

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DEL
PROYECTO MINERO VIBORAS III, NIVEL 2160-DISTRITO DE
CHAPARRA-CARAVELI-AREQUIPA

TESIS

PRESENTADA POR:

MARCO ANTONIO ORTIZ CORREA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECAÍNICA DEL PROYECTO MINERO
VIBORAS III, NIVEL 2160 – DISTRITO DE CHAPARRA – CARAVELI -
AREQUIPA**

TESIS PRESENTADA POR:

MARCO ANTONIO ORTIZ CORREA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

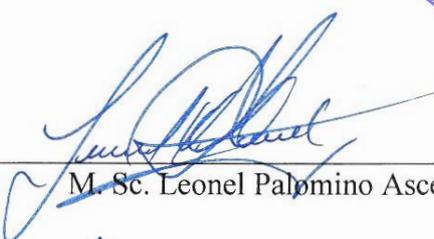
INGENIERO GEÓLOGO



APROBADA POR:

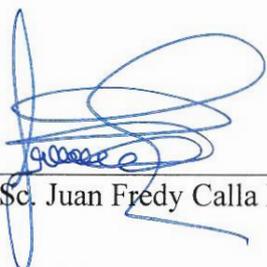
PRESIDENTE

:


M. Sc. Leonel Palomino Ascencio

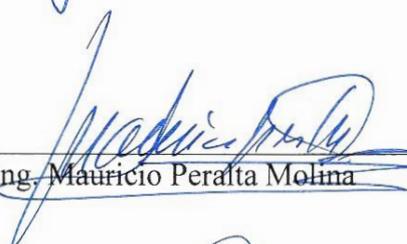
PRIMER MIEMBRO

:


M. Sc. Juan Fredy Calla Fernández

SEGUNDO MIEMBRO

:


Ing. Mauricio Peralta Molina

DIRECTOR / ASESOR

:


Dr. Hector Raul Machaca Condori

ÁREA: Geotecnia

TEMA: Evaluación Geológica y Geomecánica del Proyecto Minero Víboras III, nivel 2160 – Distrito de Chaparra – Caravelí – Arequipa.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de abril del 2019

DEDICATORIA

A Dios

Por obsequiarme la vida, bendecirme con buena salud para lograr mis objetivos y cumplir con su voluntad, además de su abundante misericordia hacia mi persona.

A mis Adorados Padres

Nicolasa y Antonio, por brindarme su apoyo incondicional, apoyándome en cada momento y siempre dándome aliento para poder seguir adelante y nunca rendirme para lograr mis sueños y objetivos, los amo.

A mis Apreciados Hermanos

Carmen, Jhon y Enrique; por el aliento, apoyo incondicional para lograr mis sueños entre bromas y regaños, estoy eternamente agradecido.

Al Amor de y para mi vida

Grettel, que con su incesante apoyo y aliento me motiva cada día a ser un buen profesional y mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por brindarme el regalo de la vida, bendecirme con la hermosa familia que poseo y siempre guiarme por el buen camino para hacer realidad este anhelado sueño.
- A mis adorados padres por sus sabios consejos, por incentivarne a concluir este proyecto de investigación haciendo denodados esfuerzos y sacrificios, mis hermanos por compartir cada momento entre alegrías y tristezas; y familiares que siempre creyeron en mí.
- A mi querida novia que siempre está a mi lado apoyándome en lograr mis sueños y superar cualquier situación adversa.
- Al Ing. Elvis Rodriguez Vásquez por darme el permiso para realizar dicha investigación y quien día a día me brindo sus conocimientos, experiencia en esta rama que comparte la ingeniería Geológica.
- A la UEA: Secutor, por brindarme la oportunidad de desempeñar mi labor como geólogo y poder realizar esta investigación.
- A mis apreciados docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica por haber transmitido sus vastos conocimientos en mí, por brindarme su amistad y consejos para mi formación profesional.
- A la universidad nacional del altiplano – Puno, por ser mi alma mater y mentora en mí proceso de desarrollo personal y profesional.
- Finalmente, a todos mis amigos y personas que influyeron en mí y apoyaron durante esta aventura universitaria.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	11
RESUMEN	11
ABSTRACT	16

I. INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	17
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	18
1.3. HIPOTESIS.	19
1.4. OBJETIVOS.....	19
1.5. UBICACIÓN Y ACCESO.....	19
1.6. CLIMA Y METEOROLOGIA.....	22

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.	27
2.2. MARCO TEORICO.....	35
2.3. MÉTODO PARA EL DISEÑO DE TÚNELES.	56
2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	58
2.5. CARACTERIZACION DEL ÀREA DE INVESTIGACIÓN. ..	60
2.6. GEOMORFOLOGIA REGIONAL.	69
2.7. GEODINÁMICA EXTERNA.....	71
2.8. GEOLOGÍA LOCAL.....	72
2.9. GEOMORFOLOGIA.....	75
2.10. GEODINAMICA INTERNA.....	76
2.11. UNIDADES GEOMORGOLOGICAS.	83
2.12. HIDROLOGÍA.	86

2.13.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	87
2.14.	ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	89
III. MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	MATERIALES.....	95
3.2.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	96
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1.	CARACTERISTICAS GEOLÓGICAS.....	102
4.2.	CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO.....	104
V.	CONCLUSIONES.....	122
VI.	RECOMENDACIONES.....	123
VII.	REFERENCIAS.....	124
	WEBGRAFIA.....	130
	ANEXOS.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales vías de acceso al proyecto minero Viboras III.....	20
Tabla 2: Ubicación geográfica.	21
Tabla 3: Estación meteorológica.....	22
Tabla 4: Temperatura máxima media mensual (°C).	23
Tabla 5: Temperatura mínima media mensual (°C).....	23
Tabla 6: Datos de precipitación (mm).	24
Tabla 7: Datos de humedad relativa (%).	25
Tabla 8: Dirección predominante y velocidad media del viento.	25
Tabla 9: Valoración para el espaciamiento.....	38
Tabla 10: Rango de estimación de la resistencia en campo.....	39
Tabla 11: Valoración y nomenclatura para la persistencia.	40
Tabla 12: Valoración y nomenclatura para la abertura.	40
Tabla 13: Valoración y nomenclatura para la rugosidad.	41
Tabla 14: Valoración y nomenclatura para la relleno.....	41
Tabla 15: Valoración y nomenclatura para la meteorización.	42
Tabla 16: Valoración de la presencia de agua.	43
Tabla 17: Clasificación geomecánica RMR.	44
Tabla 18: sostenimiento a partir del índice RMR.	45
Tabla 19: Descripción del índice de calidad de la roca.	47
Tabla 20: Tipos de macizos rocosos según Barton.....	48
Tabla 21: valores del índice ESR de la clasificación <i>Q</i> (BARTON, 2000).	49
Tabla 22: Relación de discontinuidades que pueden afectar a una obra subterránea.	54
Tabla 23: Resumen de los sismos de mayor intensidad en los últimos 500 años en el Sur- Oeste Peruano.....	80
Tabla 24: Unidades geomorfológicas.	86

