veta Buenos Aires, calculando alrededor de 17,000 TM con 17 gramos de oro. En las vetas del sector el Viento calculan 19,000 TM con 8 gramos de oro a partir de muestreos de afloramiento y cateos.

Entre el 2002 y el 2004 la Cía. Minera Titán alquila la propiedad y explota las menas ricas de la veta Buenos Aires, además realizar la labor del nivel. 1510 es de 350 metros de longitud. Luego la mina regresa a los dueños actuales quienes

en los años 2010, 2011 y 2012 reiniciaron las exploraciones con buenos resultados.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Frente a la diversidad de estructuras mineralizadas, que se encuentran emplazadas en la Súper Unidad Bella Unión; cabe indicar que las investigaciones de exploraciones en profundidad de corte en horizontal y vertical a más de 30m en profundidad se logró incrementar la producción, con una ley de cabeza de 8 - 12 Gr/TMH de Au. Además el análisis de muestras tomadas es en forma sistemática por canales sobre la estructura mineralizada, donde satisface las necesidades de la empresa minera. Las formaciones geológicas en el basamento rocoso de la Súper Unidad Bella Unión y diques posteriores que cortaron al batolito, son favorables para la mineralización aurífera en la roca de caja; constituidos petrográficamente por minerales calco – alcalinos y máficos, con una textura granular y porfídica.

#### **1.5. HIPÓTESIS**

El comportamiento geomecánico y la mineralización en la veta Buenos Aires, es adecuado según los parámetros geomecánicos y alteraciones hidrotermales, que condicionan en la ocurrencia de mineralización aurífera en profundidad.

#### **1.6. OBJETIVOS**

##### **1.6.1. Objetivo General**

Caracterizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y determinar el tipo de mineralización, en base a las alteraciones hidrotermales, que existen en la profundización de la veta Buenos Aires.

##### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar el comportamiento geomecánico del Macizo Rocosos en la veta Buenos Aires.
- Determinar el tipo de mineralización, en base a las alteraciones hidrotermales, que cambian la calidad de roca en la veta Buenos Aires.

#### **1.7. METODOLOGÍA**

El presente trabajo de investigación se realizó mediante un análisis explicativo y descriptivo, del comportamiento geomecánico del macizo rocoso y la mineralización aurífera de la veta Buenos Aires de la Unidad Minera La Soledad, donde se les considero las siguientes etapas:

#### **1.7.1. Etapa de Recopilación de Información**

Se dio el inicio con la búsqueda de la bibliografía existente del área de estudio, recopilando informes de trabajos técnicos de la Minera. Estudio geológicos existentes de la Unidad Minera La Soledad SAC; entre otros planos de laboreo existentes de la zona de estudio.

#### **1.7.2. Etapa de Campo**

En esta etapa se procedió a realizar la toma de datos en la galería principal de producción en interior mina, iniciándose en el portal de acceso y concluyéndose en el último nivel a 70 mts más abajo de la galería de producción. A su vez se procedió con el mapeo geológico subterráneo y la caracterización geomecánica de la galería de producción y el comportamiento de la estructura mineralizada. (Ver Fig. N° 01).

#### **1.7.3. Etapa de Gabinete**

Es la parte final en donde se llega a la interpretación de los resultados que se obtuvo en cada una de los puntos de muestreo puntuales, sistemáticos; para luego concluir con la caracterización geomecánica y el tipo de mineralización en la estructura mineralizada. Se concluye con la redacción de la tesis final para optar el título de Ingeniero Geólogo.



Figura N° 1: Portal de acceso al nivel 1470 de la veta Buenos Aires Emplazados en granodioritas.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. GENERALIDADES

La identificación la calidad de las formaciones geológicas y la estabilidad de las excavaciones subterráneas, están caracterizados por rocas plutónicas, volcánicas en la parte superficial que se encuentran erosionados por aguas de escorrentía. La denominación corresponde a J. CALDAS (1978)

Al descubrir un enorme volumen de rocas sub-volcánicas, que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí), manifiestamente intruyen a formaciones del Cretáceo inferior. En el cuadrángulo de Chaparra el Complejo Bella Unión ocupa una faja continua e intermedia, con un rumbo que varía de EW a NW-SE, cubriendo los sectores de la mina Calpa, curso inferior de los ríos Atico y Chaparra, prolongándose a los cuadrángulos de Chala y Jaquí, pero limitado marginalmente por grandes lineamientos estructurales, que probablemente controlaron su emplazamiento; intruyen a formaciones del Jurásico y Cretáceo inferior.

El comportamiento geomecánico en estas formaciones geológicas depende únicamente por los parámetros geomecánicos. La mineralización puede estar asociada al relleno en juntas o estructuras mayores, como veta Buenos Aires.

## **2.2. GEOMORFOLOGÍA**

### **2.2.1. Cordillera Occidental**

Entre los 1,200 y 2,500 m.s.n.m. se presentan una cadena de montañas rocosas con dirección NW y cuyas cumbres forman colinas onduladas del modelado andino por agentes erosivos ríos, escorrentía de superficie, originando así un relieve poco accidentado. Constituidos principalmente por el batolito de la costa, afloran a lo largo de esta cadena. Las mayores altitudes del área estudiada corresponden a esta unidad geomorfológica; de los cuales son representantes por los Cerros Chahuane, Purimarca. Estas quebradas de Chahuane, Purimarca y San José están entre las alturas 1,400 a 2,000 metros sobre el nivel de mar.

### **2.2.2. Lomas**

Entre las principales colinas y lomas están constituidas formaciones geológicas de granodioritas, dioritas, tonalitas y diques de cuarzo-diorita; que presentan una superficie, suave erosionado y cubiertos con depósitos aluviales, coluviales y depósitos de pie de monte entre las quebradas.

### **2.2.3. Valles y Quebradas Transversales**

Constituidos por los ríos Acarí, Yauca, Chala, Chaparra, Chahuane y Atico que drenan en dirección sur, suroeste (SSO), han formado valles, los cuales por alcanzar su perfil de equilibrio, han profundizado y ensanchado sus cauces. Este proceso desarrollado en un tiempo relativamente corto, se ha debido a la erosión sobre una superficie en proceso de levantamiento andino en la dirección noroeste.

## **2.3. LITO ESTRATIGRAFÍA**

### **2.3.1. Complejo Basal de la Costa**

La unidad más Joven de este Complejo, probablemente esté constituida por gneis tonalítico, con textura bandeada irregular, producto de una deformación protoclástica, asociada a fenómenos de deformaciones ocurridos durante su emplazamiento. Esta Unidad está integrada, principalmente, Por gneises

bandeados, de color rosado hasta gris verdoso, cuya composición es variada, pudiendo grabar en algunos casos a migmatitas. Se complementa en menor proporción con esquistos, anfibolitas y calcosilicatos en la zona bahía de Paracas. La edad más antigua se ha obtenido en gneis biotítico tomada en Mollendo – La Joya, que ha dado de 2052 +/- 45 M.A. Gneis feldespático de San Juan Marcona, Ica con 1914 +/- 44 M.A. Otras muestras de gneis del área de Mollendo – Camaná, resultan edades de 1910 – 1960 M.A., rocas precámbricas que corresponde al complejo basal de la costa del Sur del Perú. (INGEMMET 2000).

### **2.3.2. Grupo Yura**

En la base de la zona de estudio se presenta el Grupo Yura, que comprende la Formación Puente (Caloviano), seguida de la Formación Cachíos, de rocas principalmente lutáceas. La Formación Labra de areniscas cuarzosas, cuarcitas y lutitas, seguida de la Formación Gramadal, constituida por calizas con fauna del Jurásico-Cretácico. La actividad volcánica occidental en el Jurásico superior está representada en el departamento de Ica por la Formación Jahuay, constituido por lavas y brechas andesíticas porfiríticas con una parte superior de areniscas calcáreas y calizas conteniendo amonites que indican una edad Titoniana. (INGEMMET 2000).

### **2.3.3. Volcánico Nazca**

En las partes más altas entre Chuquibamba y Cotahuasi se tiene tres conos volcánicos formando un triángulo, estos conos volcánicos han jugado un papel importante en el desarrollo geomorfológico. Las formas cónicas fueron modificadas por glaciares que descendieron de los casquetes glaciares en forma radial, la morfología es agreste y empinada en la parte central y radialmente disminuye la pendiente.

En el cuadrángulo de Arequipa aflora esta formación sobreyaciendo en discordancia erosional al Volcánico Millo. Sobreyacen también al Grupo Yura (Jurásico – Cretácico) y a la Formación Capillune al norte del Volcán Misti. La morfología que forman estos depósitos es de pendiente suave y poca elevación cubriendo paleo valles y rellenando quebradas. También forman paisajes

interesantes con disyunción cónica. Se le asigna, tentativamente, una edad Pliocena media a superior. Consiste de depósitos piroclásticos tobáceos, se diferencian dos tipos según su coloración: Tobas blancas compactas infra yaciendo a tobas de salmón.

#### **2.3.4. Depósitos Aluviales**

Constituidos principalmente por depósitos aluviales, coluviales, escombros, fragmentos líticos, englobados en una matriz de grava, arena, que gran parte de ellos constituyen terrazas fluviales, acumuladas en los flancos de los ríos.

#### **2.3.5. Súper Unidad Bella Unión**

La denominación corresponde a J. CALDAS (1978), al descubrir un enorme volumen de rocas sub-volcánicas, que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí), manifiestamente intruyen a formaciones del Cretáceo inferior.

En el cuadrángulo de Chaparra el Complejo Bella Unión ocupa una faja continua e intermedia, con un rumbo que varía de EW a NW-SE, cubriendo los sectores de la mina Calpa, curso inferior de los ríos Atico y Chaparra, prolongándose a los cuadrángulos de Chala y Jaquí, pero limitado marginalmente por grandes lineamientos estructurales, que probablemente controlaron su emplazamiento; intruye a formaciones del Jurásico y Cretáceo inferior.

Litológicamente, el Complejo Bella Unión es muy variado, pero la roca predominante es una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítica, en grandes bloques angulosos y sub angulosos, desarrollados mecánicamente durante su emplazamiento y que por erosión diferencial exhiben una morfología cavernosa, principalmente en los terrenos de fuerte pendiente. Este tipo de roca están intruídas a su vez por innumerables plutones y diques de andesita porfídicas con grandes fenocristales de feldespatos calco – alcalinos; en matrices afaníticas intensamente piritizadas tales como los que se exponen en la mina Calpa y el curso del río Atico, finalmente, el conjunto de estas rocas se encuentra cruzada por diques andesíticos o dacíticos, en muchos casos formando verdaderos enjambres. La composición predominante de los intrusivos

es andesítica o dacítica, pero intervienen otros cuerpos más básicos, tales como diabasas porfírica gris verdosas, constituidas por labradorita, olivino y piroxenos.

### **2.3.6. Diques de Dioritas**

Los diques de diorita contienen plagioclasas (andesina-labradorita). Las tonalitas y granodioritas presentan plagioclasas zonadas con inclusiones de hornblenda, teniendo como minerales secundarios: biotitas, esfena y hornblenda. Son cuerpos intrusivos hipoabisales más joven que el batolito de la costa y la dotación radiométrica indica una edad de intrusión de 80 MA (Cobbing 1979 - en CALDAS 1978).

Formándose, durante la primera fase de la tectónica Andina. La duración del Plutonismo fue cerca de 20 MA (Cobbing 1979 – en CALDAS 1978) como los intrusivos de dioritas.

### **2.3.7. Diques de Monzo-diorita**

Compuestos principalmente de fenocristales de plagioclasas con núcleos de zonación concéntrica de 45%, asociados a feldespatos alcalinos de 20%, con cuarzo como accesorio de 8% entre los minerales máficos de biotitas, augitas y hornblendas que superan los 40% entre los principales minerales de alteración se observan sericitas, caolinitas, cloritas y minerales opacos. Diques que presentan una textura porfídica con una alteración argílica dominante.

## **2.4. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.4.1. Condiciones Geomecánicas del Macizo Rocoso**

La unidad geológica de afloramiento de todo tipo de rocas que distingue habitualmente la geología, como la roca de basamento para obras de ingeniería; así como túneles; galerías subterráneas, casas de máquinas, cimentaciones, muchas de estos afloramientos se llegan a investigar y evaluar mediante perforaciones diamantinas; como el caso de la veta Buenos Aires. Matriz rocosa es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua,

presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (GONZALES de VALLEJO, 2003).

Una discontinuidad es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso.

Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidades es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o en su caso, por el material de relleno.

#### **2.4.2. Mecánica de Rocas**

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamientos mecánicos de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico. El desarrollo de la mecánica de rocas se inicia como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras de ingeniería superficiales, subterráneas; durante la fase de perforaciones diamantinas en exploraciones de yacimientos de valor económico; para el diseño de medidas de sostenimientos en excavaciones subterráneas; entre otros en el diseño de grandes metros, centrales hidroeléctricas, presas y otros trabajos de ingeniería (GONZALES de VALLEJO, 2003).

#### **2.4.3. Macizo Rcoso**

Unidad geológica de afloramiento de todo tipo de rocas que distingue habitualmente la geología, como la roca de basamento para obras de ingeniería; así como túneles; galerías subterráneas, casas de máquinas, cimentaciones, muchas de estos afloramientos se llegan a investigar y evaluar cortadas, excavaciones subterráneas, piques de exploración y desarrollo de niveles; como el caso veta Buenos Aires de la mina La Soledad. Matriz rocosa es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de "roca intacta" que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (GONZALES de VALLEJO, 2003).

Una discontinuidad es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidades es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o en su caso, por el material de relleno (DEERE, D.U. 1964).

Macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente pueden considerarse una resistencia a la tracción nula.

- **Anisotropía.** La presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, foliación, familias de diaclasas tectónicas) implican diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional del macizo.
- **Discontinuidad.** La presencia de discontinuidades (superficie de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad.
- **Heterogeneidad.** Son las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido en agua, etc. Pueden presentar propiedades muy diferentes.

Las discontinuidades y los bloques de matriz constituyen en conjunto la estructura rocosa, y gobiernan el comportamiento global del macizo rocoso, predominando uno u otro componente en función de sus propiedades relativas y de la escala o ámbito de estudio en el macizo.

Además de las propiedades intrínsecas del macizo rocoso asociadas a las características de la matriz rocosa y de las discontinuidades, que definen en gran parte a su comportamiento. El macizo rocoso la unidad básica de la corteza terrestre, de ella podemos decir, que está formado por un conjunto de minerales petrogénicos en determinadas condiciones de presión y temperatura, entre otras

condiciones fisicoquímicas en el enlace de los iones mineralizantes y procesos de consolidación. Las rocas que constituyen la corteza terrestre se clasifican en; ígneas, sedimentarias y metamórficas (GONZALES de VALLEJO, 2003).

**Rocas Ígneas.** Formados por una masa sólida fundida, que se han solidificado por el enfriamiento del magma compuesto de diferentes tipos de minerales o agregados de minerales. Las rocas ígneas se agrupan en dos grupos grandes. Rocas ígneas intrusivas, son aquellos que llegan a cristalizar en el interior de la corteza terrestre en las condiciones favorables de presión y temperatura. Rocas ígneas extrusivas; son aquellas rocas que cristalizan y consolidan por encima o próximas a la superficie terrestre, que constituyen el afloramiento de rocas volcánicas. En la mina generalmente está constituido por granodioritas, dioritas, cubiertas en algunas zonas por rocas volcánicas de composición calco-alcalina del volcánico Nazca.

**Rocas Sedimentarias.** Se forman por la acumulación de sedimentos que se consolidan en una roca dura, con diferentes capas de estratificación. Pueden ser integrados por fragmentos líticos de composición poligenética de diferentes tamaños, minerales resistentes, restos de organismos y productos de acción química o de evaporación, mezcla de estos.

Por la descomposición química produce residuos y materiales en disolución, por tanto los minerales sueltos y las partículas de roca son transportados por el agua, viento, hielo; a las partes más deprimidas, donde se depositan en un nuevo orden de sedimentación. Según su origen las rocas sedimentarias se clasifican en clásticos y no clásticos.

**Rocas Metamórficas.** Son rocas que se han formado por la transformación de rocas sedimentarias e ígneas; que el conjunto de minerales que lo constituyen han sufrido ajustes estructurales y una re-cristalización en las condiciones fisicoquímicas o combinaciones impuestas por una determinada profundidad sujetos a una presión y calor, a consecuencia de la actividad de fluidos magmáticas químicamente activos (GONZALES de VALLEJO, 2003). En la zona de trabajo pequeños afloramientos de rocas del complejo basal de la costa de gneis y esquisto, que son intruidas por el batolito de la costa.

#### 2.4.4. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, en las excavaciones subterráneas y en los diferentes niveles de desarrollo; se ha evaluado con los parámetros propuestos por BIENIAWSKI (1976), sistema de valoración de macizo rocoso (Rock Mass Rating) comúnmente denominado RMR, cuyo procedimiento consta de los siguientes parámetros.

1. Resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso
2. Índice de calidad de roca RQD
3. Espaciamiento de las juntas
4. Estado de las fisuras
5. Condiciones hidrogeológicas de las aguas subterráneas
6. Corrección por la orientación de las discontinuidades

Para calcular el índice de calidad de roca RQD, se ha utilizado una ecuación diferencial propuesta por *Priest y Hodsson 1976*; en donde, se considera el número de discontinuidades por metro lineal.

$$RQD = 100e^{-\Omega\lambda}(1 + 0.1.\lambda), \text{ de donde (ecu 1)}$$

$\lambda$  = número de fracturas por metro lineal

RQD permite dar un valor numérico a la calidad de roca, no es de sorprenderse que se haya tratado de relacionar el número con la clasificación cualitativa de Terzaghi y relacionaron este valor modificando en valor de RQD; muy usual para el procedimiento de logueo.

**Cuadro N° 1 Índice Calidad de Roca**

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
25.0	Muy mala calidad
25 – 50	De mala calidad
50 – 75	De regular calidad
75 – 90	De buena calidad
90 - 100	De muy buena calidad

Fuente: Terzaghi, 1979.

Las granodioritas, dioritas, tonalitas se encuentran cortas en diferentes direcciones por tres sistemas de discontinuidades principales, asociados a un conjunto de juntas paralelas, el mapeo y evaluación geomecánica determinan la calidad de roca, en la veta Buenos Aires (Ver cuadro N° 2).

#### **Cuadro N° 2: Clasificación de Macizo Rocosó Según el Total de Valuación**

PARÁMETROS DE RMR	TIPO DE ROCA	CONDICIÓN
100 – 81	I	Muy buena roca
80 – 61	II	Buena roca
60 – 41	III	Roca regular
40 – 21	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

Fuente: Parámetros propuestos por Bieniawski (1976, 1979), para la clasificación geomecánica del macizo rocoso.

#### **2.4.5. Calidad de Macizo Rocosó**

La calidad del macizo rocoso se evalúa, en los afloramientos de unidades litológicas; en las perforaciones diamantina en diferentes profundidades; que consiste en determinar el estado de ruptura o deformación, causado por los principales sistemas de discontinuidades que llegan a fracturar, alterar y generar zonas de debilidad (HOEK, E., BROWN, E.T. 1980), (Ver Fig. N° 02).



Figura N° 2: Afloramiento del macizo rocoso con superficies de alteración argílica en zonas próximas a la estructura mineralizada.

#### 2.4.6. Índice de Calidad de Macizo Rocosó

Para determinar el índice de calidad de macizo, ha sido evaluado por diferentes autores en base a un conjunto de observaciones del comportamiento de los parámetros geomecánicos.

Esta clasificación fue propuesta por Barton, Lien y Luden (1974) del N. G. I. (Norwegian Geotechnical Institute), consisten determinar el índice de la calidad de roca con la siguiente relación (ecu, 1).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{donde} \quad (\text{ecu, 2})$$

RQD = Índice propuesto por Deere. (Índice de calidad de roca)

$J_n$  = Número de familias, sistema de discontinuidades.

$J_r$  = Factor de rugosidad de las discontinuidades.

$J_a$  = Factor de alteración de las discontinuidades.

$J_w$  = Factor de reducción de las condiciones hidrogeológicas de las discontinuidades.

SRF = Factor de reducción por tensiones.

El factor  $RQD/J_n$  representa la estructura de la masa rocosa es una medida aproximada del tamaño de bloques o fragmentos líticos; que dependerá por separación de los planos de discontinuidades.

El factor  $J_r/J_a$  representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno, que se encuentran en la obtención de las perforaciones diamantinas. Parámetros que determinan el grado de alteración del macizo rocoso; si las condiciones del macizo son malas; se procederá a diseñar las medidas de sostenimiento adecuado.

El factor  $J_w/SRF$ , consiste en la pérdida de carga, en las excavaciones subterráneas en perforaciones diamantina y la presión de confinamiento del macizo de acuerdo a la profundidad, las condiciones de flujos de aguas subterráneas, el tipo de relleno, la resistencia de la roca y otros aspectos que afecta al comportamiento geomecánico del macizo, durante y después del proceso constructivo (BIENIAWSKI Z. T. 1979), en las diferentes áreas de trabajos de ingeniería; así como en las excavaciones subterráneas en los diferentes niveles de la veta Buenos Aires.

#### **2.4.7. Planos Principales de Sistema de Discontinuidades**

De acuerdo al análisis de las condiciones de esfuerzos cortantes que actúan en el macizo rocoso, en las excavaciones subterráneas en los diferentes niveles, se realiza el mapeo taxonométrico del sistema de discontinuidades que llegan a deformar; entre ellos las juntas y fallas, son los principales planos que crean cuñas de caída y la inestabilidad del macizo, en los niveles más profundos; que están directamente relacionados a la deformabilidad de la actividad tectónica, al movimientos de los flujos de aguas subterráneas, el grado de alteración de la roca matriz; es decir relacionados a los principales fallamientos locales y regionales, que intervienen en el desplazamiento de planos de juntas principales, con respecto a otros planos que crean brechamientos en la matriz del macizo rocoso.

#### **2.4.8. Juntas**

Son sistemas de fracturamientos que se observan en las obras subterráneas paralelas al sistema de discontinuidades principales; son juntas que no presentan desplazamientos algunos con respecto a un bloque de apoyo. Muchas de las juntas se presentan paralelas al dominio estructural de fallas dominantes en el macizo rocoso, en la deformación del macizo.

La mayoría de las juntas, presentan relleno de roca triturada entre los planos de diaclazamiento y/o fracturamiento; los mismos que nos inestabilizan al macizo rocoso; se observa el auto-sostenimiento de los bloques que constituyen la matriz rocosa.

#### **2.4.9. Excavaciones Subterráneas**

En un diseño convencional de ingeniería, lo primero es determinar las cargas que se aplicaran, para luego prescribir el material que tenga las suficientes características de resistencia y de formación y que como consecuencia se determina la geometría y las dimensiones. En el caso de las excavaciones subterráneas, el diseñador tiene que entenderse con el macizo rocoso, y no es posible prescribir propiedades específicas de este material para cumplir con los requerimientos del diseño. Por otro lado, en mecánica de rocas las cargas de diseño no son importantes, como las que resultan de la redistribución de los esfuerzos iniciales de campo, es decir aquellos que existían previamente a la excavación.

Existen además, una variedad grande de formas de comportamiento del macizo rocoso y la evaluación de la resistencia del macizo rocoso, representa uno de los problemas difíciles de resolver. Por lo tanto, es claro que en el diseño de la excavación en roca se requiere una operación estrecha entre las especialidades de geología, civil y minera.

Lo indicado arriba no quiere decir que las fases típicas de un diseño no sean aplicados al caso de una excavación todo lo contrario, sin embargo el diseño de excavación subterránea requiere de consideraciones especiales que implican el conocimiento de condiciones geotécnicas del lugar. E. Hoek (1993) expone una

filosofía de diseño que por considerarla importante: “El objetivo primordial de todo diseño de excavación subterránea debe ser el utilizar a la roca, como el principal material estructural, disturbado al mismo tiempo la roca durante la fase de excavación y utilizando lo menos que se puede de concreto o acero de refuerzo. En su estado intacto muchas de las rocas duras son algunas de ellas, son tan resistentes como una roca muy silicificada.

Consecuentemente no tiene en reemplazar un material que puede ser perfectamente el adecuado por otro, que no es mejor. Un buen diseño en ingeniería balanceado, en el cual todos los factores interactúan, aun aquellos que no son cuantificables, es tomado en cuenta. La responsabilidad de todo ingeniero no es calcular con precisión, sino más bien juzgar profundamente.

En esencia, el diseño de mecánica de rocas aplicado a obras subterráneas incorpora aspectos tales como planeamiento de la ubicación de las estructuras, determinación de sus dimensiones y formas, su orientación y distribución, procedimiento de excavación (voladura, cortadura), selección de refuerzo o soporte y la instrumentación.

#### **2.4.10. Procesos Relacionados al Magmatismo**

La evolución magmática está relacionada a los procesos tectónicos, las mismas que se forman por la fusión de los silicatos en estado de fusión. La diferenciación magmática es el desarrollo de series continuas y discontinuas en la formación de cuerpos ígneos, los mismos que están relacionados a la formación de yacimientos minerales.

#### **2.4.11. Procesos Magmáticos**

Los procesos pegmatíticos generan una mineralización de berilo, niobio, tantalio, litio y tierras raras generados en la fase transicional pegmatítica de la evolución magmática, entre 800 - 700°C. Las pegmatitas son generadas por procesos de cristalización fraccionada de los magmas residuales, cristalizado alrededor de plutones y rocas circundantes.

Las estructuras típicas de las pegmatitas pueden ser, equigranular, laminada, zonada, micropegmatítica y reticular. La textura de los minerales pueden ser, diseminada, bandeada, lenticular, mirolítica y radial.

El intercrecimiento grafico es una de las estructuras características que ocurre debido a la cristalización simultánea del feldespatos y cuarzo; de turmalina, moscovita o granate con cuarzo; moscovita con pertitas y cuarzo con berilo.

En algunos casos se pueden encontrarse pequeñas cantidades de sulfuros como calcopirita, molibdenita, esfalerita que son ampliamente distribuidos en las pegmatitas; así como en las granodiorita, dioritas de la veta Buenos Aires. La actividad magmática del sur del Perú es de composición calco – alcalina; que corresponde al batolito de la Costa, a la unidad geomorfológica de la faja costanera.

#### **2.4.12. Actividad Magmática**

La fase magmática está asociada a la generación de depósitos minerales de cromo, platino, cobre, titanio o hierro. En general son considerados como depósitos intra – magmáticos, porque la mineralización ocurre a una distancia pequeña de la fuente de emisión. Durante esta etapa cristalizan los minerales pirogenéticos como plagioclasa, olivino, piroxenos, nefelina y leucita a partir de magmas relativamente secos y a temperaturas sobre 800°C, dando lugar a la consolidación magmática. Durante esta etapa también cristalizan algunos minerales metálicos como magnetita, ilmenita, cromita y otros minerales hidratados.

Durante la cristalización fraccionada acompañada de una mineralización metálica ocurre principalmente con los magmas toleíticos (en menor proporción con los magmas alcalinos) concentrados y acumulados minerales de cromo, titanio y hierro.

Estos metales cristalizan paralelamente con los minerales formadores de roca; al inicio de la diferenciación magmática, conjuntamente con el olivino, piroxenos y las plagioclasas cálcicas generando una mineralización diseminada en los cuerpos de rocas plutónicas. Cuando el proceso de cristalización fraccionada

ocurre en zonas estables, tipos de plataformas, llegan a formar cuerpos estratiformes masivos.

El proceso de mineralización continúa durante el proceso de segregación magmática hasta la última fase de cristalización de los minerales constituyentes en las soluciones acuosas. La cristalización fraccionada en los magmas alcalinos genera minerales de carbono, fósforo, niobio, tierras raras y uranio, que cristalizan principalmente en forma diseminada. La mayoría de estos depósitos no alcanza un grado fuerte de concentración y un valor económico comercial necesario para su explotación.

#### **2.4.13. Fluidos Hidrotermales**

Una gran parte de yacimientos emplazados en las francas metalogénicas del Perú fueron mineralizados por fluidos hidrotermales conocidos también como aguas juveniles, aguas magmáticas, aguas hipogénicas. Los fluidos hidrotermales se forman al final de la consolidación magmática, el mismo que tiene de 1 – 5% de agua, en el Perú el magma, corresponde a rocas ígneas de composición félsicas a intermedias (calco – alcalinas). En profundidad se tiene mayor presión y temperatura, cerca de superficie la presión y temperatura disminuyen. En esta última condición decrece la solubilidad de los iones complejos de los fluidos hidrotermales, produciéndose las precipitaciones para formar estructuras mineralizadas.

El flujo hidrotermal en profundidad es ligeramente ácido, al reaccionar dicho flujo con la roca encajonante durante su ascenso la acidez baja y se produce la precipitación de los minerales (Tumialan P. H. Compendio de Yacimientos Minerales. INGEMMET 2000).

#### **2.4.14. Alteraciones Hidrotermales**

Son los cambios que ocurren en la estructura de la roca encajonante en mineralogía y textura debido a los fluidos mineralizantes. La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral, para indicar el carácter de las soluciones asociadas de los minerales secundarios. La conversión de un ensamble de minerales primarios a otra más estable, apropiado a las condiciones de

temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal puede ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos.

#### 2.4.14.1. Alteración Argílica

La alteración argílica está caracterizada por la formación de minerales arcillosos bajo un intenso metasomatismo de  $H^+$  (lixiviación ácida) con temperaturas entre  $100 - 300^{\circ} C$ . Esta alteración gradada hacia el interior hacia una zona fílica, considerando hacia el exterior una gran zona propilítica. Este tipo de alteración es común en los sistemas porfídicos de depósitos de pórfidos de  $Cu - Mo$ . Los ambientes epitermales son tipificados por una extensa lixiviación ácida, con posterior alteración argílica que proveen una muy útil guía de mineralización.

La lixiviación básica de aluminio – silicatos pueden resultar en un enriquecimiento en sílice y de la **alteración argílica**, y pueden ser un gran factor para las zonas de enriquecimiento en sílice. Los minerales de arcillas reemplazan principalmente a las plagioclasas y a los minerales máficos (hornblenda, biotita). (INGEMMET, Acosta, 2010).

La alteración argílica intermedia es definida como la presencia de montmorillonita, illita (menor de  $100^{\circ}C$  y  $pH 5 - 6$ ), clorita y arcillas del grupo de caolín (caolinita, dickita, halloysita, alófana todas ellas formadas a temperaturas menores de  $300^{\circ}C$  y  $pH < 3$ ) y menor cantidad de sericita y de cuando en cuando el feldespato K puede estar como un remanente inalterado, con el K, Ca, Mg, Na, no lixiviados completamente.

Las biotitas y cloritas pueden ser localmente importantes. Entre las zonas de alteración argílica intermedia puede estar presente la caolinita hacia el interior de la zona fílica, pudiendo estar las arcillas como montmorillonitas en las zonas externas (LEÓN, W.; PALACIOS, O.; TORRES, V. 2000).

La alteración argílica avanzada es debida al intenso ataque ácido, y más o menos completa lixiviación de los cationes alcalinos con la completa destrucción de los feldespatos y fases de silicatos máficos.

La alunita, dickita, caolinita, pirofilita, baritina y diáspora son las fases de minerales típicos de éste tipo de alteración. Además, pueden estar presentes sulfuros, topacio, turmalina y un rango de arcillas amorfas.

Los minerales de sulfuros pueden contener covelina, digenita y enargita (proporciones altas de sulfuros primarios). La alteración argílica avanzada se observan frecuentemente en yacimientos epitermales de alta sulfuración de Au – Ag. La alteración argílica avanzada es encontrada en sistemas de pórfidos, en el interior de la base hidrotermal y vetas relacionadas a minerales preciosos, y más típicamente en los sistemas de sulfuros primarios epitermales.

#### **2.4.14.2. Alteración Potásica**

Esta alteración se forma a una alta temperatura de 300 - 700°C. Mineralógicamente se observa reemplazamiento de plagioclasa por ortoclasa, reemplazamiento de hornblenda o clorita por biotita, moscovita. A veces están acompañadas de una lixiviación de calcio y sodio.

Presenta un ensamble característico de ortoclasa – biotita – cuarzo, ortoclasa – clorita algunas veces ortoclasa – biotita – clorita, ortoclasa – biotita – magnetita; acompañado por cantidades variables de otros minerales como albita – sericita – anhidrita – apatito. Los minerales característicos de esta alteración son feldespatos potásicos y biotita en los pórfidos y adularia en los sistemas epitermales.

La alteración potásica está usualmente acompañada por sulfuros (calcopirita, pirita, molibdenita).

#### **2.4.14.3. Alteración Fílica**

La alteración fílica o sericitización es típica de un ensamble cuarzo – sericita – pirita. Las fases minerales, asociadas con la alteración QSP son el feldespato potásico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anhidrita y apatito.

Común en vetas hidrotermales, en los pórfidos de cobre que se producen a temperaturas de 200 - 300°C. Esta alteración grada hacia el interior hacia el tipo potásico, por el incremento de feldespato potásico y/o biotita, y hacia el interior

tiende a una alteración de tipo argílica por incremento en las cantidades de minerales de arcillas.

En los pórfidos de cobre se encuentra como una franja concéntrica rodeando al área de alteración potásica, el ancho de esta franja concéntrica está en función de la dimensión del pórfido, pudiendo ser dicho ancho del orden de centenas de metros. En los yacimientos diseminados de oro, a profundidad se observa una ligera sericitización, reconocido por su aspecto blanquecino más untuoso que el talco.

#### **2.4.14.4. Alteración Propílica**

La alteración propílica está caracterizada por la adición de  $H_2O$  y  $CO_2$  y localmente azufre, con un apreciable metasomatismo de  $H^+$ . Los minerales típicos son; clorita, epidota, carbonatos, albita, feldespato potásico y pirita. En lugar de sericita, se tiene los óxidos de Fe, montmorillonita y zeolitas son también comunes. La presión bien definida y campos de temperatura estables de los minerales de zeolitas marcan un importante monitoreo de temperaturas y profundidades. Este rasgo es particularmente importante en sistemas epitermales. Común en yacimiento hidrotermales del Perú; se observa clorita, epidota, calcita por alteración hidrotermal de los minerales ferromagnesianos de la roca encajonante; se produce en un rango de temperaturas de 180 - 220°C. La alteración propílica tiende a ser más penetrante hacia la zona interior de un depósito hidrotermal, o en otras palabras, alrededor de una fuente hidrotermal caliente. La alteración propílica grada hacia el exterior a una roca no alterada, o donde el metamorfismo está presente hacia el interior, como las rocas de facies de esquistos verdes.

#### **2.4.14.5. Silicificación**

Uno de las alteraciones más comunes y mejor conocidos en los procesos hidrotermales. Las formas más comunes de la sílice son el cuarzo -  $\alpha$  de baja temperatura, o cuarzo bajo es la forma más común, el cuarzo -  $\beta$  de alta temperatura o cuarzo alto (tridimita, cristobalita, ópalo, calcedonia) generalmente se encuentran en rocas volcánicas. La tridimita es especialmente común como un producto de desvitrificación de vidrios volcánicos, formando intercrecimiento

con feldespatos alcalinos. Durante los procesos hidrotermales la sílice puede ser introducida de los fluidos circulantes, o este puede ser dejado atrás en la forma de sílice residual después de la lixiviación de las bases. La solubilidad de la sílice se incrementa con la temperatura y la presión, y si la solución experimenta una expansión adiabática la sílice precipita, así que en regiones de baja presión y temperatura éste es prontamente depositado.

#### **2.4.15. Mineralización Aurífera**

La mineralización aurífera, tiene diferentes ámbitos de formación, que se encuentra asociados a minerales de control de alta temperatura. De MONTREUIL L. (1990), Mineralogía de Yacimientos Auríferos del Perú, realiza una sinopsis de las diferentes franjas de yacimientos de Au en el Perú, rescatando la ocurrencia de Au nativo sobre electrum en los depósitos mesotermales de la franja Nazca – Ocoña, también la relación del ratio Au/Cu mostrando la importancia en este tipo de yacimientos, hay valores de Au si ocurren contenidos de Cu en la pirita. Ejecuta un modelo primigenio de lo que serían las franjas metalogénicas del Perú publicadas por el INGEMMET (2000).

De MONTREUIL L. (1979), Ocurrencias de oro y sus asociaciones – Franja Nazca Ocoña, resalta las características mineralógicas del distrito minero mostrando una estrecha relación entre el Au, la pirita y el cuarzo, mencionan las tendencias andinas en las estructuras y el emplazamiento de la mineralización desde ambientes hidrotermales, hipotermales a mesotermales. La mineralización metálica del área ocupa metalogénicamente la faja cuprífera sur de la vertiente pacífica que se extiende a lo largo de la parte baja y media occidental de los Andes.

El potencial minero en el frente andino está dado por la pequeña minería que trabaja a escala limitada, siendo los yacimientos exclusivamente filoneanos de tipo hipo, meso y epitermal, algunos de los cuales han sufrido enriquecimiento supergénico. Las vetas en general, presentan rumbos coincidentes con la dirección de la Cordillera Occidental, con buzamientos moderados y potencias promedio de alrededor de 1 m. La mineralización en esta región está relacionada

genéticamente a las intrusiones del Batolito de la Costa, al Complejo Bella Unión, diques de composición calco-alcalina y se halla emplazada en rocas encajonantes tanto de dichas unidades posteriores, como en secuencias volcánicas Nazca y volcánico-sedimentarias del Jurásico - Cretácico.

#### **2.4.16. Diseño de Excavaciones Subterráneas**

En un diseño convencional de ingeniería, lo primero es determinar las cargas que se aplicaran, para luego prescribir el material que tenga las suficientes características de resistencia y de formación y que como consecuencia se determina la geometría y las dimensiones. En el caso de las excavaciones subterráneas, el diseñador tiene que entenderse con el macizo rocoso, y no es posible prescribir propiedades específicas de este material para cumplir con los requerimientos del diseño. Por otro lado, en mecánica de rocas las cargas de diseño no son importantes, como las que resultan de la redistribución de los esfuerzos iniciales de campo, es decir aquellos que existían previamente a la excavación.

Existen además, una variedad grande de formas de comportamiento del macizo rocoso y la evaluación de la resistencia del macizo rocoso, representa uno de los problemas difíciles de resolver. Por lo tanto, es claro que en el diseño de la excavación en roca se requiere una operación estrecha entre las especialidades de geología, civil y minera.

Lo indicado arriba no quiere decir que las fases típicas de un diseño no sean aplicados al caso de una excavación todo lo contrario, sin embargo el diseño de excavación subterránea requiere de consideraciones especiales que implican el conocimiento de condiciones geotécnicas del lugar. E. Hoek (1980) expone una filosofía de diseño que por considerarla importante:

El objetivo primordial de todo diseño de excavación subterránea debe ser el utilizar a la roca, como el principal material estructural, disturbado al mismo tiempo la roca durante la fase de excavación y utilizando lo menos que se puede de concreto o acero de refuerzo. En su estado intacto muchas de las rocas duras son algunas de ellas, son tan resistentes como el acero. Consecuentemente no

tiene en reemplazar un material que puede ser perfectamente el adecuado por otro, que no es mejor.

Un buen diseño en ingeniería balanceado, en el cual todos los factores interactúan, aun aquellos que no son cuantificables, es tomado en cuenta. La responsabilidad de todo ingeniero no es calcular con precisión, sino más bien juzgar profundamente”. En esencia, el diseño de mecánica de rocas aplicado a obras subterráneas incorpora aspectos tales como planeamiento de la ubicación de las estructuras, determinación de sus dimensiones y formas, su orientación y distribución, procedimiento de excavación (voladura, cortadura), selección de refuerzo o soporte y la instrumentación.