Tabla 25: Parámetros valor de RQD.....	107
Tabla 26: Parámetros de valoración según el índice RMR.....	107
Tabla 27: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-01.	108
Tabla 28: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-02.	110
Tabla 29: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-03.	111
Tabla 30: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-04.	113
Tabla 31: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-05.	114
Tabla 32: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-06.	116
Tabla 33: Resultados del ensayo de carga puntual (Irregular).	118
Tabla 34: Resultados del ensayo de compresión simple.	119
Tabla 35: Resultados obtenidos de RQD e índice de Q en campo.	120
Tabla 36: Resultados obtenidos de RMR y GSI en campo.	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del proyecto.	21
Figura 2: Longitudes de pase y tiempos de estabilidad sin soporte (Bieniawski, 1989)	46
Figura 3: Sostenimiento según el índice Q (Barton, 2000).	50
Figura 4: Geological Strength Index GSI. Hoek (1994).....	51
Figura 5: Inestabilidad del frente de avance originado por la cercanía de un dique (estructura geológica con diferente comportamiento geotécnico) que ocasiona una concentración de tensiones (S.N.M.P.E, 2004)	53
Figura 6: Parámetros de las discontinuidades en afloramiento.	56
Figura 7: Ensayo de carga puntual.....	59
Figura 8: Ensayo de compresión simple	60
Figura 9: columna estratigráfica regional.	69
Figura 10: Vista al Nor-Oeste de la Mina Viborass III, donde se aprecia la Fm Guaneros (Js-gu).	73
Figura 11: Depósitos aluviales y coluviales.	74
Figura 12: columna estratigráfica local	75
Figura 13: Esquema de la zona de subducción en el Perú.....	78
Figura 14: Mapa de zonificación sísmica.	79
Figura 15: Escala Mercalli.....	81
Figura 16: Escala Richter.....	81
Figura 17: Mapa de distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años.	82
Figura 18: Vista al Nor-Este: Se observa las Unidades Geomorfológicas en la Mina Viboras III.....	84
Figura 19: Vista al Sur-Oeste: Se observa las unidades Geomorfológicas en la Mina Viboras III.	85
Figura 20: Fallas Regionales.....	88
Figura 21: Estructuras mineralizadas.....	90

Figura 22: Se muestra la alteración de los sulfuros primarios.....	91
Figura 23: Se muestra el bandeamiento y el ancho de la Veta Bianca.....	92
Figura 24: Se muestra la Veta Paula emplazada en roca andesita.....	92
Figura 25: Se muestra la Veta Regional con presencia de alteración argílica moderada, propilitica y silicificación débil.....	93
Figura 26: Imagen satelital mostrando dirección de la falla Palomino, NW - SE.....	94
Figura 27: Registro mapeo de línea de detalles de aspecto geomecánicos.	
Ver anexo A.....	105
Figura 28: Sistema de clasificación Q para la EG-01.....	109
Figura 29: Sistema de clasificación Q para la EG-02.....	110
Figura 30: Sistema de clasificación Q para la EG-03.....	111
Figura 31: Sistema de clasificación Q para la EG-04.....	113
Figura 32: Sistema de clasificación Q para la EG-05.....	114
Figura 33: Sistema de clasificación Q para la EG-06.....	116

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ASTM	: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
Az	: AZIMUT.
Buz	: BUZAMIENTO.
Cm	: CENTIMETRO.
CISMID	:CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES.
Cx	: CRUCERO.
D	: DIÁMETRO DE MUESTRA.
D 2938 – 95	: STANDARD TEST METHOD FOR UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS
D 5731 - 02	: STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINATION OF THE POINT LOAD STRENGTH INDEX OF ROCK.
De	: DIMENSIÓN EQUIVALENTE.
Di	: DIORITA.
E	: ESTE.
EG	: ESTACIÓN GEOMECANICA.
ESR	: ESCAVATION SUPPORT RATIO.
Fe	: HIERRO.
F-A.al	: SISTEMA FLUVIA - ABANICO ALUVIAL.
Fm.	: FORMACIÒN.
F-Qb	: SISTEMA FLUVIA - QUEBRADA.
F-Vs	: SISTEMA FLUVIA - VALLE EN V.
gAu/t	: GRAMOS DE ORO POR TONELADA.

Gl	: GALERIA.
GSI	: GEOLOGICAL STRENGHT INDEX.
IGP	: INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ.
INGEMMET	: INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO.
Is	: INDICE DE RESISTENCIA EN LA CARGA PUNTUAL.
Ja	: JOIN ALTERATION NUMBER.
Ji-cho	: JURASICO INFERIOR - FORMACIÓN CHOCOLATE.
Jn	: JOINT SET NUMBER.
Jr	: JOIN ROUGHNESS NUMBER.
Js-gu	: JURASICO - FORMACIÓN GUANEROS.
Jw	: JOINT WATER REDUCTION FACTOR
Jv	: NÚMERO TOTAL DE DISCONTINUIDADES POR M ³ .
Km	: KILOMETRO.
Ks	: CRETÁCEO SUPERIOR.
Ks-an	: CRETACEO SUPERIOR - COMPLEJO BELLA UNIÓN.
Ks-li	: CRETÁCEO SUPERIOR - SÚPER UNIDAD LINGA.
Ks-ti	: CRETACEO SUPERIOR - SÚPER UNIDAD TIABAYA.
M	: DIÁMETRO O ALTURA DE EXCAVACIÓN.
m	: METROS.
MA	: MILLONES DE AÑOS.
Max	: MAXIMO.
Min	: MINIMO.
mm	: MILÍMETROS.