#### **2.4.17. Medidas de Sostenimiento**

El sostenimiento se refiere a los elementos estructurales de sujeción del terreno; aplicaciones inmediatamente después de la excavación del túnel, galerías de desarrollo, u otras excavaciones subterráneas que requieren la instalación de medidas de sostenimiento inmediato, durante el proceso constructivo, en función de la calidad del tipo de roca; con el fin de asegurar su estabilidad durante la construcción y después de ella, así como garantizar las condiciones de seguridad.

#### **2.4.18. Condiciones Hidrogeológicas**

Durante la excavación de túneles, galerías de exploración o explotación, se producen filtraciones o flujos de aguas subterráneas, los cuales son drenados de acuerdo a las características de ocurrencia de agua, en la matriz rocosa. Desde anomalías de humedad hasta grandes filtraciones por planos de fisuras; si las condiciones de excavación de obras subterráneas se encuentran por debajo del nivel freático.

Los flujos de caudales mayores de aguas subterráneas debilitan la estabilidad del macizo rocoso, aumentan el grado de alteración en el relleno que se encuentran entre los planos de fractura en la matriz rocosa.

#### **2.4.19. Fenómeno de Estallido de Rocas**

El fenómeno de estallido de rocas en galerías, túneles profundos es muy conocido y requiere la toma de medidas especiales durante la construcción y la aplicación de sostenimiento durante la excavación. La forma más común de estallido de rocas se debe al repentino desplome o explosión de fragmentos de roca, generalmente en la bóveda central o laterales de un túnel. Son fenómenos de explosión de fragmentos de roca cizallada por la liberación de esfuerzos que actúan en la envoltura de la excavación subterránea, que son tensiones asociados a la deformación tectónica de esfuerzos activos.

Este fenómeno se manifiesta con mayor frecuencia en túneles relacionados con la minería, ya que estos se excavan a mayor profundidad que los túneles en el campo de la ingeniería civil.

La fracturación por dilatación de las rocas se manifiesta cuando las tensiones cerca de la excavación exceden la resistencia del macizo. Aunque las ondas sísmicas pueden desencadenar el proceso, el origen causado por la fracturación por dilatación de rocas está influenciado por las tensiones existentes alrededor de la excavación.

La estabilidad del macizo rocoso depende, de la sección de excavación subterránea; en las que actúan directamente los sistemas de discontinuidades dominantes, en cada caso. A menor sección se mantiene más estable, si la clasificación es roca buena; no requiere instalar, ninguna medida de sostenimiento por lo menos hasta diez años (LÓPEZ JIMENO C. 1997).



Figura Nº 3: Instalación de cimbras, con distanciamiento en cada Metro, en roca de tipo III.



Figura Nº 4: Galería de acceso del nivel 1510, con medidas de Sostenimiento convencional con cuadros de madera.

## CAPITULO III

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. GENERALIDADES

La caracterización geomecánica del macizo se llega a identificar, en base al comportamiento de los parámetros geomecánicos, están directamente relacionados al grado de fracturamientos, controlados por los principales sistemas de discontinuidades, que llegan a determinar la calidad del tipo de roca a lo largo de la galería de desarrollo, sobre la estructura mineralizada. El resultado de la investigación del tipo de roca en la veta es favorable, para continuar, con la excavación en los frentes de avance y la búsqueda de valores altos en los clavos mineralizados, que llegaría a prolongar la vida útil del yacimiento aurífero. La mineralización en la unidad minera La Soledad, veta Buenos Aires, en esta región está relacionada genéticamente a las intrusiones del Batolito de la Costa, al Complejo Bella Unión, a diques de composición calcoalcalina y a unos conjuntos de intrusiones posteriores, que llegan a cortar a las primeras formaciones geológicas.

Estructuras mineralizadas que se encuentran emplazadas en rocas plutónicas. Unidades litológicas que corresponden a la Grupo Yura del Jurásico superior como roca basamento y superpuesta por el volcánico Nazca.

Las rocas plutónicas se considera como roca metalotecto, en la franja metalogénica Nazca – Ocoña; en las que se ha caracterizado estructuras vetiformes, paralelos a la estratificación. Los eventos de mineralización son relacionados a más de tres pulsaciones magmáticas que trajeron los fluidos

acuosos auríferos acidificados por el metasomatismo del ion hidrogeno; resultado de ésta actividad geoquímica se tiene la mineralización de algunos clavos mineralizados (en los diferentes niveles se encuentran asociados a alteraciones de la roca de caja) con valores de 10 – 15 gr/t, como promedio. De tal manera en la zona de lixiviación el oro se encuentra en óxidos de Fe y minerales como jarosita, caolinita y clorita como indicadores, en este yacimiento.

### 3.2. UBICACIÓN Y ACCESO

Las propiedades de Minera La Soledad se ubican entre las Quebradas de Chalhuane, Purimarca y San José entre las alturas de 1,400 a 2,000 metros sobre el nivel de mar. La zona pertenece políticamente al Distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Región de Arequipa. (Ver cuadro N° 3).

**Cuadro N° 3: Vías de Acceso**

DESDE	HASTA	DISTANCIA EN KM	TIPO DE VÍA
Arequipa	Ocoña	234.00	Asfaltada
Ocoña	San Juan de Chorunga	75.00	Afirmado – trocha carrozable
San Juan de Chorunga	Minera la Soledad	15.00	Trocha Carrozable
<b>TOTAL</b>		<b>324.00</b>	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Condiciones Climáticas

El clima de la zona en estudio es muy variado y esto se debe en especial, a la diferencia de cota, la cual se relaciona también con la distancia del Océano. Donde, juega un papel importante la configuración del terreno y las diferentes estaciones del año.

En la faja litoral y en la cadena Costanera, el clima es templado y húmedo, la mayor parte del año esta nublado y ocasionalmente se producen finas precipitaciones que dan lugar al crecimiento de pasto cubren una gran parte de las quebradas y en mínima proporción en la superficie, entre los 1200 y 1800 m.s.n.m. se presentan nubes del tipo estratocúmulo que cubre toda el área dificultando la visibilidad. A nivel del mar, el viento es fuerte llevando consigo

arenas de la playa contigua. Durante los meses de verano el calor es considerable y el clima es cálido. Es desértico en invierno con cambios de temperaturas fuertes entre el día y noche, con neblinas débiles y verano mayor densidad de nubes con ocasionales lluvias finas.

### **3.4. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

El afloramiento de granodioritas de textura holocristalina, porfídica con fenocristales idiomorfos de plagioclasas, cuarzo, augitas y biotitas, roca que se considera como basamento parte de la estructura mineralizada en las proximidades de la veta Buenos Aires, parte de la quebrada Chalhuane y Soledad caracterizado por un afloramiento de un pórfido diorítico en forma circular, de grano medio a grueso y se encuentra fuertemente argilizado con presencia de hematitas-limonitas, esta diorita se encuentra cortada por diques dioríticos más recientes y también aplíticos.

Las rocas volcánicas se presentan como pequeños afloramientos aislados, con techos recubiertos a las unidades precedentes especialmente sobre las rocas plutónicas, principalmente en la parte N NW y S SE, litológicamente constituida por tufos riolíticos-dacíticos con presencia de fenocristales de biotita y vidrio volcánico, de color marrón claro-rojizo.

Presenta un grado de compactación variable y textura homogénea, con disyunción angular. Se correlaciona con los volcánicos Senca de edad Plioceno inferior-medio.

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo de las quebradas Chalhuane, Purimarka, San José, estas quebradas muestran un fuerte dinamismo en la época de lluvias, produciendo constantes huaycos en época de lluvia.

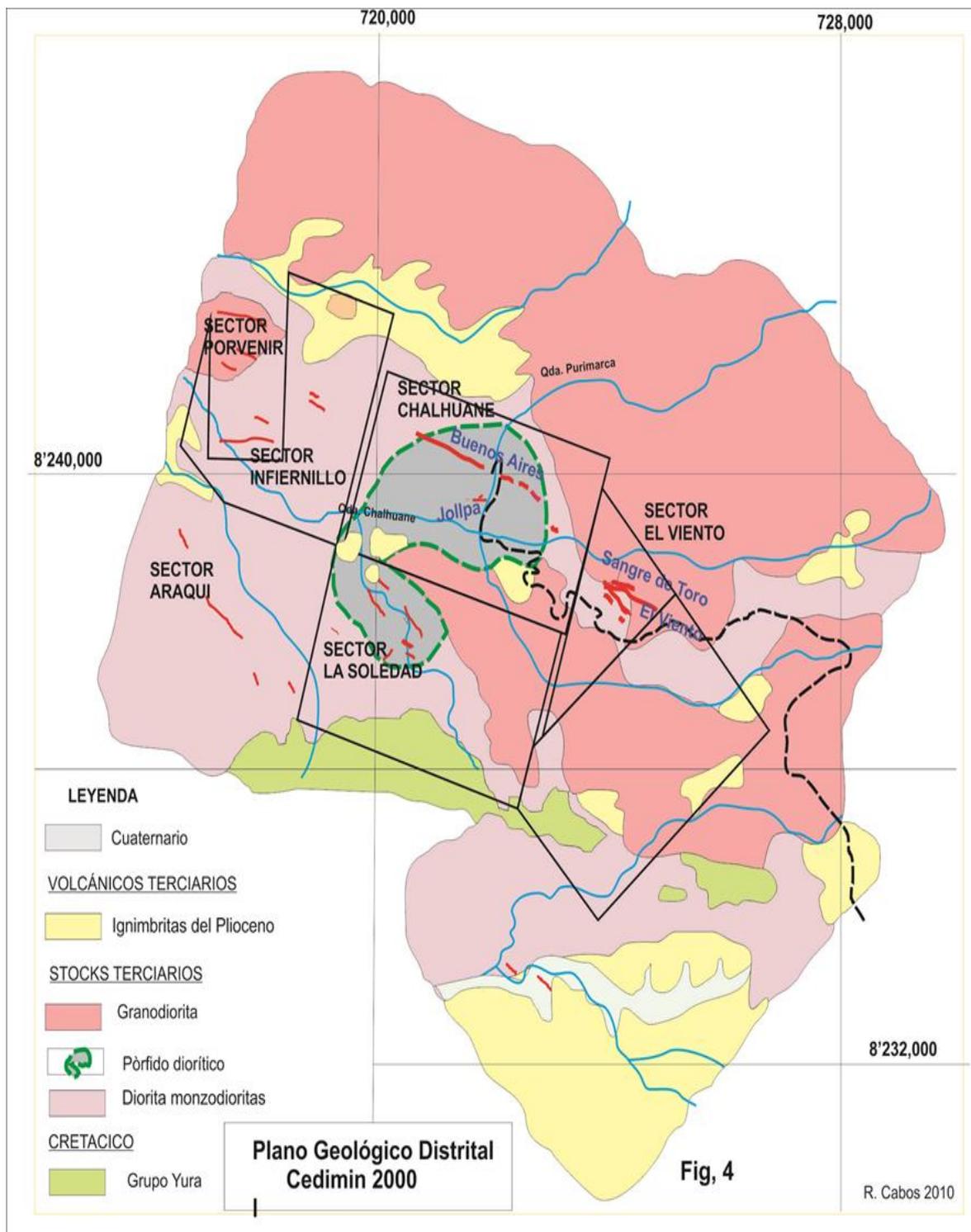


Figura N° 5: Plano geológico local de las estructuras minerales de la mina La Soledad.

El área Chaluane encierra un sistema pórfido Cu- vetas Au el cual está metalogenéticamente ubicado en la bien conocida Franja Aurífera Regional Nazca – Ocoña. El depósito aurífero es mesotermal, y está rodeado de minas cercanas auríferas como San Juan de Chorunga que ha producido ya cerca de

un millón de onzas y la mina Alpacay cuya producción histórica está por encima de 150 mil onzas.

Este proyecto está cubierto por 3,893 hectáreas en las cuales ocurre un agregado de aproximadamente 4 km de vetas con clavos mineralizados de alta ley. Sobre la estructura se distribuyen las vetas; como Buenos Aires y La Española, que ocupan el halo externo del sistema porfídico, mientras que las vetas Sangre de Toro, Yudith, El Viento, Santa Rosa ocurren dentro de rocas granodioríticas. Otras vetas como Ubaldina, Santa Rosa, Victoria, también ocurren en rocas de textura porfídicas, alejados del halo principal de alteración del pórfido, dentro el área de la mina La Soledad.

Las fallas geológicas, que predominan, en el área de investigación tienen una orientación del dominio andino; entre los principales se ha caracterizado dos fallas; de rumbo N 30° W con ligeras variaciones a una oriental E – W; seguido por sistema fracturamiento mas locales de rumbo N 55° W con variables en la dirección E – W; con un buzamiento de 64° – 85° hacia el noreste. Estos dos sistemas de fallas tienen una longitud promedio de hasta 2.00 Km. Hay sistema de fallas locales que tienen un rumbo en la dirección NE; son cortas y muy pocas veces con relleno de mineral.

### **3.5. ROCAS INTRUSIVAS**

#### **3.5.1. Granodiorita**

Son rocas ígneas plutónicas de textura holocristalinos, faneríticas que está caracterizado por fenocristales de plagioclasas de 56 %, feldespatos potásicos de 18 %, cuarzo 16 %; entre los principales minerales máficos más común es la biotita, piroxenos, hornblenda, que constituyen el 25 %; entre los minerales accesorios más comunes son; apatito, magnetita, ilmenita, circón esfena y granates. Entre los minerales productos de alteración se encuentran; sericita, caolinita, calcita, clorita, esfena, limonita, hematita y cuarzo.

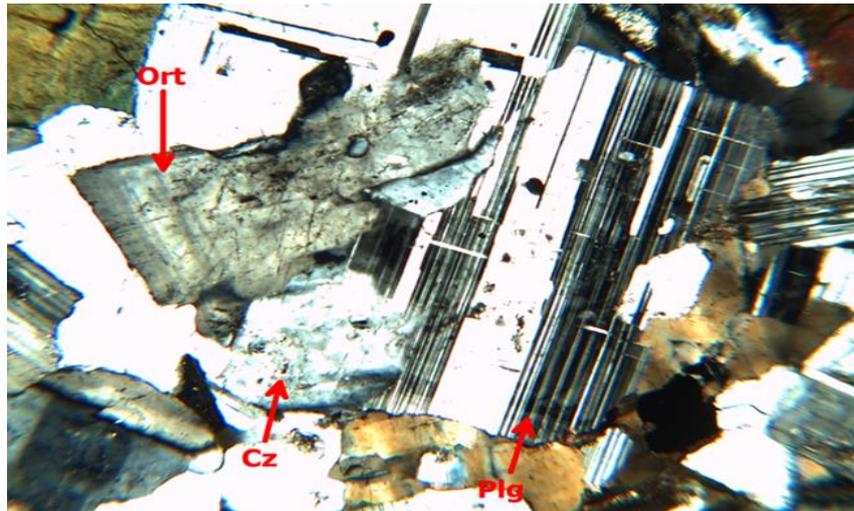


Figura N° 6: Microfotografía de sección delgada que corresponde a la granodiorita, caracterizados por fenocristales idiomorfos de plagioclasas, ortoclasa, cuarzo y augitas; entre los minerales de alteración se observan sericitas, caolinitas, en los bordes de las plagioclasas.

### 3.5.2. Dioritas

Constituidos principalmente por diques de dioritas, compuestos de fenocristales de plagioclasas de 62 % con núcleos de zonación concéntrica y con bordes de alteración argílica; entre los principales minerales máficos es biotita, augitas, hornblendas de 10 – 40% entre todos.

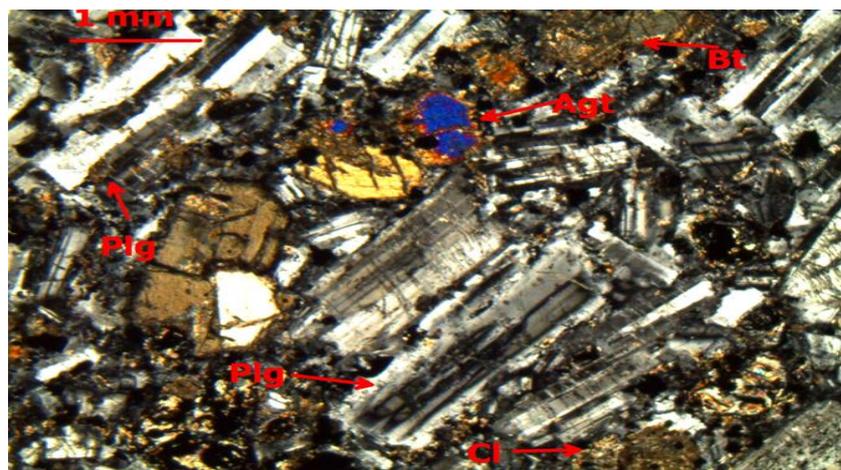


Figura N° 7: Microfotografía Fenocristales de plagioclasas con núcleos de zonación concéntrica, cristales subhedrales de augitas con superficies de alteración a cloritas.



Figura N° 8: Microfotografía Fenocristal idiomorfo de plagioclasa corroído, alterado con intercrecimiento de otros cristales de plagioclasas como una segunda etapa de enfriamiento del magma, sección que corresponde a una tonalita.

### 3.5.3. Tonalitas

Son rocas calco-alcalinas, que afloran en los niveles más profundos de los niveles 1470 – 1410 compuestos de granos de cuarzo de 15%. Fenocristales de plagioclasas con núcleos de zonación de 46%; augitas de 10%, biotitas de 5%; es muy frecuente la alteración de biotitas en cloritas, y la presencia de alteración argílica en las proximidades de la estructura principal, con una diseminación de pirita masiva.

### 3.6. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

La identificación del macizo rocoso en la Unidad Minera La Soledad, está sujeto a los cambios de deformación producidos por tres sistemas de discontinuidades principales dominantes; que están relacionados generalmente al dominio andino.

Los parámetros geomecánicos en la galería de desarrollo han sido debidamente mapeados; teniendo en consideración todas las características de los planos de discontinuidades el tipo de mineralización que son observados en el macizo rocoso; así como el grado de meteorización, el tipo de alteración predominante, el espaciamiento entre las juntas. Datos que fueron debidamente mapeados. El

criterio básico para caracterización del macizo rocoso, es analizar el comportamiento de los parámetros geomecánicos, que consisten en el tipo de superficie, grado de alteración, relleno entre las juntas y otros aspectos que se pueden detallar.

### **3.6.1. Litología de la Galería de Desarrollo**

El afloramiento del macizo rocoso, a lo largo de la galería de desarrollo en los diferentes frentes de producción; está caracterizado por granodioritas, dioritas, monzodioritas y otros diques menores de composición calco-alcalino. Según el comportamiento de los parámetros geomecánicos, se determina que el tipo de roca es de RMR 64 – 84 valores que corresponde al tipo de roca II – I macizo de regular a buena calidad.

### **3.6.2. Identificación de Sistemas de Discontinuidades Principales**

Para la identificación del sistema de discontinuidades dominantes se realiza el mapeo correspondiente de los planos de fracturamiento a lo largo del diseño proyectado de la línea de conducción, cuyo objetivo principal es determinar la calidad del macizo proponer el tipo de roca para el proceso constructivo. Para la caracterización de todos los parámetros geomecánicos, de las familias de discontinuidades que llegan a deformar a la matriz rocosa del macizo rocoso, se procede la toma de datos de juntas, dirección y orientación de los planos de ruptura, valores que sirven para clasificar el dominio estructural, del macizo rocoso.

La identificación de las discontinuidades en la evaluación de la galería de producción, permite identificar con claridad la orientación dominante, para poder definir el comportamiento y la estabilidad de los parámetros geomecánicos.

### **3.6.3. Densidad de las Discontinuidades**

Es la cantidad o frecuencia de discontinuidades que afectan la deformación del macizo, para su medida se emplea como índice básico, el intervalo de discontinuidades propuesta para túneles; en las que también se puede usar para

caracterizar el estado y la calidad de macizo rocoso, solamente considerado en intervalo de discontinuidades, para cada tramo zonificada (Ver cuadro N° 4).