Mn	: MANGANESO.
MPa	: MEGA PASCALES.
m.s.n.m.	: METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
M-AC	: ALTAS CUMBRES Y LOMAS.
M-La	: LADERAS.
Mz	: MONZONITA.
Mzdi	: MONZODIORITA.
N	: NORTE.
NE	: NORESTE.
Nm-hu	: NEÓGENO MIOCENA - FORMACIÓN HUAYLILLAS.
Nm-mo	: NEÓGENO MIOCENA - FORMACIÓN MOQUEGUA.
Nm-pi	: NEÓGENO MIOCENA - FORMACIÓN PISCO.
NW	: NOROESTE.
NW-SE	: NOROESTE - SURESTE.
P	: CARGA DE ROTURA.
PLT	: POINT LOAD TEST.
Q	: ROCK MASS QUALITY.
Qh-al, Qh-e	: DEPÓSITOS RECIENTES (ALUVIALES, EÓLICOS).
RQD	: ROCK QUALITY DESIGNATION.
RMR	: ROCK MASS RATING.
S	: SUR.
SE	: SURESTE.
SENAMHI	: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA.

RESUMEN

La evaluación geológica y geomecánica que se realizó en el proyecto minero Víboras III, Unidad Económica Administrativa Secutor S.A.C., ubicada en el distrito de Chaparra, Provincia de Caravelí, Departamento de Arequipa; a lo largo de las labores mineras se determinó las unidades litológicas geológicamente, regionalmente se encuentra emplazada en rocas andesitas de la Formación Guaneros (Js-gu) andesita porfírica presente como pequeños diques y el Complejo Bella Unión (Ks-an) andesita de grano fino con matrices afániticas intensamente piritizada. El objetivo general del trabajo de investigación es evaluar las características geológicas de la roca de caja y evaluar las características geomecánicas en base a los parámetros geomecánicos; que serán observadas y descritas en estaciones geomecánicas, que se realizaron en el nivel 2160 del proyecto minero, las unidades litológicas que afloran en el área de estudios son rocas andesitas porfíricas de la Formación Guaneros, que se encuentran fracturados por planos de discontinuidades dominantes en la orientación NW - SE. La mineralización está emplazada en el macizo rocoso con buzamientos de 60 a 85 emplazadas por estructuras mineralizadas de cuarzo, óxidos de hierro, pirita que se encuentran diseminados como también rellenando fracturas y pequeñas grietas en la roca caja con presencia de alteración propilitica en sectores, con un característico ensamble de clorita, epidota, y rara vez calcita. El comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el nivel 2160 del proyecto minero Viboras III de las seis estaciones geomecánicas, analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso presenta un RQD de 63 - 94 %, es de calidad regular a buena, con valores RMR de 59 - 68 que es de tipo II - III, con un índice Q Barton de 5.25 a 14.67, cuyos, índice geológica de resistencia GSI = 54 a 73 unidades, indica que la roca es regular a buena calidad.

Palabras Clave: Geología, geotecnia, macizo rocoso, Estación Geomecánica, RQD.

ABSTRACT

The geological and geomechanical evaluation that was carried out in the mining project Víboras III, Unidad Económica Administrativa Secutor S.A.C., located in the district of Chaparra, Province of Caravelí, Department of Arequipa; During the mining work the lithological units were determined geologically, regionally it is located in andesite rocks of the Guaneros Formation (Js-gu) porphyric andesite present as small dikes and the Bella Union Complex (Ks-an) fine grain andesite with intensely spiritualized afanitic matrices. The general objective of the research work is to evaluate the geological characteristics of the box rock and evaluate the geomechanical characteristics based on the geomechanical parameters; that will be observed and described in geomechanical stations, which were carried out at level 2160 of the mining project, the lithological units that emerge in the study area are porphyric andesitic rocks of the Guaneros Formation, which are fractured by planes of dominant discontinuities in the NW - SE orientation. The mineralization is located in the rocky massif with 60 to 85 dives located by mineralized structures of quartz, iron oxides, pyrite that are scattered as well as filling fractures and small cracks in the box rock with presence of propylitic alteration in sectors, with a characteristic assembly of chlorite, epidote, and rarely calcite. The geomechanical behavior of the rock massif at level 2160 of the mining project Viboras III of the six geomechanical stations, analyzed and evaluated, determines that the rock mass presents an RQD of 63 - 94%, is of regular quality to good, with RMR values of 59-68 which is of type II-III, with a Q Barton index of 5.25 to 14.67, whose geological resistance index GSI = 54 to 73 units, indicates that the rock is regular to good quality.

Keywords: Geology, geotechnics, rock massif, Geomechanical Station, RQD.

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio contiene los resultados de la evaluación geológica – geomecánica con fines de analizar la estabilidad del nivel 2160, evaluar los peligros geológicos e identificar los riesgos geomecánicos, en el Proyecto Minero Viboras III, de la Unidad Económica Administrativa Secutor.

En esta investigación se presenta los resultados de la evaluación geológica (geología regional, local, estructural, geomorfología y geodinámica externa), evaluación geomecánica (mapeo geomecánico, ensayos de laboratorio), evaluación geomecánica (caracterización del macizo rocoso).

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Es de amplio conocimiento que en los últimos años, la aplicación de la mecánica de rocas en muchos proyectos mineros de nuestra región, ya que la obtención de parámetros geomecánicos y la caracterización de las discontinuidades y el estado de la roca intacta permiten determinar la estabilidad

global del nivel 2160, en beneficio de la seguridad al interior de las labores mineras e igualmente minimizando perdidas por desprendimiento del macizo rocoso.

La caracterización apropiada de los macizos rocosos, así como es la base del diseño de las labores mineras, contribuyen a la optimización del método de explotación, y permite el monitoreo durante el avance de las labores mineras. Así como proporciona un conocimiento técnico completo del perfeccionamiento de los procesos de la mina, de manera cuantitativa determinando así la calidad geotécnica de un macizo rocoso, y permitiendo la distinción entre un macizo y de otro, de manera rápida y fácil. Esta información se aplica en la obtención de una mayor seguridad en las labores mineras debido a la oportunidad de implementar medidas de mejoramiento del macizo.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La actividad de extracción minera tiene un impacto importante en el crecimiento económico y como todo desarrollo productivo en la industria minera, la explotación es importante, donde las operaciones mineras deben desarrollarse cuidando la integridad de los colaboradores mediante un control de estabilidad del macizo rocoso; de igual modo, considerar la importancia de diseño en las labores de producción y exploración.

1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL.

¿Qué tipo de roca se presenta en el nivel 2160 del proyecto minero Viboras III respecto a la caracterización del macizo roco?

1.3. HIPOTESIS.

El comportamiento geomecánico y la geología del macizo rocoso en el proyecto minero Viboras III, es adecuado según los parámetros geomecánicos obtenidos en campo.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar las características geológicas y geomecánicas del proyecto minero Viboras III.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Evaluar las características geológicas del proyecto minero Viboras III.
- Evaluar y caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso del proyecto minero Viboras III.

1.5. UBICACIÓN Y ACCESO.

Geográficamente, La unidad se encuentra ubicado a 2.03Km en línea recta al noroeste del distrito de Chaparra; en un área comprendida al margen izquierda del río Quicacha que forma el valle de Chaparra. Las coordenadas UTM WGS 84 zona 18 son: 8´263,748 N - 604,846 E (Hoja 32 Ñ, Chala, carta nacional 1:100,000).

El área de estudios se encuentra ubicada políticamente en el distrito de Chaparra, provincia de Caraveli, departamento de Arequipa, en la costa del Perú, a 636.3 km. al sur de Lima.

La unidad económica administrativa secutor, es accesible desde el pueblo de Chala a partir de la Panamericana Sur, con dirección hacia Arequipa hasta el desvío hacia el noreste Chaparra posteriormente otro desvío al norte hacia Españolita, finalmente el ultimo desvío al noreste a la altura del Km 19 hacia Secutor, hasta el segundo desvío la carretera esta asfaltada el resto es trocha carrozable. Ver Figura N° 1. Su altitud está considerada entre 2148 a 2406 m.s.n.m.

Tabla 1: Principales vías de acceso al proyecto minero Viboras III.

PRINCIPALES VIAS DE ACCESO AL PROYECTO MINERO VIBORAS III			
De	A	Distancia (Km)	Acceso
Lima	Chala	627 Km	Carretera Asfaltada
Chala	UEA. Secutor	9 Km	Trocha
Arequipa	Chala	439.5 Km	Carretera Asfaltada
Chala	UEA. Secutor	9 Km	Trocha

FUENTE: Elaboración propia.



Figura 1: Ubicación del proyecto.

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 2: Ubicación geográfica.

COORDENADAS U.T.M. DE LOS VÉRTICES DEL ÁREA DE INTERES			
VÉRTICE	ESTE	NORTE	ÁREA (Has)
1	604798	8264635	100
2	605798	8264635	
3	605798	8263635	
4	604798	8263635	

FUENTE: Elaboración Propia.

1.6. CLIMA Y METEOROLOGIA.

SENAMHI (2014), según la clasificación Climática de Werren Thornthwaite usada por el SENAMHI, el área del proyecto está dentro de la zona de clima semi árido templado, con deficiencia de lluvia en otoño, en invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seco con temperaturas promedio de 19 °C, oscilando entre valores más altos en verano (25 °C) y valores más bajos en invierno (15.4 °C).

Para el presente estudio, se considera la información de la estación meteorológica de chaparra, ya que ésta es la más cercana al área del proyecto, con una data histórica de 05 años, la que se describe a continuación:

Tabla 3: Estación meteorológica.

UBICACION	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
Chaparra	Chaparra-0007741	15°45' S	73°52' W	1033

FUENTE: SENAMHI.

Los parámetros considerados para el estudio son vegetación, temperatura máxima media mensual, temperatura mínima media mensual, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

1.6.1. VEGETACION.

Ingemmet, Enrique O. L. (1980), El área mencionada al tener las características de ser un clima variado que va desde árido y seco, solo se registra vegetación como el ichu.

1.6.2. TEMPERATURA.

- **Temperatura Máxima Media Mensual.**

SENAMHI (2014), los valores más altos durante los cinco años (2009 - 2013), se registraron en los meses de Enero a Marzo; el valor más alto fue 28.3°C en el mes de febrero del 2012. El Promedio anual de temperatura máxima está en 25.3 °C.

Tabla 4: Temperatura máxima media mensual (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC (°C)
2009	26,5	27,2	27	26,1	24,5	24,3	23,2	24,1	23,7	25,9	25,4	25,7
2010	26,4	27,3	27,2	26,1	24,8	23	22	23,9	24,2	24,7	25,5	26,1
2011	27,1	27,5	27,4	26,2	24,8	23,1	21,9	23,2	25,8	25,4	26	26,5
2012	27,6	28,3	28	26,4	25,5	24,2	22,9	22,6	24,2	24,9	25,6	26
2013	27	27,4	27,4	26,4	24	23,5	23,7	23,4	24,1	25,4	25,6	26,1

FUENTE: SENAMHI.

- **Temperatura Mínima Media Mensual.**

SENAMHI (2014), los valores más bajos se registraron entre los meses de junio a octubre; el más bajo en los últimos cinco años fue 7.8 ocurrido en el mes de agosto del 2010. Las temperaturas anuales varían de 8.4 a 16.8°C.