**Cuadro N° 4: Densidad de Discontinuidades**

CLASES	INTERVALO ENTRE DISCONTINUIDADES (cm)	DENSIDAD DE DISCONTINUIDADES
ID 1	$\geq 200$	Muy baja, roca buena
ID 2	60 – 200	Baja
ID 3	20 – 60	Media
ID 4	6 – 20	Alta
ID 5	$\leq 6$	Muy alta, roca mala

Fuente: SUCAPUCA (2001) Excavación del Túnel Taya Taya, Tesis de Ing. Geólogo EPIG - UNAP).

En la mayoría de las familias de sistema de discontinuidades, tienen una alta frecuencia de continuidad alta a muy alta entre junta y junta.

#### **3.6.4. Orientación e Inclinación**

La orientación de estructuras o sistemas de discontinuidades son datos que se han obtenido en el mapeo geomecánico o registro lineal; por familias de discontinuidades, de control de dirección de buzamiento y buzamiento; para determinar si los planos de juntas son favorables o desfavorables en la dirección de la excavación de la galería de desarrollo. La orientación de las discontinuidades nos ayuda a determinar la forma de los bloques individuales o cuñas de caída libre.

#### **3.6.5. Espaciamiento entre Juntas**

Es la distancia que existe entre dos juntas o sistemas de discontinuidades sucesivas de una misma familia; quienes condicionan el tamaño de los bloques y la calidad del macizo, según su comportamiento (cuando se encuentran rellenas por arcillas esmectitas, cloritas, óxidos y rocas triturada en el caso de la diorita, se generan caída libre de bloques).

#### **3.6.6. Rugosidad de las Discontinuidades**

Uno de los parámetros de las discontinuidades, que permite evaluar el plano de ruptura, para el comportamiento mecánico de la resistencia al corte; es de suma importancia para los diferentes tipo de roca en las que se realizan las excavaciones subterráneas; si los planos de las discontinuidades son altamente rugosas, garantiza el auto sostenimiento, durante el proceso de excavación; pero mientras, si los planos son lisos, la estabilidad del túnel se reduce; por lo tanto necesita de inmediato aplicar las medidas de sostenimiento adecuado; si la calidad de roca es de tipo III, II, I. (Ver Fig. N° 09).



Figura N° 9: Los planos de discontinuidades; como se observa en la bóveda central de la galería de producción 090, progresiva, 680, caracterizados por granodioritas.

En el caso de las granodioritas, dioritas de la veta Buenos Aires entre los planos de discontinuidades se encuentra rellenas de óxidos, cloritas y pocas veces de roca triturada, la superficie que se expone son rugosas y ligeramente lisas o tersas; en las zonas de mayor fallamiento presentan planos con relleno de roca triturada y arcillas, mientras que los planos son lisos, están con relleno de arcilla y óxidos.

### 3.6.7. Tipo de Abertura

Distancia que separa las paredes de una discontinuidad abierta, donde el espacio es rellenado por aire, agua o roca triturada. Las aberturas en el afloramiento del macizo no siempre continúan con las mismas características en profundidad, estas serán evaluadas en el proceso constructivo del túnel, en su gran mayoría son producto de alteración de la descomposición de los minerales de plagioclasas, micas, minerales máficos y otros. (Ver Fig. N° 10).



Figura N° 10: La variación de la abertura y el relleno que se encuentra relleno por arcillas, roca triturada y una alteración argílica en la bóveda central de la galería.

Predominantemente las aberturas en la matriz rocosa se caracterizan por tener espaciamiento de 5 mm – 15 mm; a las que se consideran como una discontinuidad abierta; mientras que en las zonas de cuarcitas, las juntas tienen una abertura menores de 5 mm a 10 mm; muchos de ellos se encuentran rellenos por arcilla, cuarzo, cloritas y óxidos.

### 3.6.8. Tipo de Relleno

Son materiales blandos arcillosos, limo, arena o en la mayoría de los casos se encuentran roca triturada entre los planos de juntas de matriz de roca. Muchos de estos materiales son producto de la descomposición de la roca, a consecuencia de fricción o desplazamiento que sufren los planos de las discontinuidades; cuando está afecto a movimientos de distensión o compresión. En las granodioritas, dioritas, las juntas de discontinuidades principales se

encuentran rellenas de arcillas, cloritas, óxidos, esmectitas, arcillas expansivas en algunos tramos de las zonas en donde el macizo se encuentra altamente alterado y llegan a formar roca residual. Mientras en profundidad estas características pueden continuar como también pueden mejorar; muchos de ellos son lixiviados por las constantes precipitaciones propensas que ocurren en la zona alto andinas.

### **3.6.9. Filtraciones**

Son muy importantes especificar, que las condiciones hidrogeológicas del terreno de fundación modifique, la alterabilidad de la matriz rocosa y la consistencia; en vista que el grado de filtración aumenta ligeramente en los niveles más profundos, que pueden variar de 0 – 2 litros por segundo en las zonas de golpes de agua o fallas locales. Estas determinaciones también hacen que la calidad del macizo varíe su comportamiento geomecánico, frente a diferentes obras subterráneas que se realicen a lo largo del proceso constructivo. Durante la inspección del grado de alteración del macizo rocoso, se observan manchas o humedad en la bóveda central de la galería; son anomalías que determinan, la intersección de dos o más sistemas de discontinuidades, que generan inestabilidad y cuñas de caída libre.

## **3.7. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS**

Los parámetros geomecánicos que condicionan, la estabilidad y el auto sostenimiento de la galería de producción con fines de extracción y exploración de piques en la dirección de los clavos mineralizados con altos valores en mineralización aurífera, determinan la estabilidad y la calidad del macizo rocoso.

La obtención de los parámetros geomecánicos, se hace mediante la investigación del comportamiento del macizo su índice geológica de resistencia varían de 55 – 82 para su empleo en el diseño y proyecto de las obras de ingeniería. Los macizos rocosos, como medios discontinuos presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, pueden ser estudiados y categorizados en función de su aptitud para distintas aplicaciones.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, en las excavaciones subterráneas, se ha considerado utilizar los parámetros propuestos por BIENIAWSKI (1979), sistema de valoración de macizo rocoso (Rock Mass Rating) comúnmente denominado RMR, cuyo procedimiento consta de los siguientes parámetros.

### 3.7.1. Resistencia a la Compresión Uniaxial

La resistencia a la compresión simple de las paredes de las discontinuidades, depende del tipo de matriz rocosa, de la existencia del tipo de relleno, del grado de alteración de las paredes de las juntas; estas condiciones influyen en la resistencia al corte y en la deformabilidad del plano de discontinuidad, sobre todo si no presenta relleno.

La resistencia de los planos de discontinuidades viene dada por el criterio de ruptura de Mohr – Coulomb, y se determina en el ensayo de resistencia al corte en probetas talladas, de tal forma que la ruptura se produzca a favor del plano de discontinuidad.

### 3.7.2. Índice de Calidad de Roca

El índice de calidad de roca, en la superficie de afloramiento de granodioritas, dioritas y en el interior de la galería de producción; se ha evaluado, mediante un análisis de una ecuación diferencial; en vista que el grado de fracturamiento es medido por metro lineal, en los afloramientos de la matriz rocosa. Además se ha usado un análisis de variación de curva de ajuste de RQD; para la zona de investigación en la matriz rocosa, tanto en excavaciones subterráneas, como en superficie del afloramiento del macizo rocoso (*Priest y Hodsson 1976*).

Para calcular el índice de calidad de roca RQD, se ha utilizado una ecuación diferencial propuesta por *Priest y Hodsson 1976*; en donde, se considera el número de discontinuidades por metro lineal.

$$RQD = 100e^{-\Omega\lambda}(1 + 0.1.\lambda), \text{ de donde (ecu 2)}$$

$\lambda$  = número de fracturas por metro lineal

**Cuadro N° 5: Valoración de RQD**

RQD	99.53	98.25	96.31	93.85	90.98	87.81	84.42	80.88	77.25	73.58
$\lambda$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RQD	69.90	66.26	62.68	59.18	55.78	52.49	49.32	46.28	43.37	40.60
$\lambda$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Fuente: Yimy Ccallo Maquera.

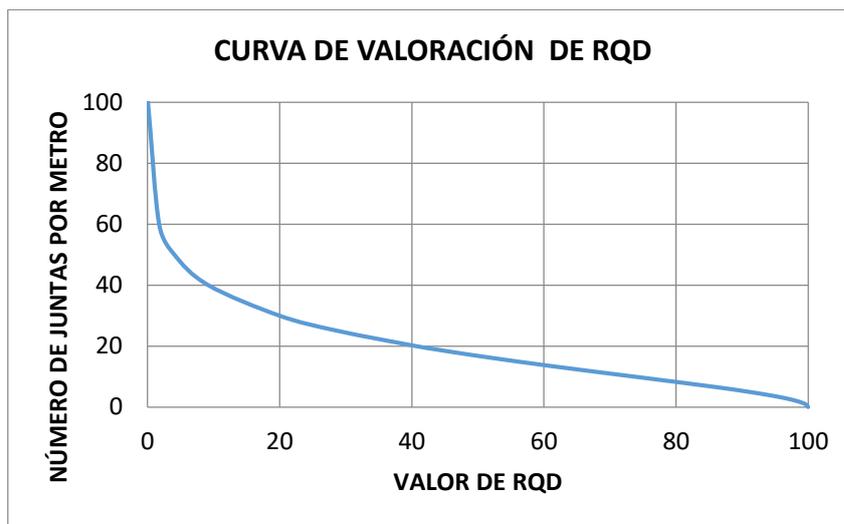


Gráfico No 1. Curva de ajuste de RQD, a partir de la ecuación exponencial.

RQD permite dar un valor numérico a la calidad de roca, no es de sorprenderse que se haya tratado de relacionar el número con la clasificación cualitativa de Terzaghi y relacionar este valor modificando en valor de RQD. Se aplica en el frente de avance de excavación y toma de datos del número de discontinuidades por metro lineal tanto en las granodioritas y dioritas, en el hastial derecho de la galería de producción de la veta Buenos Aires. Estos valores permiten determinar el índice de calidad de roca y la orientación de las discontinuidades.

**Cuadro N° 6: Calidad de Roca**

<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
------------	------------------------

25 %	Muy Mala
25 – 50 %	Mala
50 – 75 %	Regular
75 – 90 %	Buena
90 – 100 %	Muy Buena

Fuente: Clasificación de la calidad de roca según Deere 1964

### 3.7.3. Espaciamiento de Juntas

La clasificación geomecánica propuesta por CSIR, para macizos rocosos fracturados, propone rango de valores; consiste en la medida de la distancia entre dos juntas o familias de discontinuidades sucesivas de una misma sección mapeada, perpendicular al plano de juntas (Bieniawski 1979). Parámetro geomecánico que determina el grado de fracturamiento entre los principales sistemas de discontinuidades; si el espaciamiento es menor de 40 cm entre juntas o discontinuidades, el tipo de roca es de RMR 62 – 84, macizo de regular calidad (BIENIAWSKI 1979).

### 3.7.4. Estado de las Fisuras

Parámetro que considera el grado de alteración de la familia de las discontinuidades; en las superficies de las juntas en las granodioritas, dioritas, que consisten en relleno de costras de arcillas, cloritas, óxidos o roca triturada, cuando se generan brechamientos en las zonas de inestabilidad del macizo. Las estructuras mineralizadas están asociadas a una silicificación de la roca de caja; por lo tanto se observan fracturas cerradas por la disolución de sílice entre las juntas (Ver Fig. N° 11).

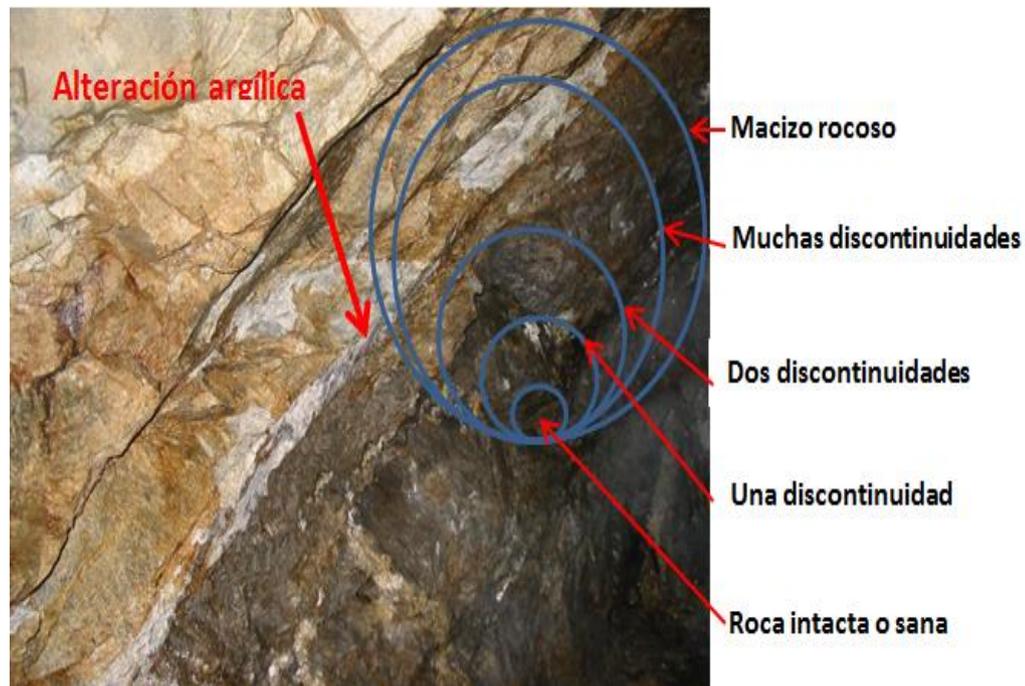


Figura N° 11: Los planos de discontinuidades se encuentran, alteradas y con relleno; observadas en la bóveda izquierda, de la veta Buenos Aires.

### 3.7.5. Condiciones Hidrogeológicas

Uno de los parámetros geomecánicos de mucha importancia en la excavación de obras subterráneas, se usa para garantizar la estabilidad de la sección de excavación de la galería; se determinan algunos rangos de valores de flujos de filtraciones de aguas subterráneas o humedad en la bóveda central. En cada obra de acuerdo a las condiciones geológicas de la roca de basamento y su ubicación geográfica.

Son valores que se consideran para determinar el comportamiento de la matriz rocosa frente a los flujos de agua subterránea que existen en los tramos excavados; en las estaciones zonificadas. Rango que se determina del estado seco hasta grandes caudales o flujos de filtraciones de agua. Para dar el valor en casos de exploraciones y desarrollo de túneles se aforan las filtraciones de agua.

En la mina La Soledad, la presencia de filtraciones de aguas subterráneas es muy puntual, en el pique de exploración hacia interior de una profundidad de 40

m, por debajo de la galería principal, en muchos casos, sólo se observan humedad y pequeños goteos en la bóveda central. (Ver Fig. N° 12).



Figura N° 12: Humedad y filtraciones en la galería de producción de la veta Buenos Aires.

### 3.7.6. Ajuste por Orientación de Fisuras

Para caracterizar, la orientación de las discontinuidades es necesario tener orientado el sentido de la galería de desarrollo; seguidamente verificar, si los planos de discontinuidades principales son favorables o desfavorables, para la estabilidad de la sección excavada. En función de los valores obtenidos de rumbos y buzamientos de juntas se analiza rápidamente; para posteriormente diseñar las medidas de sostenimiento adecuado para instalar en las zonas inestables de la sección de la galería.

La incidencia de los parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por del índice de calidad de RMR, *rock mass rating* que varía de 0 – 100. Para la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presentan características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechos en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades dominantes. Si el buzamiento de la familia de discontinuidades es menor a  $45^\circ$  y se encuentra en contra a la

dirección de excavación, se considera que la roca es de mala calidad, por tanto requiere de inmediato instalar las medidas de sostenimiento.

### 3.8. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMA DE DISCONTINUIDADES

Una vez analizada el comportamiento de los parámetros geomecánicos, por estaciones geotécnicas a lo largo del eje de la galería de desarrollo sobre la estructura mineralizada de la veta Buenos Aires, se tiene los principales sistemas de discontinuidades dominantes en la deformación del macizo rocoso, caracterizados por granodiorita, dioritas, diques de monzodioritas, se han identificado los siguientes. (Ver Cuadro N° 7).

**Cuadro N° 7: Resumen De Los Principales Sistemas De Discontinuidades Dominantes**

ESTACIÓN GEOTÉCNICA N°	PRINCIPALES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES			OBSERVACIONES
	Primer	Segundo	Tercer	
1	70 / 320	72 / 224	74 / 70	Roca regular
2	74 / 300	60 / 294	68 / 62	Roca buena
3	67 / 290	72 / 216	74 / 96	Roca buena
4	65 / 310	68 / 88	72 / 312	Roca muy buena
5	76 / 320	78 / 316	60 / 50	Roca buena
6	72 / 344	70 / 15	78 / 100	Roca buena
7	72 / 345	80 / 244	82 / 84	Roca buena
8	72 / 240	54 / 08	74 / 115	Roca buena
9	78 / 250	82 / 314	72 / 30	Roca buena
10	54 / 320	72 / 278	80 / 260	Roca buena
11	60 / 330	70 / 250	60 / 60	Roca regular
12	64 / 320	60 / 240	58 / 70	Roca regular

Fuente: elaboración propia; galería de desarrollo de la veta Buenos Aires.

### 3.8.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Las clasificaciones más útiles en mecánica de rocas son las denominadas clasificaciones Geomecánicas RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton son las más utilizadas. Establecen diferentes grados de calidad de macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, y proporcionan valores estimados de sus propiedades resistentes globales (BIENIAWSKI, 1979).

Existen otras clasificaciones basadas en diferentes parámetros más o menos representativos de las propiedades del conjunto del macizo rocoso. Así como el grado de fracturamiento; el índice de calidad de roca RQD, y clasificación en diferentes grados de calidad. **Ver cuadro N° 7** de clasificaciones Geomecánicas por estaciones zonificadas, en las granodioritas, dioritas de la súper unidad Bella Unión.

### 3.8.2. Clasificación RMR

La clasificación RMR (rock mass rating), fue desarrollada por primera vez por BIENIAWSKI en 1979; constituye un sistema de clasificación de macizo rocoso, que permite evaluar el comportamiento de la matriz rocosa y la calidad de la misma con la única finalidad de realizar excavaciones subterráneas para la minería, túneles de conducción, casas de máquinas; tomando en cuenta todas las propiedades y características geológicas de la matriz rocosa. El comportamiento de los parámetros geomecánicos en la galería de producción; entre otros los niveles superiores e inferiores; están sujetos a la familia de discontinuidades, caracterizados, que suman tres sistemas principales.

### 3.8.3. Sistema de Clasificación Q

Esta clasificación fue propuesta por Barton, Lien y Luden del N. G. I. (Norwegian geotechnical institute), en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geomecánicos, en la observación y evaluación directa in situ de la matriz rocosa en el momento de la excavación subterránea. Consisten determinar el índice de la calidad de roca con los siguientes parámetros geomecánicos, que determinan el comportamiento y la calidad de la roca.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}, \text{ donde} \quad (\text{ecu. 3})$$

RQD = Índice de calidad de roca

$J_n$  = Número de familias, sistema de discontinuidades dominantes  $J_r$  = Grado de rugosidad del plano de las discontinuidades

$J_a$  = Grado de alteración de las discontinuidades

$J_w$  = Factor de reducción por las condiciones hidrogeológicas de las discontinuidades.

SRF = Factor de reducción por tensiones, para el proyecto a 250 m de profundidad.

Durante la excavación subterránea; es necesario tener en cuenta, con mucha precaución y criterio técnico para evaluar los detalles de cada una de las sistemas discontinuidades dominantes; desde el tipo de litología hasta el grado de alteración que se presenta en el momento de realizar el diseño de la malla de perforación y otras actividades como la instalación de medidas de sostenimiento. Es necesario tener en cuenta, también las condiciones hidrogeológicas y la profundidad de excavación, la misma que debe estar sujeto a la presión vertical; mucho depende de la orientación de las familias de sistemas de discontinuidades que controlan la estabilidad del macizo.