Tabla 5: Temperatura mínima media mensual (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC (°C)
2009	15,3	16,1	15,1	14,5	11,2	9,5	8,1	8,1	10,2	10,2	11,2	13,1
2010	15,1	17,3	15,3	13,9	12,2	9,2	7,8	8,4	10,3	9,7	11	13,4
2011	15,6	16,7	15,4	14,6	11,1	9,9	8,6	8,6	10,6	10,9	12,3	14,3
2012	15,6	16,8	16,6	15,3	12,1	9,9	8,8	8,6	10,4	10,3	12,2	14,6
2013	15,5	16,4	15,8	13,2	11,5	9,4	10,4	8,9	10,4	10,4	11,3	13,9

Fuente: SENAMHI.

- **Precipitación.**

SENAMHI (2014), la precipitación en área del proyecto es muy escasa. Tenemos que la precipitación total mensual entre los meses de diciembre a setiembre varía desde 0 a 2.5 mm., y en los meses de octubre y noviembre no existe precipitación.

Durante los meses de marzo a abril del año 2012 se presentaron las precipitaciones más altas durante los 5 últimos años en evaluación con unos valores de 11.5 y 6.4 mm.

La precipitación promedio anual varía de 0.07mm a 1.76mm como se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 6: Datos de precipitación (mm).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET.	OCT	NOV	DIC
2009	3,1	1,2	2,1	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0	0,5
2010	0	0.5	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	1.1	0	1,9	0	2,3	2	0,9	0	0	0	2,1
2012	0,5	2,5	11,5	6,4	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0,8	5	2,3	3	0,9	0	1,4	0	0	0	0	0,6

FUENTE: SENAMHI.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013
PROM(mm)	0,63	0,07	0,86	1,76	1,23

FUENTE: SENAMHI.

- **Humedad Relativa.**

SENAMHI (2014), según los registros de la estación de Chaparra, durante los cinco años de evaluación, presenta un promedio de 78.28% a 88.79% anual de humedad relativa.

Los valores de humedad relativa media mensual del periodo 2009-2013 han sido promediados en forma aritmética, obtenido los siguientes resultados:

Tabla 7: Datos de humedad relativa (%).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2009	85,2	87,8	88,6	87,2	89,4	84,9	86,1	38,8	87,8	83,3	87	89,3
2010	90,2	90,3	83,9	88,4	87,4	84,4	82,1	80,3	87,8	90,8	90,9	88,8
2011	87,8	88,9	87,8	90,2	91,5	90,1	98,7	90	85,1	85,1	86,9	83,4
2012	66,8	70,6	73,3	74	74,6	74,7	81,5	84,9	85,5	87,6	84,1	81,8
2013	78,3	79,9	84,4	85,6	81,4	73,2	72,7	69,8	77,8	75	80,2	86,1

FUENTE: SENAMHI.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013
PROM(%)	82,95	87,11	88,79	78,28	78,70

FUENTE: SENAMHI.

- **Viento.**

SENAMHI (2014), el comportamiento del viento en el área del proyecto es muy variable, tanto en intensidad como en dirección, presentándose predominancia en la dirección Sur Oeste (SW) con una velocidad promedio de 2.34 m/s, según los datos registrados durante el periodo 2009-2014.

Tabla 8: Dirección predominante y velocidad media del viento.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
2009	SW-3,4	SW-3,0	SW-2,9	SW-2,6	SW-2, 2	SW-1,9
2010	SW-2,7	SW-3,0	SW-2,6	SW-1,9	SW-1,7	SW-1,6
2011	SW-2,9	SW-2,7	SW-3,1	SW-2,4	SW-1,7	SW-1,8
2012	SW-2,4	SW-2,7	SW- 2,3	SW-2,0	SW-1,7	SW-1,5
2013	SW-1,6	SW-1,5	5W-1,6	5W-1,5	5W-1,4	SW-1,4
2014	5W-2,1	5W- 2,0	5/D*	5/D	S/D	S/D
AÑO	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2009	SW-1,7	SW- 2,0	SW-1,8	SW-2,2	SW-2,3	SW-2,2
2010	SW-1,8	SW-2, 2	SW-2,1	SW-2,5	SW- 2,5	5W-2,6
2011	SW-1,8	SW-1,8	SW-1,9	SW-2,3	SW-2,8	SW- 2,7
2012	SW-1, 6	SW-1,8	SW-1,8	SW-2,0	SW- 2,0	SW-2,4
2013	SW-1,6	SW-1,5	S W-1,5	5W-1,7	SW-1,6	5W-1,8
2014	5/D	S/D	5/ D	5/ D	5/ D	5/D

FUENTE: SENAMHI.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La evaluación geológica y geomecánica realizada en la mina fue a nivel local en el nivel 2160 de la mina Viboras III, con fines de evaluar la estabilidad física del macizo rocoso.

En este capítulo se detallan las características de la geología regional y local, donde incluye geomorfología, estratigrafía, litología, geología estructural y procesos de geodinámica externa.

El distrito de Chaparra es una zona netamente minera, donde la explotación de estas se remonta a la época prehispánica y de forma más intensiva fueron trabajadas durante la época colonial, pasado el tiempo se incrementaron los trabajos mineros y paulatinamente la cantidad de habitantes fueron aumentando hasta el punto de realizar actividades netamente informales sin criterio técnico.

Trabajos de investigación realizados en diferentes temas:

- Dentro de los depósitos de valor económico, ha sido el oro el que mayores beneficios ha brindado a la provincia de Caravelí.
- Los yacimientos se trabajaron en gran escala, tales como las minas de Calpa, La Capitana, El Convento, San Juan y Santa Rosa los que tuvieron un gran auge.
- Actualmente, todas ellas están paralizadas, pero se están tratando los relaves.
- Un estudio detallado sobre la mina Santa Rosa ha sido llevado a cabo por F. Bruner (1956) y de la mina Calpa por O. Galarza (1967).
- Así mismo un estudio sobre la mina Calpa también fue realizado por Fernandez J. (2014).

En la actualidad la mina María Auxiliadora y otras minas informales existentes alrededor del proyecto están siendo explotadas de manera convencional.

2.1. ANTECEDENTES.

Cartaya M. (2003), concluye que “se estableció las principales características geomecánicas de los macizos rocosos estudiados en la investigación desarrollada. Los resultados del estudio del agrietamiento de los macizos rocosos muestran que un gran porcentaje de ellos se presentan agrietados, lo que se relaciona a las formas preponderantes en que se manifiesta la pérdida de su estabilidad y el mecanismo de actuación de la presión. Como resultado de la evaluación de la estabilidad de los macizos rocosos según su calidad y estabilidad se obtiene que predominan los macizos de calidad regular, aunque en diferentes sectores y obras se presentan macizos en mal estado, lo que

es condicionado además de los problemas estructurales, por el deterioro que ellos han sufrido por efectos del agua, la erosión y la atmósfera subterránea y se obtienen un grupo de criterios geomecánicos – estructurales que pueden ser aplicados para el diseño de excavaciones y obras subterráneas, fundamentando su empleo”.

Guamán V. Mendieta F. (2013), Indica que “este estudio investiga las propiedades geomecánicas y la calidad del macizo rocoso en la cantera Las victorias sector El Descanso, cuyos resultados permiten obtener una visión realista del estado actual del macizo rocoso. Consiste en emplear una metodología de investigación que consta de trabajos analíticos y experimentales. Para su elaboración se realizaron investigaciones de campo, ensayos de laboratorio, procesamiento y análisis de los parámetros geomecánicos. Basados en el estudio de los sistemas de clasificación geomecánica: Rock Quality Designation (RQD), Rock Mass Rating (RMR), sistema Q, Slope Mass Rating (SMR) y Geological Strength Index (GSI) se determinó la calidad del macizo rocoso. La calidad del macizo rocoso está controlado por variables litológicas, esfuerzos in situ, meteorización, resistencia a la compresión uniaxial y las múltiples familias de discontinuidades. El RMR clasifica al macizo rocoso como Bueno, el SMR clasifica al macizo rocoso de Malo y Bueno, mientras el sistema Q clasifica la calidad del macizo como Mala. El criterio de falla de Mohr-Coulomb fue aplicado para estimar la resistencia del macizo rocoso en la cantera Las Victorias y determinar el máximo esfuerzo de corte, los parámetros de resistencia como cohesión y ángulo de fricción”.

Sosa J. (2016), indica El Estudio de Tesis, involucra criterios técnicos geomecánicos orientados al diseño de los tajeos orientados a la explotación de

los diferentes cuerpos mineralizados en esta Unidad minera como una alternativa de solución al problema de seguridad durante la explotación de los cuerpos mencionados. Se fundamenta en el análisis de las condiciones geológicas, geométricas e hidrogeológicas y el estudio geomecánico de los cuerpos mineralizados OB2, OB5 y OB6 su entorno físico. Para cumplir con el objetivo de este trabajo, fue necesario realizar trabajos de campo, laboratorio y gabinete. En una primera etapa el estudio estuvo orientado a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permitió evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos. En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de realizar el diseño y las condiciones de estabilidad de las excavaciones durante la explotación de los tajeos de producción a través del análisis del gráfico según Potvin y Nickson.

Cruzado P. (2017), indica que “La investigación se desarrolló en el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero, en el Distrito de José Villanueva, Provincia de San Marcos, Departamento de Cajamarca - Perú, consta de una excavación de 170.2 m. Tiene como objetivos determinar la Inestabilidad Geomecánica que presenta el túnel, para lo cual se ha establecido 18 estaciones geomecánicas tomando datos después de cada voladura. Se evaluó la parte geológica a través del cartografiado geológico subterráneo, que permitió tomar datos como Rumbo y Buzamiento para saber el comportamiento de las familias de diaclasas y el tipo de litología en el túnel (Formación Chimú). Obteniendo siete sistemas de discontinuidades (D1 al D7), siendo las más representativas D2, D3 y D6 presentes en casi todo el eje del túnel. Se evaluó la parte geomecánica a través

de la matriz geomecánica donde se pudo obtener datos del macizo rocoso y determinar su clasificación geomecánica en cada estación, clasificándola como una roca tipo II (buena calidad) y roca tipo III (regular calidad), para lo cual se debe reforzar con pernos cementados de 2.10m colocados puntualmente (roca tipo II) y pernos cementados de 2.10m con espaciado 1.80 x 1.80m (roca tipo III). Se comprobó la formación de cuñas y su comportamiento con respecto a la dirección del túnel en algunas de las estaciones geomecánicas mediante el software Dips V6. Realizado todos estos estudios se concluyó que el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero presenta inestabilidad Geomecánica”.

Toledo M. (2017), El trabajo de investigación tiene como objetivo la aplicación de la geomecánica en el diseño del sostenimiento de labores mineras en la Unidad Minera Pallca, realizando una evaluación geomecánica de la masa rocosa, con la finalidad de garantizar la estabilidad de las labores mineras. Para cumplir con el objetivo mencionado, fue necesario realizar trabajos de campo, laboratorio y gabinete. En una primera etapa del estudio estará orientado a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permitirá evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos. En una segunda etapa, se integrara la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas, para finalmente dar las recomendaciones para garantizar la estabilidad de las labores mineras subterráneas. Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada durante las investigaciones básicas y utilizando herramientas de cálculo de la mecánica de rocas, se ha llevado a cabo un número de análisis, mediante los cuales se determinara los elementos o

sistemas de sostenimiento en caso se requiera en las labores mineras subterráneas.

Balarezo A. (2018), indica que “La geomecánica es una disciplina muy utilizada en los últimos tiempos, creada para el análisis de macizos rocosos, dando, así como resultado la caracterización y las condiciones en las que se encuentra éste. El presente estudio está referido a la evaluación geológica – geomecánica, con el fin de analizar la estabilidad de taludes en el área de open pit que es parte de la explotación minera en la concesión de Lomas de Oro, En la primera parte de este informe se describe los resultados obtenidos de la evaluación geológica, evaluación geotécnica, habiendo realizado mapeos Geomecánicos en superficie, ensayos de campo y de laboratorio; también se realizó una evaluación geomecánica con el fin de obtener la caracterización de los macizos rocosos y su zonificación. Encontrando una litología de calizas cortado por diques Andesíticas y con discontinuidades en la zona de estudio. Posteriormente el diseño de los taludes de banco, serán diseñados teniendo en cuenta los parámetros Geomecánicos y geológicos, incluyendo el diseño de la berma de seguridad y el ángulo de banco óptimo. Finalmente se realizará el modelamiento de los taludes globales del tajo, teniendo en consideración los parámetros de resistencia y deformación de acuerdo al criterio generalizado de Hoek y Brown (2002) y el análisis con el software geomecánico Rocscience”.