En la Cordillera Occidental del sur del Perú, el afloramiento del basamento rocoso, caracterizados por el batolito de la costa, que está sujeto a dos grandes periodos de deformación; por lo tanto la calidad de roca es regular, no se encuentra totalmente deformada, por estos eventos; son los posteriores que han llegado a deformar en tres familias de sistemas de discontinuidades, que dan diferentes comportamientos, en cada una de ellas, que han sido sujetos a las ultimas deformaciones de la tectónica andina.

#### 3.8.4. Sistema de Clasificación GSI

La clasificación geomecánica GSI (HOEK, E. (1995) se basa en las propiedades Geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta esta alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente. Esta clasificación se basa en los valores de GSI que varían desde de 1 hasta 100.

Los valores de GSI cercanos de 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir superficie muy erosionada , con arcilla blanda en las juntas y con estructura poco resistente debido a la gran fragmentación que sufre el macizo. Los valores de GSI cercanos a 100 implican de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficie rugosa sin erosión; dentro de la evaluación del macizo en la galería de desarrollo principal; a pesar de ello a unos 200 m en profundidad las condiciones del macizo será mala; por tanto se llegara a instalar sostenimiento preventivo con pernos de anclaje y schocrete.

El sistema de clasificación GSI generalmente respeta las restricciones geológicas que ocurren en la naturaleza y están reflejados en las informaciones geológicas. La clasificación se basan en las estimaciones o medidas de la resistencia compresiva uniaxial ( $\sigma_c$ ) y una constante del material ( $m_i$ ), esto es relacionada con las propiedades de fricción de la roca. Para el presente proyecto se ha caracterizado todo los parámetros necesarios para determinar la calidad del macizo rocoso, utilizando esta clasificación (Ver Cuadro N° 8 – 12).

**Cuadro N° 8: Clasificación Geomecánica CSIR de Roca Fisurada  
Clasificación de los Parámetros y su Valoración**

PARÁMETROS	ESCALAS DE VALORES
------------	--------------------

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Índice de la carga puntual	≥ 10	10 – 4	4 – 2	2 – 1	Resistencia baja		
		Compresión simple (MPa)	≥ 250	250 – 100	100 – 50	50 – 25	25-5	5-1	≤ 1
Valoración			15	12	7	4	2	1	0
2	Índice de calidad de roca (%)		100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	25 – 0		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamientos de juntas (m)		≥ 3	3 – 0.60	0.60 – 0.20	0.20 – 0.060	≤ 0.060		
	Valoración		25	20	12	8	5		
4	Estado de las juntas	Longitud de discontinuidad (m)	≤ 1	1 – 3	3-10	10 – 20	≥ 20		
		Valoración	6	5	2	1	0		
		Abertura (mm)	Sin abertura	≤ 0.10	0.10 – 1.00	1.00 – 5.00	≥ 5.00		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Relleno (mm)	Ninguno	Relleno duro ≤ 5	Relleno duro ≥ 5	Relleno blando ≤ 5	Relleno blando ≥ 5		
		Valoración	6	5	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente	Moderadamente	Muy alterada	Descompuesta		
		Valoración	6	5	3	1	0		
Valoración total			30	25	13	6	0		
5	Agua subterránea	Cantidad de filtración por 10 m de túnel	Ninguna	≤ 10 lit/min	10 -25 lit/min	25 – 125 lit/min	≥ 125 lit/min		
		Presión de agua o en la fisura	Cero	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	≥ 0.5		
		Esfuerzo principal o mayor							
		Estado general	Totalmente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Fuente: Bieniawski, 1979, Mecánica de rocas; tomada del libro de Excavaciones subterráneas.

**Cuadro N° 9: Ajuste por Orientación de Discontinuidades**

Dirección y Buzamiento de las Fisuras	Muy Favorables	Favorables	Regular	Desfavorables	Muy Desfavorables
Túneles	0	-2	-5	-10	-12
Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski, 1979

**Cuadro N° 10: Clasificación de Rocas Según el Total de Valoración**

<b>Valoración</b>	<b>100 – 81</b>	<b>80 – 61</b>	<b>60 – 41</b>	<b>40 – 21</b>	<b>≤ 20</b>
Clasificación	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Roca Regular	Roca Mala	Muy Mala

Fuente: Bieniawski, 1979

**Cuadro N° 11: Características Geotécnicas del Tiempo de Auto Sostenimiento**

CLASIFICACIÓN DE ROCA	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de sostenimiento	10 años para un claro de 5 m	6 meses para un claro de 4 m	1 semana para claro de 3 m	5 horas para claro de 15 m	30 minutos para claro 1 m
Cohesión (KPa)	≥ 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	≤ 100
Angulo de fricción en grados	≥ 45°	40 – 45°	25° – 35°	15° – 25°	≤ 15°

Fuente: Bieniawski, 1979.

**Cuadro N° 12: Orientación de las Discontinuidades en el Túnel**

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento de 0° – 20° cualquier dirección
Excavación en el sentido del buzamiento del echado		Excavación en contra al buzamiento del echado				
45° – 90°	20° – 45°	45° – 90°	20° – 45°	45° – 90°	20° – 45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: Bieniawski, 1979.

La caracterización geomecánica y se propongan los modelos geomecánicos más representativos del comportamiento de los macizos rocosos teniendo en cuenta sus características mecánicas y estructurales, tal vez justificado por el creciente auge que han alcanzado en nuestro país, en los últimos años, las clasificaciones Geomecánicas. DEERE (1964), BARTON (1974). Dando lugar a que los estudios geomecánicos actuales, solo se limiten a clasificar las rocas por estas metodologías, sin llegar al modelo geomecánico, en muchos casos.

Sin embargo, resulta evidente la necesidad de profundizar en los aspectos relacionados con la temática objeto de estudio; no solo por la importancia de la diferenciación para el estudio de los macizos partiendo de sus características Geomecánicas, sino también, para adecuar las investigaciones Geomecánicas futuras, según esta nueva tendencia.

Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones Geomecánicas, que surgieron la necesidad de determinar las estaciones geotécnicas, por cada tipo de roca; en base al comportamiento de los parámetros geomecánicos y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles, galerías de acceso, producción, etc. (Ver Fig. 13).



Figura N° 13: Medidas de sostenimiento instalados con cimbra en la progresiva 0 + 850 de la galería de producción, en la Veta Buenos Aires.

Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (PALMSTROM, 1998). Además de las obras subterráneas, se destacan las aplicaciones en excavaciones subterráneas, taludes y cimentaciones (ver tabla de aplicación de Barton).

**Cuadro N° 13 A: Clasificación de los Parámetros Individuales Empleados en el Índice de Calidad de Túneles (NGI)**

DESCRIPCIÓN		VALOR	OBSERVACIONES
1. ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA		RQD %	1. Cuando se obtiene valores RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q.  2. Los intervalos de 5 unidades para RQD, es decir, 100, 95, 90, etc., tiene buena presión
A	Muy mala	0 – 25	
B	Mala	25 – 50	
C	Regular	50 – 75	
D	Buena	75 – 90	
E	Excelente	90 – 100	
2. NÚMERO DE DISCONTINUIDADES		$J_n$	1. En intersecciones de túneles se utiliza la expresión $(3J_n)$ .  2. En el portal de acceso se utiliza la expresión $(2J_n)$ .
A	Roca masiva, sin diaclazar o con pocas fisuras	0.5 – 1.0	
B	Un sistema de fisuras	2.0	
C	Un sistema de fisuras más una aislada	3.0	
D	Dos sistemas de fisuras	4.0	
E	Dos sistemas de fisuras más una aislada	6.0	
F	Tres sistemas de fisuras	9.0	
G	Tres sistemas de fisuras más una aislada	12.0	
H	Cuatro o más sistemas de fisuras, roca muy fracturada	15.0	
J	Roca triturada	20.0	
3. ÍNDICE DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		$J_r$	1. Añade 1.0 si el espaciamiento medio del sistema juntas es mayor de 3 m.  2. $J_r$ es igual 0.5 se puede usar para fisuras de fricción plana y que tengan alineaciones con la condición de que éstas estén orientadas para una resistencia mínima.
a) Contacto entre las dos caras de las discontinuidades b) Contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm.			
A	Fisura sin continuidad	4	
B	Rugosas o irregulares, corrugadas	3	
C	Suaves, corrugación suave, onduladas lisas	2	
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1.5	
E	Rugosas o irregulares pero planas	1.5	
F	Diaclasas planas o lisas	1.0	
G	Reliz de falla o superficie de fricción, plana	0.5	
C) No existen contacto entre las caras de discontinuidad ante un desplazamiento cortante.			
H	Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.		
J	Zona arenosa, de grava o roca triturada de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.		

Fuente: Bieniawski, 1979.

**Cuadro N° 13 B: Clasificación de los Parámetros Individuales Empleados en el Índice de Calidad de Túneles (NGI) Continúa**

DESCRIPCIÓN		VALOR	$\phi$	OBSERVACIONES
4. ÍNDICE DE ALTERACIONES DE LAS DISCONTINUIDADES		$J_a$		
a) Contacto entre los planos de las discontinuidades.				Los valores de $\phi$ , el ángulo de fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si es que están presentes.
A	Relleno soldado, duro inablandable, impermeable	0.75	--	
B	Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie	1.0	25 – 35	
C	Paredes ligeramente alteradas con recubrimiento de minerales duros, arena, roca triturada sin arcillas.	2.0	25 – 30	
D	Recubrimientos limosos arenosos arcillosos, pequeñas partículas de arcilla (no blanda).	3.0	20 – 25	
E	Recubrimiento de arcillas blanda o de baja fricción; caolinita o mica. También clorita, yeso, talco, grafito, etc., pequeñas cantidades de arcilla expansiva.	4.0	8 – 16	
b) Contacto entre los planos de las discontinuidades antes de un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.				
F	Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla.	4.0	25 – 30	
G	Relleno de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos $\leq 5$ mm de espesor).	6.0	16 – 24	
H	Relleno de minerales arcillosos de consolidación media baja (continuos $\leq 5$ mm de espesor).	8.0	8 – 16	
J	Relleno de arcilla expansiva, o sea montmorillonita (continuos $\leq 5$ mm de espesor). El valor de $J_a$ del porcentaje de partículas expansivas y acceso del agua.	8.0 – 12	6 – 12	
c) Sin contacto de las paredes después del cizalleo.				
K	Zonas o capas de roca y arcilla desintegrada.	6.0	6 – 24	
L	Roca desintegrada o triturada y arcilla.	0.8 – 12	6 – 24	
M	Roca triturada y arcilla (ver G, H, y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0.8 – 12	6 – 24	
N	Zonas o capas de arcilla limosa, pequeñas fracciones de arcilla (inablandable).	5.0		
Q	Zonas o capas gruesas de arcilla (ver G, H, J, para las condiciones de las arcillas).	10 – 13	6 – 24	
P		13 – 20		
R				
5. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS		$J_w$	Presión de agua (Kg/cm <sup>2</sup> )	
A	Excavación seca o poca filtración o $\leq 5$ l/min puntual	1.0	1.0	1. Los factores C a F son estimaciones aproximadas. Aumenta $J_w$ si se instalan drenes de alivio.  2. Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman consideración.
B	Infiltración o presión mediana con lavado ocasional de rellenos.	0.66	1.0 – 2.5	
C	Gran filtración a presión alta en roca competente con juntas sin relleno.	0.50	2.5 – 10	
D	Gran filtración a presión alta, lavado importante de rellenos.	0.33		
E	Infiltración a presión excepcionalmente alta con las voladuras, disminuyendo con el tiempo.	0.2 – 0.1	10.0	
F	Infiltración o presión excepcionalmente alta en todo momento.	0.1 – 0.05	10.0	

Fuente: Bieniawski, 1979.

**Cuadro N° 13 C: Clasificación de los Parámetros Individuales Empleados en el Índice de Calidad de Túneles (NGI) Continúa**

DESCRIPCIÓN		VALOR	OBSERVACIONES	
6. CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA		SRF		
a) Zona de debilidad que intersectan la excavación y pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construya el túnel.				
A	Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad).	10.0	1. Reduzca estos valores SRF de 25 – 50% si las zonas de fracturas sólo interesan, pero no cruzan la excavación del túnel.  2. Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisótropos: cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ , redúzcase $\sigma_c$ a 0.8, $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a 0.8. Cuando $\sigma_1 / \sigma_3 \geq 10$ , redúzcase a $\sigma_c$ y $\sigma_t$ a 0.6, de donde $\sigma_c$ fuerza compresiva no confinada, $\sigma_t$ fuerza de tensión (carga puntual), $\sigma_1$ y $\sigma_3$ son las fuerzas mayores y menores.	
B	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación $\leq 50$ m)	5.0		
C	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación $\geq 50$ m).	2.5		
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta en cualquier profundidad.	7.5		
E	Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de excavación $\leq 50$ m.	5.0		
F	Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de excavación $\geq 50$ m.	2.5		
G	Fisuras abiertas sueltas, fisuración intensa (cualquier profundidad).	5.0		
b) Roca competente, problemas de esfuerzos				
		$\sigma_c / \sigma_1$	$\sigma_t / \sigma_1$	Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5, para estos casos vea (H).
H	Esfuerzo bajo, cerca de la superficie	$\geq 200$	$\leq 13$	
J	Esfuerzo mediano	200 – 10	1.0	
K	Esfuerzo grande, estructuras muy cerradas, normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10 – 5	0.5 – 2.0	
L	Desprendimiento moderado de la roca (masiva).	5 – 2.5	5 – 10	
M	Desprendimiento intenso de la roca (masiva).	$\leq 2.5$	10 – 20	
c) Roca compresiva, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de presiones altas de la roca.				
N	Presiones compresivas moderadas	5 – 10		
O	Presiones compresivas altas	10 – 20		
d) Roca expansiva, acción química expansiva dependiendo de la presencia de agua.				
P	Presiones expansivas moderadas	5 – 10		
R	Presiones expansivas altas	10 – 20		

Fuente: Bieniawski, 1979.

### 3.9. GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN DE LA VETA BUENOS AIRES

Los depósitos de la UEA Soledad ocurre dentro de la franja mineralizada aurífera conocida Nazca-Ocoña, la cual hospeda un grupo de minas y proyectos auríferos de vetas angostas y con alto valor aurífero, estos depósitos ocurren frecuentemente dentro de las unidades rocosas del batolito de la costa, los

depósitos son de naturaleza mesotermal, la zona muestra una historia compleja de actividad ígnea, tectónica y actividad hidrotermal. Las rocas ígneas como diorita, monzonitas y granodioritas han sido intruidos por diques aplíticos y lamprofidos. La veta Buenos Aires, están rellenos de mineralización de pirita, cuarzo, calcopirita; asociados a una alteración fílica; que tienen un rumbo  $N60^{\circ}-70^{\circ}W$  y muestran cuando menos dos etapas de mineralización, una con cuarzo, pirita, calcopirita y otra más compleja con nueva pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, galena y oro nativo.

Se observa que en la zona de estudio existe una fuerte alteración hidrotermal en las rocas encajonantes, especialmente en el pórfido diorítico que muestran sectores con abundante argilización y silicificación por tramos, que cortan a la granodiorita y tonalita.

La veta Buenos Aires esta hospedada en rocas de textura porfiríticas dioríticas, granodioritas, tonalitas; la mineralización está concentrada en más de tres clavos mineralizados y en forma irregular en los tramos más profundos; sino que tiene forma irregular en franjas sinuosas e islas enriquecidas, lo importante de esta veta es que va acompañada de pequeños lazos simoides que en algunos tramos se une a la estructura principal, en la cual aumenta su potencia y ley; para mantener la vida útil de la mina emplazados en granodioritas, dioritas, tonalitas; afectados por una alteración argílica, fílica, silicificación; en algunos tramos se observan una alteración propilítica en la caja techo de la estructura principal.

La mineralización aurífera a lo largo del emplazamiento del batolito de la Costa de la súper unidad Bella Unión, la mineralización es muy errática, debido a las diferentes pulsaciones posteriores a su formación. Las soluciones mineralizantes en relleno de cavidades o en las zonas de alteración hidrotermal; se observan generalmente un ensamble mineralógico de pirita – cuarzo – calcopirita - calcita, asociados a una alteración propilítica, fílica y argílica a lo largo de la estructura mineralizada y la roca de caja; en donde no se observan a simple vista la presencia del oro; más por el contrario solamente toma los datos en función del control mineralógico y litológico de la estructura mineralizada.

La presencia de la mineralización de anomalías auríferas es bastante notoria por el ensamble mineralógico de; cuarzo – pirita – sericita – arsenopirita – clorita – epidota; calcita –pirita – cuarzo, en donde el oro se encuentra rellenando a los microfracturas, en la veta.

Las soluciones hidrotermales depositan primeros los óxidos, contemporáneo o ligeramente posterior los sulfuros y arseniuros de Fe, Co y Mo. En la parte intermedia de la secuencia paragenética se depositan los sulfuros secundarios Zn, Pb, Ag, Cu y Fe de menor importancia. En las que posterior por las soluciones meteóricas se llegan a oxidarse en carbonatos, sulfatos de cobre, plata y plomo. Tardíamente ocurren la deposición de los elementos nativos y los teluros; algunos elementos asociados a la mineralización aurífera.

En la veta Buenos Aires de la mina La Soledad, se ha caracterizados; que la mineralización del yacimiento está dada de dos a tres etapas, la primera etapa está conformada por cuarzo pirita aurífera y calcopirita, una segunda etapa conformada por calcita, pirita aurífera y calcopirita, donde la pirita se encuentra diseminada en la calcita y formando pequeños lentes en ella, la tercera etapa está dada nuevamente por cuarzo, pirita aurífera y calcopirita y por último la cuarta etapa conformada por calcita, cuarzo pirita aurífera y calcopirita; donde la pirita y la calcopirita se presenta diseminada y en textura bandeada tanto en la calcita como en el cuarzo.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO

La clasificación geomecánica del macizo rocoso de la galería de producción está evaluado en base a los datos tomados durante el proceso de excavación; del comportamiento de los parámetros geomecánicos, teniendo en consideración que todo los aspectos geológicos que afectan al macizo rocoso de; su litología, grado de alteración, fracturamiento de la familia de discontinuidades principales, entre otros las condiciones hidrogeológicas, la orientación de las juntas y fallas; los cuales han sido correlacionados con las tablas correspondientes en cada una de las estaciones zonificadas (ver cuadro No 8 – 12). Teniendo en consideración la roca de caja es una granodiorita, diorita, de buena consistencia en la galería 090, nivel 1470.

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+010</b>	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	14
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	12
	4	Estado de las discontinuidades	12
	5	Condiciones hidrogeológicas	8
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo III, a II</b>	<b>56</b>

Calidad de macizo de tipo III, con tendencia a mejorar en profundidad a roca tipo II, de 10m de longitud. Teniendo en consideración, que de acuerdo a la calidad de roca se aplicó las medidas de sostenimiento de cuadros y pernos en los primeros 8m, posteriormente está programado la instalación de cimbras distanciadas a 1.50m entre ellos, además en las partes más consistentes se deberá instalar pernos de anclaje de 2.00 de longitud puntuales, y la aplicación de schotcrete. (Ver Fig. N° 14)

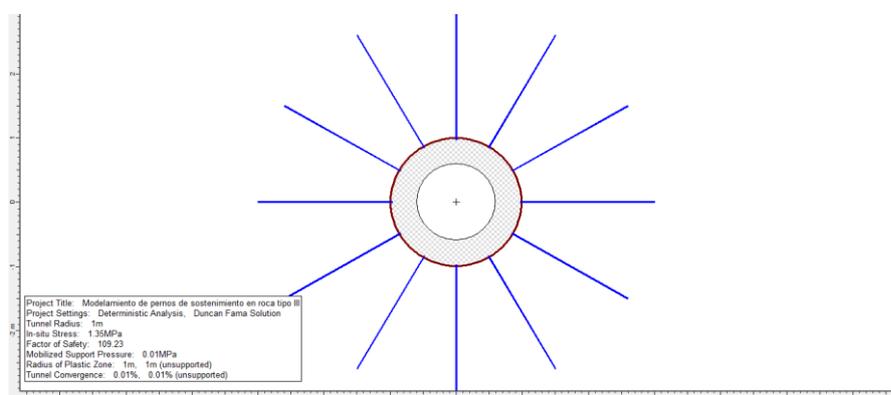


Figura N° 14: Diseño de estabilidad propuesta en los primeros en los primeros 10 m, con instalación de pernos spliset y aplicación del schocrete, sección completa.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (\text{Ecu. 4})$$

$$Q = \frac{65}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2.5} = 3.25$$

Valor que corresponde a la calidad de roca en la primera estación; que indica requiere la instalación de medidas de sostenimiento en el proceso de constructivo.