Fernandez J. (2014). La estructura mineralizada de la veta Tico aflora al suroeste de las operaciones de la Mina Calpa, esta se ubica en el distrito de Atico, provincia de Caravelí en el departamento de Arequipa. La zona de estudio está ubicada dentro de los cuadrángulos de Chaparra (320) y Caravelí (32p). El relieve del área generalmente no es abrupto y es redondeado. El

intemperismo físico juega un papel importante en la topografía de la zona; por el efecto térmico, que produce la fuerte insolación; a la que se exponen las rocas en superficie. El agua como agente erosivo cumple un papel secundario y restringido por causa de la extrema aridez del área, solo en periodos de lluvias arrastra materiales aluviales. Sus unidades geomorfológicas son: Cadena Costanera o Cordillera de la Costa, Peneplanicie Subandina Valles transversales que conforman los principales quebrada de la zona; como la quebrada de Atico.

La litología de la zona se caracteriza por el afloramiento de rocas intrusivas y volcánicas, se tiene la ausencia del paleozoico y mesozoico como el triásico, jurásico y parte del cretácico, donde las rocas más antiguas están conformadas por el Complejo Bella Unión; son rocas hipabisales andesíticas de color gris verdoso, este complejo marcaría el inicio del plutonismo del batolito de la costa, conformado por las súper unidades Incahuasi (granodioritas y tonalitas) y Linga (rnonzonltas), que afloran en la zona de estudio. Sobre estas rocas intrusivas sobreyace con discordancia erosiona! la formación Huaylillas; conformado por tobas andesíticas riolíticas de color blanco amarillento, también sobreyace la formación Millo; conformado por conglomerados y areniscas conglomerádicas de origen continental intercalados con Tovas y cenizas volcánicas. Sobre estas formaciones sobreyace también con discordancia erosiona! las tobas ignimbríticas dacíticas, riodacíticas y andesíticas de color rojizo a naranja, alterados pertenecientes al Volcánico Sencca, estas formaciones y el volcánico son rocas del terciario desde el Mioceno Medio hasta Plioceno medio. Los depósitos cuaternarios recientes se caracterizan por ser

mayormente aluviales; el cual está conformado por depósitos de conos aluviales, terrazas aluviales, los depósitos son generalmente de origen intrusivo y volcánico.

La geología Local de la mina Calpa se caracteriza por el afloramiento de las rocas del Complejo Bella Unión, conformados por andesitas hipabisales de color gris verdoso, causado por la fuerte propilitización que han sufrido estas rocas, estas a su vez están cortadas por pequeños diques andesíticos formando verdaderos enjambres, es la roca encajonante de todas las vetas del yacimiento. El complejo está cortado por la Súper Unidad Incahuasi conformado por granodioritas y tonalitas de grano medio; leucócratas, estas rocas intrusivas corresponden al Cretáceo Superior. A los emplazamientos mencionados sobreyace con discordancia erosional el Volcánico Sencca que conforman Tobas ignimbríticas de color rojizo correspondientes al Plioceno Medio, se localizan en las partes altas de los cerros formando comisas verticales y los depósitos aluviales recientes.

Estructuralmente el área se encuentra ubicada dentro de la zona de emplazamiento del Batolito de la Costa, el cual siguió una faja de debilidad cortical consistente de un fallamiento y fracturamiento por fondo de dirección NW - SE; producidos entre el cretáceo superior y terciario inferior. La zona de emplazamiento del Batolito de la Costa está controlado por fallas y fracturas profundas pre existentes; que siguen el patrón estructural andino (NW - SE). La zona de emplazamiento de la mina Calpa se da en el complejo Bella Unión, es la roca que contiene todas las vetas del yacimiento, las estructuras son de Rumbo andino y es donde se han rellenado las soluciones hidrotermales. Las fallas principales fallas son el Graben Pan de Azúcar y la Falla Calpa.

|La veta Tico es una de las vetas principales del yacimiento junto con las vetas: Celia, Patrick, Hilo, San Miguel, Norte Uno y Norte Dos. Los minerales de mena son el oro nativo que se encuentra en forma submicroscópica y en exsolución en la pirita y también el electrum. Los minerales de ganga son principalmente el cuarzo y la pirita, las texturas que se presenta es masiva y bandeado en la zona de sulfuros y masiva, granular, de relleno y boxwork en la zona de óxidos. Geoquímicamente el oro es metal precioso de color amarillento, con alta conductividad eléctrica, dúctil y maleable, es el más noble de los metales, es inreactivo, no es atacado por el agua ni ácidos ni el oxígeno, si es atacado por el agua regia y otros poderosos ácidos. Su paragénesis se divide en dos ciclos (ciclo inicial y tardío) se da principalmente por la precipitación del cuarzo blanco y lechoso, la pirita clara y oscura; junto con otros minerales como la esfalerita, tetraedrita y calcopirita. Su zoneamiento se caracteriza por la mayor presencia de cuarzo al oeste, mayor pirita y calcopirita al este, el comportamiento del oro a lo largo de la veta Tico; no es constante ni uniforme; sino más bien errática. El depósito es un yacimiento mesotermal de metales preciosos, del tipo filoniano por relleno hidrotermal de fallas y fracturas sub verticales pre existentes. Las alteraciones principales que se presentan son: la argilización, propilitización, silicificación y sericitización cuyos controles de mineralización son estructurales y mineralógico.