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+300</b>	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	16
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	18
	4	Estado de las discontinuidades	14
	5	Condiciones hidrogeológicas	12
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II Buena Calidad</b>	<b>70</b>

En la segunda estación zonificada, se ha caracterizado y evaluado como roca tipo II de buena calidad; con pequeñas zonas deleznable en los hastiales de la galería principal de producción. El sistema de discontinuidades 1, es desplazada por el sistema de discontinuidades 2, en algunas cuñas de caída libre en la bóveda central; está programada la instalación de pernos de anclajes de 3" puntuales, se mantiene un ángulo de fricción interna de 37.15°.

$$Q = \frac{85}{3} \times \frac{2}{2} \times \frac{1}{2.5} = 11.33$$

Valor que corresponde a roca de buena calidad y estable; solamente requiere, medidas de sostenimientos puntuales.

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+400</b>	1	Resistencia a la compresión simple	14
	2	Índice de la calidad de roca RQD	20
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	18
	4	Estado de las discontinuidades	18
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II Buena Calidad</b>	<b>78</b>

Calidad del macizo de tipo II, con filtraciones y humedad en la bóveda central de la galería de producción de 100 m de longitud. La estructura principal, presenta una alteración fílica y argílica, con silicificación a lo largo de la zona mineralizada. No se observan ninguna inestabilidad en el sección de la galería principal y otros niveles.

$$Q = \frac{95}{2} \times \frac{2}{2} \times \frac{1}{2.5} = 19.00$$

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación Geomecánica a RMR Progresiva 0+450</b>	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	20
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	20
	4	Estado de las discontinuidades	20
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo I de Buena Calidad</b>	<b>80</b>

Calidad de macizo de tipo I, con tramos sin ninguna medida de sostenimiento, el tipo de relleno son costras de arcillas, cloritas entre los planos de juntas; se observan la estabilidad de las cuñas de caída libre en la bóveda central. No presenta ninguna filtración; sólo humedad en la galería, con una calidad de roca  $Q = 28.50$ .

$$Q = \frac{95}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2.5} = 28.50$$

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+550</b>	1	Resistencia a la compresión simple	14
	2	Índice de la calidad de roca RQD	20
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	20
	4	Estado de las discontinuidades	18
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II de Buena Calidad</b>	<b>70</b>

Calidad del macizo de tipo II, con tendencia a mejorar en los próximos tramos de 50 m de longitud, está sujeto a alteraciones en la bóveda derecha por una falla que llegó a deformar la estabilidad del macizo, que se observa en la bóveda central de la galería de producción, con una calidad de roca de  $Q = 25.50$ .

$$Q = \frac{85}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2.5} = 25.50$$

	Parámetros	Descripción	Valuación
	1	Resistencia a la compresión simple	12

<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+600</b>	2	Índice de la calidad de roca RQD	20
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	18
	4	Estado de las discontinuidades	12
	5	Condiciones hidrogeológicas	8
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II de Regular Calidad</b>	<b>68</b>

Calidad del macizo es de tipo II afecto a una superficie de erosión en el interior de las excavaciones subterráneas; en los planos de discontinuidades, están rellenas por sericitas, caolinitas y roca triturada; los mismos que se encuentran afectados por humedad en la bóveda central de la galería principal, con una calidad de roca Q = 10.00.

$$Q = \frac{75}{3} \times \frac{2}{2} \times \frac{1}{2.5} = 10.00$$

<b>Clasificación Geomecánica a RMR Progresiva 0+650</b>	Parámetros	Descripción	Valuación
	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	16
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	16
	4	Estado de las discontinuidades	18
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II de Buena Calidad</b>	<b>70</b>

Calidad de macizo es de tipo II, profundamente intemperizada en superficie de excavación subterránea con tendencia a mejorar en los próximos tramos, de 50 m de longitud; la calidad de roca evaluada es de Q = 17.00.

$$Q = \frac{85}{3} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2.5} = 17.00$$

	Parámetros	Descripción	Valuación
	1	Resistencia a la compresión simple	14

<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+700</b>	2	Índice de la calidad de roca RQD	20
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	18
	4	Estado de las discontinuidades	18
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II de Buena Calidad</b>	<b>78</b>

Calidad de macizo es de tipo II, se generan alteraciones entre los planos de fracturamiento de la familia de discontinuidades en los hastiales de la galería. Con cuñas de caída libre en la bóveda central, con una calidad de roca  $Q = 28.50$ .

$$Q = \frac{95}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2.5} = 28.50$$

	<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valuación</b>
<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+750</b>	1	Resistencia a la compresión simple	14
	2	Índice de la calidad de roca RQD	20
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	18
	4	Estado de las discontinuidades	16
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II de Buena Calidad</b>	<b>76</b>

La clasificación geomecánica del macizo rocoso es de tipo II, roca de buena calidad de  $Q = 27.00$ ; valores que indican que el macizo es estable y se llega a instalar pernos de anclaje puntuales en la bóveda central y en los hastiales.

$$Q = \frac{90}{2} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2.5} = 27.00$$

	<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valuación</b>
--	-------------------	--------------------	------------------

<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+800</b>	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	14
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	16
	4	Estado de las discontinuidades	14
	5	Condiciones hidrogeológicas	10
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo II de Regular Calidad</b>	<b>64</b>

La clasificación geomecánica del macizo rocoso es de tipo II, roca de regular calidad, de superficies profundamente meteorizado, con relleno de limo y arcillas entre los planos de las familias de discontinuidades dominantes, de 50 m de longitud de evaluación; con una calidad de roca de  $Q = 8.50$ .

$$Q = \frac{85}{3} \times \frac{1.5}{2} \times \frac{1}{2.5} = 8.50$$

<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+850</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valuación</b>
	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	12
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	14
	4	Estado de las discontinuidades	12
	5	Condiciones hidrogeológicas	7
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo III de Regular Calidad</b>	<b>55</b>

La clasificación geomecánica del macizo es de tipo III, roca de mala calidad de  $Q = 4.00$ ; con superficie intemperizada, en las excavaciones subterráneas; la alteración de la roca de caja presenta una argilización constante; por lo tanto se ha instalado pernos de anclaje y aplicación de schocret sección completa. Granodioritas, afectos a un sistema de discontinuidades que crean cuñas inestables en la bóveda central del túnel, de 50 a 80 m de evaluación en la galería y se encuentra con medidas de sostenimiento preventivo de pernos y schotcrete.

$$Q = \frac{80}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2.5} = 4.00$$

	Parámetros	Descripción	Valuación
<b>Clasificación Geomecánica RMR Progresiva 0+900</b>	1	Resistencia a la compresión simple	12
	2	Índice de la calidad de roca RQD	14
	3	Espaciamiento de las discontinuidades	14
	4	Estado de las discontinuidades	12
	5	Condiciones hidrogeológicas	8
	6	Ajuste por orientación de las discontinuidades	-2
<b>TOTAL</b>		<b>Roca Tipo III de Regular Calidad</b>	<b>58</b>

La clasificación geomecánica del macizo rocoso es de tipo III roca de mala a regular calidad de  $Q = 4.25$ , se observan superficies profundamente meteorizadas con relleno de materiales de roca triturada, limo y arcilla, en el momento de evaluación, los parámetros geomecánicos, indican que el macizo rocoso requiere la instalación inmediata de pernos de anclaje sistemático a sección completa, con aplicación de schotcrete en la galería de producción.

$$Q = \frac{85}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2.5} = 4.25$$

La clasificación geomecánica del macizo rocoso es de tipo II – I valores que son calculados en función del análisis de los parámetros geomecánicos, además tramo final de la galería 090 de producción, se encuentra cubierto por schotcrete, con pernos de anclaje puntuales y sistemáticos instalados a sección completa como medida de sostenimiento durante el proceso constructivo. La evaluación de los parámetros geomecánicos, en los últimos 160 m en la galería 090 principal de acceso, se considera inestable para poder continuar la excavación subterránea sin medidas de sostenimiento. La meteorización de la matriz rocosa, ha sido argilizada, gracias a los procesos geoquímicos por filtración de soluciones acuosas por escorrentía de superficie.

**Cuadro N° 14: Resumen de la Clasificación Geomecánica de la Galería de Producción**

Progresivas	RQD	RMR	Q	RMR ©	GSI	Angulo de fricción	Tipo de roca	Observaciones
0+010	65	56	3.25	54.61	52	31.10	III	Estable con sostenimiento
0+300	85	70	11.33	65.85	65	34.98	II	Estable
0+400	95	78	19.00	70.50	73	37.15	II	Estable
0+450	95	80	28.50	74.15	75	37.69	I	Estable
0+550	85	70	25.50	73.15	65	34.98	II	Estable
0+600	75	68	10.00	64.72	63	34.32	II	Estable
0+650	85	70	17.00	69.50	65	34.89	II	Estable
0+700	95	78	28.50	74.15	73	37.15	II	Estable
0+750	90	76	27.00	73.66	72	37.96	II	Estable
0+800	85	64	8.50	63.26	60	33.45	II	Estable con sostenimiento
0+850	80	55	4.00	56.48	50	31.98	III	Estable con sostenimiento
0+900	85	58	4.25	57.02	54	31.69	III	Estable con sostenimiento

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la clasificación geomecánica a lo largo de la longitud de la galería de producción de la veta Buenos Aire, en función del análisis cuantitativo de los parámetros geomecánicos y su comportamiento frente a gentes destructivo del macizo rocoso; valuación que son tomadas del mapeo del registro lineal a lo del eje de la galería, (Ver Cuadro N° 14) resumen de la clasificación geomecánica del túnel proyectado y el tipo de roca para cada estación zonificada.

La calidad de roca Q, se evalúa, con los valores de los parámetros geomecánicos; que condicionan las características físicas del estado, en que se encuentran, el sistema de discontinuidades principales dominantes, mapeadas en el interior de la galería principal 090. Los valores de la calidad de roca sirven para calcular el valor real de la clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), utilizando, una ecuación comparativa, que consiste.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (\text{ecu } 5)$$

**Cuadro N° 15: Cálculo de la Calidad de Roca Q**

Progresivas	RQD	Jn	Ja	Jr	Jw	SRF	Q	RMR	Observaciones
0+010	65	4	2	1	1	2.5	3.25	54.61	Estable con sostenimiento
0+300	85	3	2	2	1	2.5	11.33	65.85	Estable
0+400	95	2	2	2	1	2.5	19.00	70.50	Estable
0+450	95	2	2	3	1	2.5	28.5	74.15	Estable
0+550	85	2	2	3	1	2.5	25.5	73.15	Estable
0+600	75	3	2	2	1	2.5	10.00	64.72	Estable
0+650	85	3	2	3	1	2.5	17.00	69.50	Estable
0+700	95	2	2	3	1	2.5	28.50	74.15	Estable
0+750	90	2	2	3	1	2.5	27.00	73.66	Estable
0+800	85	3	2	1.5	1	2.5	8.50	63.26	Estable con sostenimiento
0+850	80	4	2	1	1	2.5	4.00	56.48	Estable con sostenimiento
0+900	85	4	2	1	1	2.5	4.25	57.02	Estable con sostenimiento

Fuente: elaboración propia. Galería 090, del nivel 1470, veta Buenos Aires, 2016.

La clasificación geomecánica a partir de la calidad de roca y el comportamiento de los parámetros geomecánicos se consideran las más reales; en las que se han evaluado; en cada una del sistema de discontinuidades principales dominantes en la galería principal 090 de la veta Buenos Aires (Ver Cuadro N° 15 – 16).

**Cuadro N° 16: Calidad de Roca y Clasificación Geomecánica**

N°	PROGRESIVA	RMR	SISTEMA Q	ECUACIÓN COMP RMR	LONGITUD (m)	TIPO DE ROCA
01	0+010	56	3.25	54.61	10.00	III
02	0+300	70	11.33	65.85	290.00	II
03	0+400	78	19.00	70.50	100.00	II
04	0+450	80	28.5	74.15	50.00	I
05	0+550	70	25.5	73.15	100.00	II
06	0+600	68	10.00	64.72	50.00	II
07	0+650	70	17.00	69.50	50.00	II
08	0+700	78	28.50	74.15	50.00	II
09	0+750	76	27.00	73.66	50.00	II
10	0+800	64	8.50	63.26	50.00	II
11	0+850	55	4.00	56.48	50.00	III
12	0+900	58	4.25	57.02	50.00	III

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS

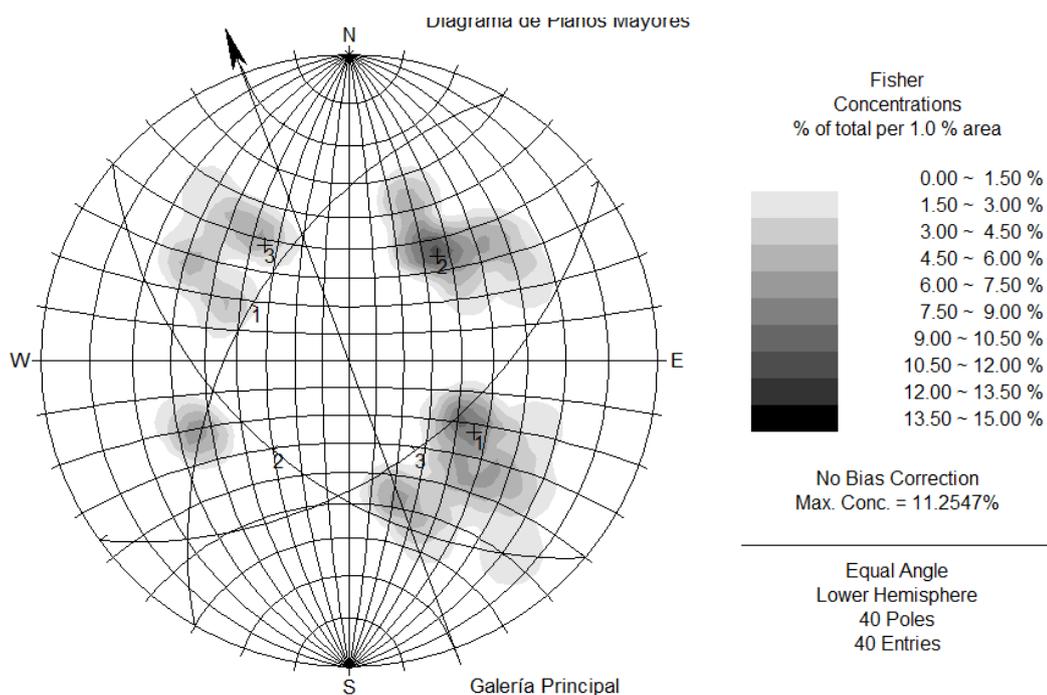
La evaluación geomecánica que consiste en caracterizar, la estabilidad del macizo rocoso; se basa en el análisis de los parámetros geomecánicos, que se obtiene en la interpretación del grado de alteración, el número de juntas, el distanciamiento, además se incluye el grado de filtración de las aguas subterráneas a lo largo de la galería de producción 090 de la veta Buenos Aires. Las características de alterabilidad y deformación del sistema de discontinuidades; indican que la orientación si son favorables a la excavación; el tipo de relleno constituidos de arcillas, limo, cloritas y roca triturada, no generan una inestabilidad mayor. La interacción de los parámetros geomecánicos evaluadas en el interior de la galería muestran con claridad; que las superficies de juntas son rugosas a poco lisas; el relleno entre juntas es de arcilla, roca triturada, espaciados de hasta 8 mm en las discontinuidades mayores; por tanto cada uno de los componentes evaluados, no son críticos; se mantienen favorables; además el análisis del ángulo de fricción interna fluctúa desde 30° hasta 37°, valores que determinan; que la calidad del macizo rocoso en su conjunto es de regular a buena calidad.

El análisis de las proyecciones estereográficas muestra un factor de seguridad de 1.23 valor favorable para la estabilidad del macizo rocoso, el ángulo de fricción interna se observa en los gráficos adjuntos.

### 4.3. ANÁLISIS DE PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

De acuerdo al sistema de discontinuidades principales tomadas in situ, dentro de la galería 090 del nivel 1470 msnm en granodioritas, dioritas y tonalitas; de orientación y buzamientos de las estructuras dominantes y planos mayores, se llega a determinar la distribución espacial de los polos de las familias de discontinuidades que deforman el macizo rocoso.

El análisis de los planos mayores en la proyección estereográfica; determinan la intersección de tres dominios estructurales que llegan a fracturar la roca; mientras que el sistema aleatorio crea cuñas inestables en la bóveda central de la galería de producción. El sistema principal tiene una orientación de  $50^\circ$  en la dirección del dominio andino de  $300^\circ$  de dirección de buzamiento; sistema de discontinuidad dos tiene una inclinación de  $48^\circ$  que se llega a intersectar hacia el suroeste de  $220^\circ$  (planos mayores).



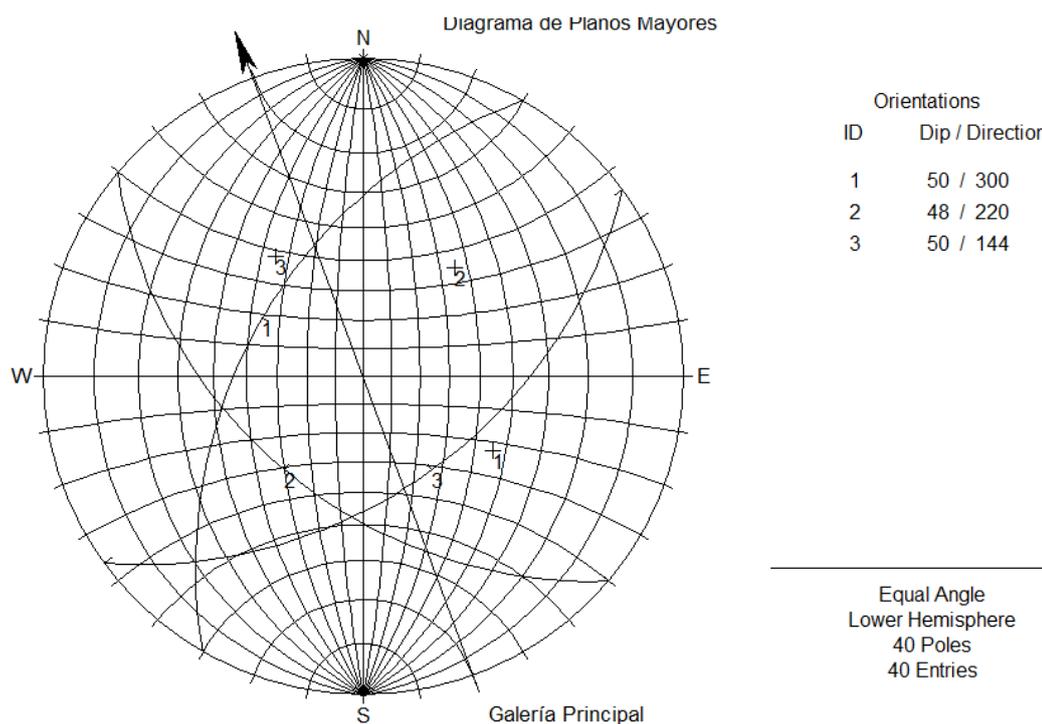


Figura N° 15: Análisis de Proyección Estereográfica en la Veta Buenos.

#### 4.4. ESTABILIDAD EN LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

El análisis de estabilidad en la galería principal 090, depende únicamente del comportamiento de los parámetros geomecánicos; evaluados a partir de la intersección de más de dos sistemas de discontinuidades dominantes, que llegan a deformar al macizo rocoso y generan la inestabilidad en la matriz rocosa; anomalías que se observan en la bóveda central y en el hastial derecho, con la caída de bloques de rocas, durante el proceso constructivo en la progresiva 0+860 – 0+900.

El análisis de la calidad de roca en granodioritas y el índice GSI y la resistencia uniaxial, datos que se obtienen directamente dentro de las excavaciones subterráneas utilizando el golpe del martillo del geólogo a la matriz rocosa; al igual que el mapeo de planos de discontinuidades y registro lineal; nos permite determina el comportamiento geomecánico de la excavación subterránea; resultados que son analizados con las tablas comparativas propuestas por Bieniawski y Barton en la fase final de la evaluación.

El análisis realizado de factor de seguridad de 1.23 garantiza la confianza de auto-sostenimiento; mas por el contrario un proceso de tratamiento, para llegar a mantener estable, para continuar con las excavaciones propuesta hasta la fecha.

El análisis de estabilidad, para continuar con los trabajos de desarrollo con las actividad de perforaciones diamantinas en los diferentes frentes; propuestas a partir del comportamiento de los parámetros geomecánicos; se ha determinado un factor de seguridad de 1.06 valor que servirá para mantener el control de las excavaciones subterráneas.

En la parte alta de las plataformas de perforación, para evitar desprendimientos y caída de bloques y roca descompuesta; se instalaron cimbras, pernos de anclaje y aplicación de schotcret, como medidas de sostenimiento, durante el proceso constructivo y avance de excavación subterránea para realizar trabajos de exploración, muestreos sobre la estructura mineralizada.

#### 4.5. DISEÑO DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

El diseño de las excavaciones subterráneas se determina de acuerdo a la clasificación geomecánica del macizo rocoso, en las diferentes estaciones zonificadas de la galería principal 090; que consiste en roca tipo III, II y I.

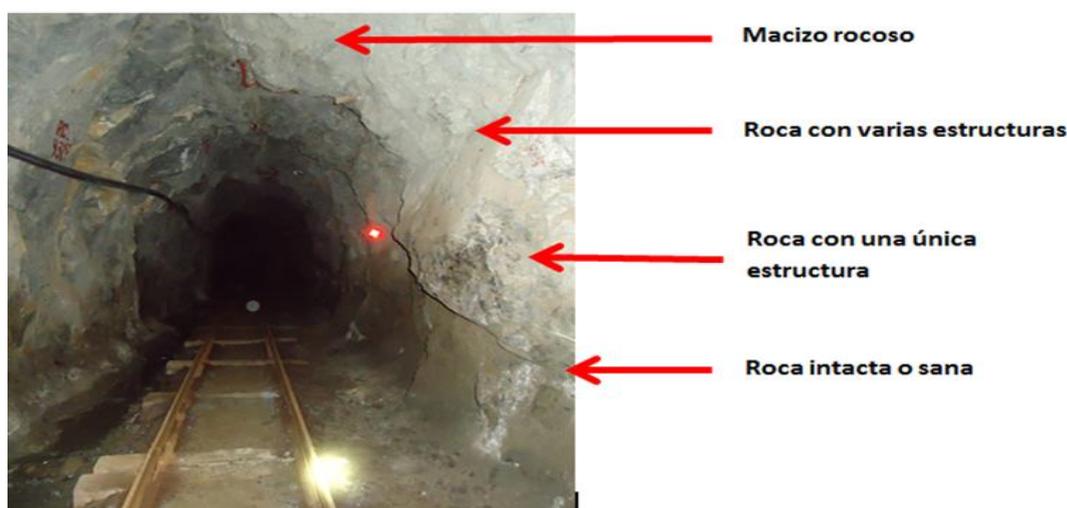
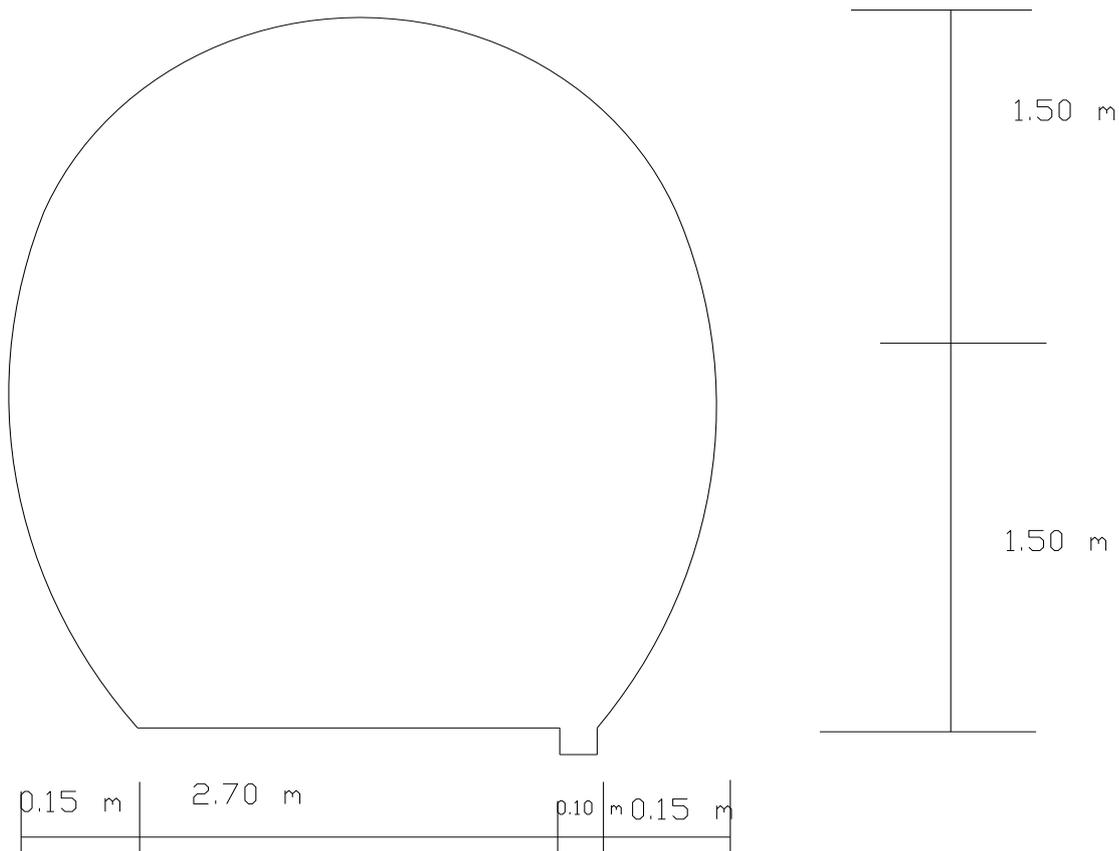


Figura N° 16: Designación del tipo de macizo rocoso y la calidad de roca en la galería de producción de la veta Buenos Aires.

ROCA DE TIPO III

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO	CONDICIÓN DE LA ROCA
Instalación de pernos de anclaje de 1.5m y aplicación de schotcrete en sección completa y cimbras sitios puntuales. Se requiere instalar drenes de alivio para captar los flujos de aguas subterráneas.	Granodiorita poca fracturada, con cuñas de caída libre en la bóveda central y hastiales.  Granodioritas poco meteorizadas rellenas con limo y roca triturada en la superficie de excavación.

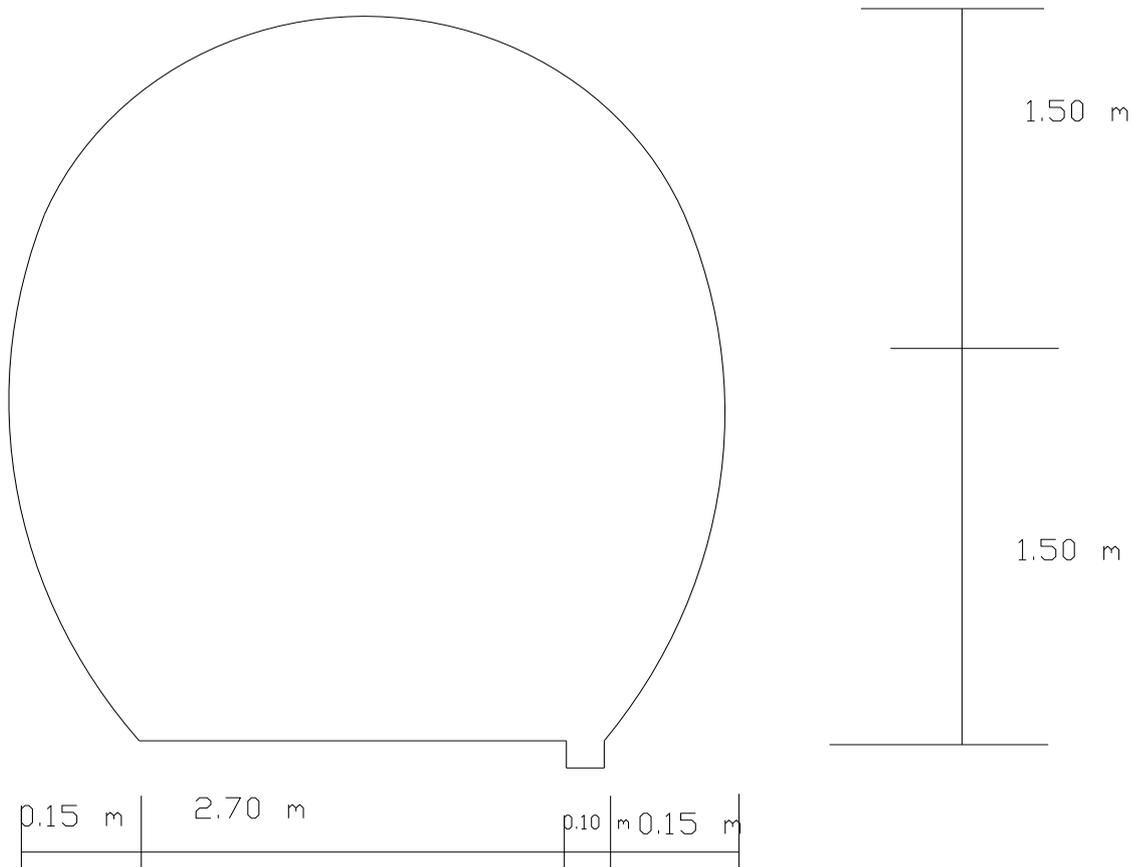
TUNEL DE CONDUCCION



ROCA DE TIPO II

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO	CONDICIÓN DE LA ROCA
Instalación de pernos de anclaje puntuales de 1.5 m y aplicación de schotcrete en sitios puntuales. Se requiere instalar drenes de alivio para captar los flujos de aguas subterráneas.	Granodiorita poca fracturada, con cuñas de caída libre en la bóveda central y hastiales.

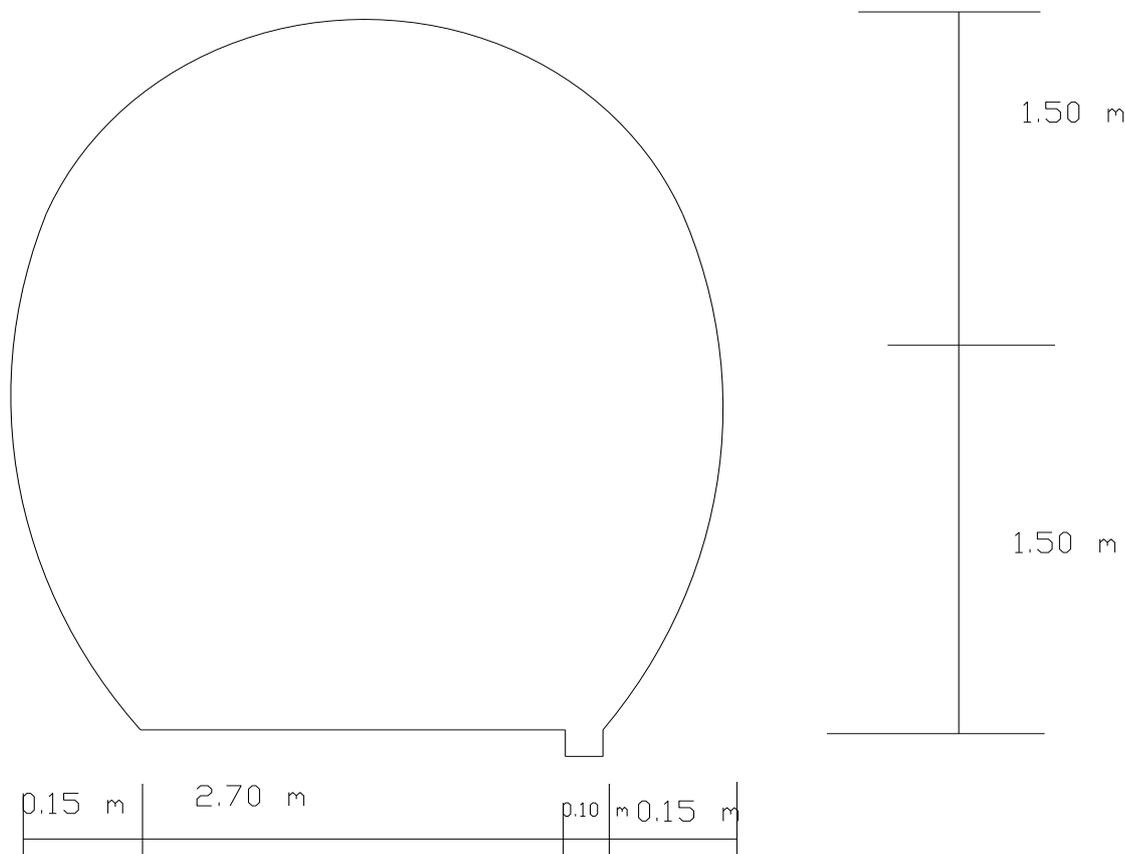
TUNEL DE CONDUCCION



**ROCA DE TIPO I**

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO	CONDICIÓN DE LA ROCA
Instalación de pernos de anclaje puntuales de 1.5 m sitios puntuales. Se requiere instalar drenes de alivio para liberar esfuerzos en el interior de las excavaciones de piques.	Granodiorita sana, con algunas juntas de intersección, que generan cuñas de caída libre en la bóveda central.

TUNEL DE CONDUCCION



**4.6. GEOLOGÍA DE LA VETA BUENOS AIRES**

Los depósitos de la UEA Soledad ocurre dentro de la franja mineralizada aurífera conocida Nazca - Ocoña, la cual hospeda un grupo de minas y proyectos auríferos de vetas angostas y con alto valor aurífero, estos depósitos ocurren frecuentemente dentro de las unidades rocosas del batolito de la costa, los

depósitos son de naturaleza mesotermal, la zona muestra una historia compleja de actividad ígnea, tectónica y actividad hidrotermal. Las rocas ígneas como diorita, monzonitas y granodioritas han sido intruidos por diques aplíticas y lamprofidos. Las vetas son rellenos de fracturas o fallas de rumbo  $N60^{\circ} - 70^{\circ}W$  y muestran cuando menos 2 épocas de mineralización, una con cuarzo - pirita y otra más compleja con pirita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, galena y oro nativo.

#### 4.7. ESTRUCTURA MINERALIZADA

La estructura mineralizada, denominada como la veta Buenos Aires es de origen hidrotermal de relleno de fracturas o grietas de ruptura, presentan brechas y arcillas producto del movimiento tectónico en las paredes de la falla, que localmente se observa en la roca encajonante; identificado como granodiorita, diorita y tonalita. Con la toma de datos de rumbo y buzamiento; la ocurrencia de la mineralización y los controles como alteraciones; se caracterizan dos zonas diferenciadas paralelas a la topografía cuyo contacto es gradacional, hacia el interior de la estructura mineralizada.

- Zona de óxidos o de lixiviación de sulfuros primarios de la estructura.
- Zona de sulfuros primarios en las cuales el oro se encuentra libre y en las microfracturas de la pirita y sulfuros diseminados, bandeados respectivamente.

La veta Buenos Aires esta hospedada en rocas porfíricas dioríticas, la mineralización no está concentrada en un solo clavo sino que tiene forma irregular en franjas sinuosas e islas enriquecidas, lo importante de esta veta es que va acompañada de pequeños lazos simoides que en algunos tramos se une a la estructura principal, en la cual aumenta su potencia de ley; para mantener la vida útil de la mina emplazados en granodioritas, dioritas, tonalitas; afectados por una alteración argílica, fílica, silicificación; en algunos tramos se observan una alteración propilítica en la caja techo de la estructura principal.

La mineralización aurífera a lo largo del emplazamiento del batolito de la Costa de la súper unidad Bella Unión, la mineralización es muy errática, debido a las

diferentes pulsaciones posteriores a su formación. Las soluciones mineralizantes en relleno de cavidades o en las zonas de alteración hidrotermal; se observan generalmente un ensamble mineralógico de cuarzo – pirita – calcopirita – arsenopirita, asociados a una alteración propilítica, fílica y argílica a lo largo de la estructura mineralizada y la roca de caja; en donde no se observan a simple vista la presencia del oro; más por el contrario solamente toma los datos en función del control mineralógico y litológico de la estructura mineralizada. La presencia de la mineralización de anomalías auríferas es bastante notoria por el ensamble mineralógico de; cuarzo – pirita – sericita – arsenopirita – clorita – epidota; calcita –pirita – cuarzo, en donde el oro se encuentra relleno a las microfracturas.

Las soluciones hidrotermales depositan primeros los óxidos, contemporáneo o ligeramente posterior los sulfuros y arseniuros de Fe, Co y Mo. En la parte intermedia de la secuencia paragenética se depositan los sulfuros secundarios Zn, Pb, Ag, Cu y Fe de menor importancia. En las que posterior por las soluciones meteóricas se llegan a oxidarse en carbonatos, sulfatos de cobre, plata y plomo. Tardíamente ocurren la deposición de los elementos nativos y los teluros; algunos elementos asociados a la mineralización aurífera (ver plano geológico subterráneo).

#### **4.8. MINERALOGÍA DEL YACIMIENTO**

La estructura mineralizada, que se encuentra en producción con los diferentes niveles de extracción y mineral de cabeza; tiene minerales de ganga y mena, de rumbo que se orienta en la dirección del dominio andino. La veta Buenos Aires se emplazada con asociaciones mineralógicas de diferentes tipos de ensambles mineralógicos, por lo general cuarzo y sulfuros primarios; el oro se encuentra en forma libre dentro de la zona de oxidación conjuntamente con los óxidos de hierro (hematita, jarosita y goethita) observados en los niveles superiores.

Se identifican formando una textura cavernosa de aspecto brechosa y otras panizada; a su vez, la ocurrencia del oro, se encuentra asociado con el cuarzo; existiendo tres tipos de cuarzo que podemos diferenciar, uno ferruginoso, blanco ahumado de aspecto vidrioso y otro blanco lechoso.

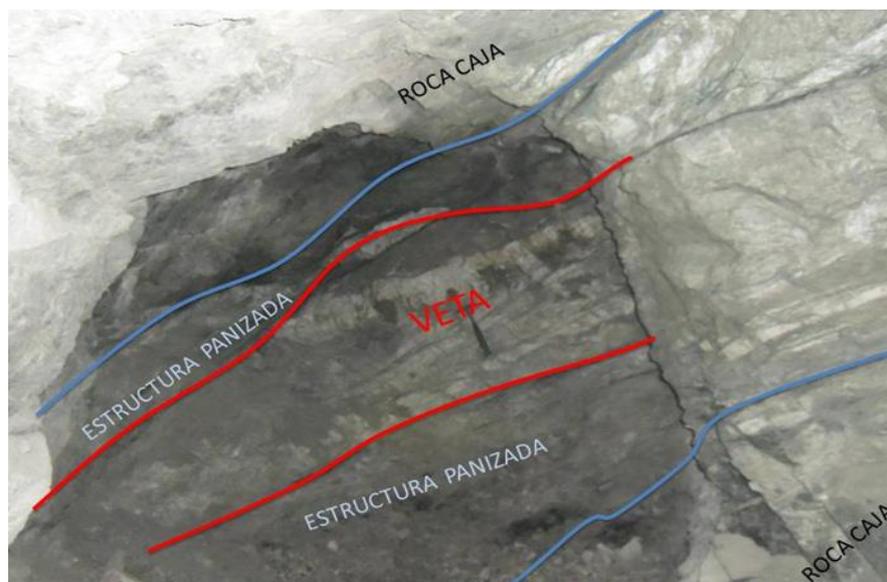


Figura N° 17: Estructura mineralizada en el nivel principal 470; se observan sulfuros primarios y una argilización en la roca encajonante.

#### 4.8.1. Cuarzo

En la estructura mineralizada, el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) es el mineral de mayor abundancia; en vista que constituye el relleno en la veta; se presenta en forma masiva en la mayoría de los niveles, de color ahumado, blanco lechoso a hialino fracturado y brechado, puntualmente en las zonas de intersección de juntas y fallas; entre otros tiene un hábito cristalizado. Se caracteriza por el principal mineral de control y guía en la mineralización aurífera en esta zona de la franja metalogénica del sur del Perú.

#### 4.8.2. Pirita

Mineral de composición química ( $\text{FeS}_2$ ), en la estructura mineralizada se observa de hábito masivo y bandeado asociado al cuarzo ahumado, lechoso y calcita hidrotermal masiva en la mayoría de los casos. En la zona de lixiviación se encuentra oxidada a hematitas, jarositas y goethitas. En los niveles superiores, viene rellenando la caja piso de la estructura mineralizada, asociados con trazas de mineralización aurífera.

#### 4.8.3. Calcita

Mineral de control en la mineralización aurífera de la veta Buenos Aires y segundo mineral principal en los niveles superiores; la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) es masiva y cristalizado de color blanco a blanco grisáceo; se encuentra diseminada con la pirita masiva en el nivel 090, identificado en las zonas de acortamiento. En la mayoría de la estructura mineralizada se encuentra englobando a los minerales del grupo de los sulfuros; como pirita, calcopirita, arsenopirita y bornita en las zonas de lixiviación, con menor frecuencia.

#### 4.8.4. Arsenopirita

Mineral del grupo de los sulfuros primarios, indicador y control en la estructura mineralizada que tiende a profundizar, se encuentra asociada a la calcopirita, pirita hipogénica. La mineralización aurífera se encuentra asociada a estos sulfuros en la mayoría de los niveles de la veta Buenos Aires.

#### 4.8.5. Bornita

Por las características geoquímicas de enlace y disolución se encuentra asociada con la calcopirita en el límite con la zona de lixiviación y la primaria de la estructura mineralizada; frecuentemente se observa en las zonas de acortamiento de la veta. Mineral de composición química ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) de 63.30% de Cu, son zonas de ocurrencia muy puntuales; en la veta Buenos Aires se considera como mineral de control de menor importancia, en el mejoramiento de la ley de oro.

#### 4.8.6. Calcopirita

Cristales prismáticos de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), asociados con la bornita; englobados en una matriz de calcita en la estructura principal; sin embargo se considera como mena principal, en la ocurrencia de la mineralización aurífera. En la mayoría de los niveles de producción es la principal guía, para la mejora de la ley de oro. Se encuentra asociada a la alteración propilítica, fílica de la roca caja; la granodiorita presenta condiciones favorables en los tramos silicificados. Es muy importante la presencia de la magnetita; mineral que se altera de los

minerales ferromagnesianos por las condiciones geoquímicas que han ocurrido durante el emplazamiento de los clavos mineralizados (ver plano de galería 090 leyes).

#### **4.8.7. Oro**

Mineral principal de la veta Buenos Aires, que se encuentra asociada a pirita, calcopirita; entre otros como mineral de ganga cuarzo ahumado, lechoso, blanquecino y calcita hidrotermal masiva y/o cristalizado; a estos minerales se consideran como controles y guía en todo los niveles de producción de la mina La Soledad. La alteración que está relacionado a la mineralización aurífera es propilítica, fílica y argílica.

La ley promedio del yacimiento varia de nivel a nivel con promedio de 8 – 12 gr/TM de Au; cuyas características se presenta en forma microscópica que se encuentra entre las cavidades intergranulares de sulfuros algo bandeados.

#### **4.8.8. Oro Invisible**

La mineralización aurífera a lo largo del emplazamiento de la veta Buenos Aires, no es uniforme su distribución en toda la estructura mineralizada es muy errática y altos en sitios puntuales; esta anomalía que ocurre es debido a las diferentes pulsaciones posteriores a su formación. Las soluciones mineralizantes en relleno de cavidades o en las zonas de alteración hidrotermal; se observan generalmente un ensamble mineralógico de cuarzo - pirita – arsenopirita – calcopirita, asociados a una alteración propilítica, fílica y argílica a lo largo de la estructura mineralizada y la roca de caja; en donde no se observan a simple vista la presencia del oro; la mineralización aurífera se ha formado está por debajo de 4 – 2 micras. Se toma en cuenta, que la veta en directa relación con el control mineralógico de sulfuros primarios y la litología de la roca de caja de granodioritas, tonalitas y dioritas en donde se encuentra emplazada la estructura mineralizada.

La presencia de la mineralización de anomalías auríferas es bastante notoria por el ensamble mineralógico de; cuarzo – pirita – sericita – arsenopirita – clorita –

epidota; calcita –pirita – cuarzo, en donde el oro se encuentra rellenando a los micro - fracturas y en forma diseminada.

#### **4.9. ALTERACIONES HIDROTHERMALES**

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca caja de composición calco-alcalina en la Unidad Minera La Soledad. Esta interacción conlleva cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada producto de desequilibrio termodinámico entre ambas fases. En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo de intercambio iónico, dándose transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto.

La alteración hidrotermal es el producto de un proceso, donde las características mineralógicas, químicas y morfológicas de esta entregan información acerca de las condiciones termodinámicas del fluido hidrotermal que las generó la mineralización.

##### **4.9.1. Alteración Propilítica**

La alteración propilítica en la veta Buenos Aires tiende a ser más penetrante hacia la zona interior de la estructura mineraliza, se encuentra asociada a un proceso de cloritización intensa en las zonas de post fallamiento en los niveles 1500, 1550 y 1600. La alteración propilítica grada hacia el exterior de la granodiorita en los últimos niveles de la veta, o donde el metamorfismo está presente hacia el interior; la oxidación de los minerales máficos en la roca caja genera ensambles mineralógicos característicos de una coloración verde oscura propilítico.

Los minerales típicos son; clorita, epidota, calcita, oligoclasa, albita y pirita. La primera fase presenta ligera tonalidad verdusca, las plagioclasas aún son observadas con incipiente alteración. La segunda más fuerte, el color verde es intenso, los minerales primarios totalmente alterados; notándose una textura

suave blanquecina (calcita) alterna con la coloración verde de la clorita.

#### **4.9.2. Alteración Fílica**

La alteración fílica o sericitización es típica de un ensamble cuarzo-sericita-pirita que se observa en la roca en la veta Buenos Aires, en las zonas de acortamiento de la estructura mineralizada. Los minerales del grupo de las plagioclasas por la actividad hidrotermal se alteración a minerales laminares, en sericitas, caolinitas; las mismas se observan en las secciones delgadas preparadas. Las fases minerales usualmente asociadas con la alteración QSP son el feldespato potásico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anhidrita y apatito; con menor frecuencia hematita magnetita.

La alteración QSP es uno de los más comunes tipos de alteración hidrotermal. Ellos están presentes en mayores cantidades en todos los depósitos hidrotermales, procedentes de arcos volcánicos, Sulfuros masivos, filones de cuarzo-oro en sistemas epitermales recientes, también están presentes en depósitos relacionados a cuerpos magmáticos.

La alteración sericítica es esencialmente ocasionada por la desestabilización de los feldespatos en presencia de  $H^+$ ,  $OH^-$ , K y S para formar cuarzo, mica blanca, pirita y algunos granos de minerales opacos de calcopirita, pirita (los sulfuros pueden contener hasta un 20 % por volumen en la mineralización de la estructura).

#### **4.9.3. Alteración Argílica**

En la veta Buenos Aires se considera la alteración argílica por la presencia de sericita, caolinita en las zonas de intensa lixiviación acida, por el ion  $H^+$  que con mayor frecuencia se observa en el nivel principal 090 de la estructura mineralizada, en profundidad se encuentra asociada a la zona filica.

El ensamble característico es biotita, clorita, sericita, caolinita, pirofilita; son minerales productos de alteración de los feldespatos de la roca de caja.

#### **4.9.4. Silicificación**

El proceso de silicificación es una de las alteraciones más comunes que se presentan en la mayoría de estructuras filoneanas mineralizadas. La silicificación puede acompañar a la alteración a greisen durante y después, evidenciado por un abarrotamiento de cuarzo en la roca alterada a greisen. La moscovita preferentemente reemplaza a la biotita y durante este proceso los cationes observados en la red de la biotita son puestos en libertad dentro del sistema y son posiblemente responsables de la paragénesis finalmente asociada con la mineralización metálica (Plimer y Kleeman 1986).

Durante los procesos hidrotermales la sílice puede ser introducida de los fluidos magmáticos circulantes; el mismo que se puede observar a lo largo de la veta Buenos Aires en el nivel de producción; el cuarzo ahumado, lechoso; genéticamente este puede ser dejado detrás en la forma de sílice residual después de la lixiviación de las bases. La solubilidad de la sílice se incrementa con la temperatura y la presión, y si la solución experimenta una expansión adiabática la sílice precipita, así que en regiones de baja presión y temperatura éste es prontamente depositado.

El cuarzo se encuentra asociado con la estructura mineralizada; con minerales como pirita, arsenopirita, calcopirita, en esta secuencia se manifiesta la ocurrencia de oro invisible o grano fino; cuyo comportamiento es errático en las zonas de acortamiento, con leyes entre 12 – 30 g/TM de Au.

#### **4.10. CONTROLES DE LA MINERALIZACIÓN**

Se consideran, como controles de mineralización en la veta Buenos Aires a las condiciones favorables de interacción de enlace geoquímico con la roca caja y las soluciones hidrotermales, originados por procesos magmáticos posteriores; en las que observan la formación de clavos mineralizados.

##### **4.10.1. Control Litológico**

La veta Buenos Aires de la Unidad Minera La Soledad, se encuentra emplazada en rocas de composición calco – alcalinas; caracterizados por granodiorita,

tonalitas, dioritas y diques de andesitas basálticas; a los cuales se les considera como roca metalotecto para la mineralización aurífera en esta zona del sur del Perú que corresponde a franja metalogénica de Mesozoico.

#### **4.10.2. Control Mineralógico**

Para la mineralización de oro invisible; a lo largo de la estructura mineralizada en los diferentes niveles de producción actual, se considera como control o ensamble mineralógico a cuarzo – pirita – arsenopirita – calcopirita; la alta o baja concentración de la mineralización aurífera dependerá de estos minerales según su comportamiento en base a la lixiviación supergénica que se llegó a formarse durante su emplazamiento paralelo a la falla de rumbo.

En algunos niveles de la veta, se observan alteraciones típicas de las plagioclasas, como minerales principales, por el reemplazamiento de los minerales por acción de las distintas etapas de mineralización y lixiviación; que trajeron consigo mineral estéril y económico, se formaron nuevos minerales de control (sericita, arcillas, clorita, calcita, pirita y sílice) que, agrupados en determinadas asociaciones, formaron distintas fases de alteración hidrotermal, siendo la argilización – sericitización y la silicificación las que acompañan a la mineralización económica, relegándose la propilitización a fases estériles o menores de mineralización.

El depósito es un yacimiento de origen hidrotermal, constituido principalmente por relleno de fracturas tipo vetas, la mineralización es de oro libre en óxidos, cuarzo, calcita y en la pirita como solución sólida.

#### **4.10.3. Control Estructural**

Las estructuras más dominantes en la Unidad Minera La Soledad, se tiene la falla Chalhuané a lo largo de esta estructura se emplaza la veta Buenos Aires orientados al dominio andino y la falla Purimarka, tiende a desplazar en cortas distancias. A esta falla Chalhuané, se considera como control estructural para la mineralización aurífera del yacimiento.

La posición que la mena ocupa dentro de la geometría de la veta, es influenciada

por la anchura de la abertura y el área superficial presentada a la solución para su reacción de rumbo NW; con un buzamiento variable de  $45^{\circ}$  –  $55^{\circ}$  NE. Estructuralmente se ha observado variaciones en el rumbo de la veta relacionados a cambios propios de su formación y en los cuales los minerales de mena Au adquieren valores interesantes, de esta manera los cambios de rumbo o inflexiones son favorables a la mineralización económica.

#### 4.11. PARAGÉNESIS DEL YACIMIENTO

La secuencia paragenética de la veta Buenos Aires; durante el proceso de mineralización del yacimiento está dada por tres eventos; el primero evento está conformada por el ensamble de cuarzo, pirita aurífera, calcopirita, una segunda eventos conformada por cuarzo, pirita, arsenopirita, calcopirita, donde la pirita se encuentra diseminada con la calcopirita formando pequeños lentes en ella; la tercera evento está dada nuevamente por cuarzo, pirita, arsenopirita, calcopirita, óxidos de hierro y carbonatos.

Todas estas etapas han estado precedidas por alguna actividad tectónica que ha sido la causante de la mineralización por dique de una andesita basáltica. En la observación del emplazamiento del relleno hidrotermal se consideran a cuatro clavos mineralizados bien definidos en esta zona de la mina La Soledad. El ensamble mineralógico se observa como (Ver Cuadro N° 17).

1. Cuarzo – pirita – calcopirita; la ley baja de Au.
2. Cuarzo – pirita – arsenopirita – calcopirita; ley alta de Au.
3. Cuarzo – pirita – arsenopirita – calcopirita – óxidos de Fe - carbonatos; valores altos de Au.

**Cuadro N° 17: Secuencia Paragenética en la Veta Buenos Aires**

Mineral/eventos	Composición	I	II	III
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	—	—	
Diópsido	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	—	—	
Actinolita	Ca <sub>2</sub> Mn <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	- - - -	- - - -	
Tremilita	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	- - - -	- - - -	
Clorita	Variable mica fina	—	—	
Plagioclasa	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub>	—	—	
Sericita	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	—	—	—
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	—	—	—
Pirofilita	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	—	—	—
Oro	Au	—	—	—
Electrum	Au – Ag		—	—
Pirita	FeS <sub>2</sub>	—	—	—
Pirrotina	FeS <sub>x-1</sub>	—	—	
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	—	—	—
Galena	PbS		—	—
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—
Limonita	Variable oxido Fe	—	—	—
Calcita	CaCO <sub>3</sub>		- - - -	- - - -

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12. GÉNESIS DEL YACIMIENTO

La veta Buenos Aires es un yacimiento de origen hidrotermal de tipo de relleno de grietas de ruptura (fallas) por fluidos magmáticos en rocas plutónicas de composición calco-alcalinas del batolito de la Costa de la última fase de emplazamiento conocido como Súper unidad Tiabaya de granodioritas, dioritas y tonalitas; las estructuras mineralizadas presentan brechas y arcillas producto del movimiento tectónico en las paredes de la falla Chalhuane.

En el ensamble mineralógico se observa claramente la pirita, arsenopirita, calcopirita, cuarzo ahumado, lechoso, oro con alteración argílica y fílica. La mineralización aurífera se formó durante el tercer pulso magmático de composición andesita basáltica, que se observan como diques, que ha generado la estructura mineralizada.

## CONCLUSIONES

- La clasificación geomecánica del macizo rocoso de la veta Buenos Aires es de tipo II – I con tramos pequeños de roca III entre los 15 – 20 en el portal de acceso; cuyos valores de RMR que varían de 55 – 82 índice geológica de resistencia GSI es de 50 – 75 indican que la calidad de roca es buena. El análisis de calidad de roca Q es de 3.25 – 28.50 valores que muestran la estabilidad del macizo; el análisis de ángulo de fricción interna es de  $31.10^{\circ}$  –  $37.69^{\circ}$  valores que son confiables, para continuar con los tajeos en los niveles superiores e inferiores, con un factor de seguridad confiable de 1.23.
- La mineralización aurífera a lo largo del emplazamiento del batolito de la Costa de la súper unidad Bella Unión, la mineralización es muy errática, debido a las diferentes pulsaciones posteriores a su formación. Las soluciones mineralizantes en relleno de cavidades o en las zonas de alteración hidrotermal; se observan generalmente un ensamble mineralógico de cuarzo – pirita – calcopirita – arsenopirita, asociados a una alteración propilítica, fílica y argílica a lo largo de la estructura mineralizada de la roca caja; en donde no se observan a simple vista la presencia del oro. La presencia de la mineralización de anomalías auríferas es bastante notoria por el ensamble mineralógico de, cuarzo – pirita – sericita – arsenopirita – clorita – epidota; calcita – pirita – cuarzo, en donde el oro se encuentra relleno a las microfracturas.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un modelamiento geomecánico en 3D; para poder observar con claridad el desplazamiento que sufren el sistema de discontinuidades principales.
- Implementar medidas de sostenimiento de acuerdo a la clasificación geomecánica de los diferentes niveles de producción.
- Se debe instalar medidas de convergencia en los niveles más profundos, para poder observar el comportamiento de los parámetros geomecánicos durante las horas de voladura.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ACOSTA et al. (2009) - Memoria Mapa Metalogenético del Perú 2009. INGEMMET. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Programa de Metalogenia; 17 pp.
- BIENIAWSKI Z. T. 1979. "Geomechanic clasification of rock masses and its application to tunneling. Proc II Tnt Congress for rock Mechanic ISMR VOL II.
- BARTON, N, R; LUNDEN, J (1974). Engineering Classication of Rock Masses for the Desing of Tunnel Support Selection. Felsbau 12 Nr. 6, pp 428-436.
- CALDAS, J. (1978) - Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 30-A, 1978, 78 pp.
- CALDAS, J. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 46-A, 1993. 62 pp.
- DEERE, D. U. (1964) Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes Rock Mechanics and Geology. Volume 1.
- GONZALEZ D.V., L.I. (2003). Ingeniería Geológica, Pearson Educación, Madrid España, 2003, pp. 715.
- HOEK, E., BROWN, E.T.(1980). Underground Excavation in Rock. London, Institution of mining and metallurgy. P634.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (2000) - Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja No. 1. INGEMMET. Boletín. Serie B: Geología Económica, n. 8, 196 p., 2000.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (2010) - Informes Internos del Programa de Metalogenia de la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, 2010.

- LEÓN, W.; PALACIOS, O.; TORRES, V. (2000) - Sinopsis sobre la revisión de la geología de los cuadrángulos de Atico, Ocoña, Camaná, La Yesera, Aplao, Mollendo. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 6 pp.
- LOPEZ, TEJADA (1976) - Geología de Quicacha y alrededores (cuadrángulo de Chaparra), Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 39 pp.
- LOPEZ J, C. 1997. Manual de Túneles y Obras Subterráneas. ETSIM. Madrid, España. 1102 pp.
- PECHO, V. (1983) - Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 37-A; 1983; 124 pp., 11 figs., 26.
- PALMSTOM, A (1995) RMI: A Rock Mass Characterization System for Rock Engineering. Purpose Ph. D Thesis, Oslo University. Disponible en internet via:
- PRIEST, S.D; HUDSON. J.A;(1976), Discontinuity Spacings in Rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 13:135-148.
- SUCAPUCA (2001) Excavacion del Tunel Taya Taya, Tesis de Ing Geologo EPIG-UNAP.

## ANEXOS

## LISTA DE PLANOS

PLANO N°	DESCRIPCION
01	PLANO DE UBICACIÓN
02	PLANO GEOLÓGICO REGIONAL
03	PLANO GEOLÓGICO LOCAL SUBTERRANEO (GALERIA 090)
04	PLANO GEOLÓGICO LOCAL SUBTERRANEO (GALERIA 270 E-W)
05	PLANO GEOMECANICO VETA BUENOS AIRES