La minería que se aplica en Calpa es netamente convencional, con métodos de explotación de corte y relleno ascendente; limpieza a pulso y winches, donde se aplica realce y Breasting, el tipo de muestreo que se aplica es principalmente por fragmentos y astillas (Chip Sampling). Para realizar

los informes respectivos en Calpa, se ha adoptado como norma el reglamento "National Instrument 43 - 101 Canadá" para definir las reservas y recursos de la mina. El cual la reserva total de la mina es de 279 512 TMS. En el proceso de cubicación de la veta Tico, delimitación y definición de blocks se obtuvo un total de 47 512 TMS. Con una ley promedio de 9.83 gr Au/TM. y un total de recursos de 27 584, donde se asumió para las reservas económicas una ley de 6 gr Au. A más, 3.5 a 5.9 gr Au para reservas marginales y una ley de 5 gr Au a más para los recursos minerales. En el peso específico se consideró valores al mineral de 2.8 Kg/m³ en óxidos, 3.3 Kg/m³ en sulfuros; en desmonte se consideró 3.0 Kg/m³.

Para determinar la interpretación y el comportamiento de la veta Tico; se realizó mediante curvas isovalóricas, que nos ayudan a definir la dirección del flujo mineralizante y deposición del Au. A lo largo de toda la estructura de Tico. Las secciones transversales nos definen el comportamiento irregular de la veta. Con todos estos estudios se ha determinado un modelo geológico de la veta y asumir un comportamiento similar en otras vetas.

2.2. MARCO TEORICO.

2.2.1. MATRIZ ROCOSA.

Juan M. O., Mario T. Y Gonzales A. J. (2006), es la masa rocosa exenta de discontinuidades, o bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua presenta un comportamiento heterogéneo ligado a su formación (roca Intacta) y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, su resistencia y su deformabilidad.

2.2.2. MODELO CONSTITUTIVO DEL MACIZO ROCOSO

Hoek and Brown (1980), los macizos rocosos aparecen afectados por discontinuidades o superficies de debilidad que separan los bloques de roca, tanto el macizo rocoso como la roca intacta son objeto de la mecánica de rocas.

Las características de la matriz rocosa, del macizo rocoso y los modelos de tensión y deformación, al ser analizados conjuntamente permiten definir los tipos de comportamiento esperado.

La estabilidad de una excavación subterránea depende de las condiciones estructurales presentes en el macizo y también de la relación que existe entre los esfuerzos en la roca y su resistencia. Las excavaciones a poca profundidad como lo son la mayoría de túneles de carreteras, ferrocarriles o socavones mineros cerca de la superficie, reciben una gran influencia de las condiciones estructurales y del grado de meteorización del macizo. Por otra parte la estabilidad de las excavaciones profundas depende casi totalmente del comportamiento del macizo en relación con el campo de esfuerzos inducidos alrededor de las cavidades.

2.2.3. EVALUACION GEOMECANICA.

La evaluación geomecánica tiene como alcance una menor magnitud de estudio en comparación a los estudios geomecánicos, y solo abarcan determinadas áreas o zonas de la mina, donde se requiere una evaluación actualizada de las labores y/o tajeos de explotación colindantes, a fin de determinar riesgos y definir las recomendaciones más apropiadas de construcción y/o estabilización.

2.2.4. ZONIFICACION GEOTECNICA DEL MACIZO ROCOSO.

Cabrera L., (2005), el mapeo geológico y geomecánico de los afloramientos y el análisis estructural de las discontinuidades permite determinar las características geomecánicas y la calidad del macizo rocoso en el área de estudio. Dependiendo de estas características, el área de estudio puede subdividirse en zonas que presentan condiciones similares, a las que se les denomina dominios estructurales.

2.2.5. CARACTERISTICAS GEOMECAÑICAS.

Ramirez O. y Monge A., (2007), para caracterizar un macizo rocoso donde se pretende insertar una excavación, se requiere conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades así como la estructura del macizo rocoso que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidades, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades. Asimismo será necesario medir o estimar el estado tensional in-situ y en su caso las alteraciones producidas en el macizo por otras excavaciones.

2.2.6. ORIENTACION DE LAS ESTRUCTURAS Y FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES.

Flores G. y Karzulovic L., (2003), el número de familias o sistemas de estructuras está relacionada directamente con la orientación de cada familia; lo cual se hace analizando la información estructural mediante proyecciones estereográficas, para representar cada estructura (plano) por un punto (polo) y luego, mediante técnicas, estadísticas analizar las agrupaciones de polos y

definir así las familias o sistemas principales y las familias o sistemas secundarios. En la práctica se utilizan programas computacionales para este análisis e interpretación de la información estructural.

2.2.7. ESPACIAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS.

Bieniawski (1989), el espaciamiento de las discontinuidades es el promedio entre los planos de debilidad en el macizo rocoso en la dirección perpendicular al plano de la discontinuidad.

Tabla 9: Valoración para el espaciamiento.

DENOMINACIÓN	ESPACIADO DE JUNTAS (m)			
	RMR (89)		RMR (76)	
	Rango	Ratio	Rango	Ratio
Masiva	≥ 2	20	$> 3\text{m}$	30
Ligeramente fracturado	≥ 0.6 a < 2	15	1 – 3m	25
Moderadamente fracturada	≥ 0.2 a < 0.6	10	0.3 – 1m	20
Altamente fracturada	≥ 0.06 a < 0.2	8	50 – 300mm	10
Triturada	< 0.06	5	$< 50\text{mm}$	5

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.8. RESISTENCIA DE LAS PAREDES DE LAS DISCONTINUIDADES.

Ramirez O. y Monge A., (2007), las resistencias de las rocas se pueden estimar también en el campo utilizando una navaja y un martillo de geólogo, aunque con menos precisión que con el martillo de Schmidt.

Tabla 10: Rango de estimación de la resistencia en campo.

Símbolo	Descripción	Identificación en campo	Estimación de la resistencia (MPa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña del pulgar.	0.25 – 1.0
R1	Roca muy blanda	Se desmorona al golpear con la punta del martillo o puede ser pelado con cuchillo de bolsillo.	1.0 – 5.0
R2	Roca blanda	Un golpe firme con la punta del martillo produce pequeñas marcas o muescas, o puede ser pelado con dificultad con el cuchillo de bolsillo.	5.0 – 25
R3	Roca moderadamente dura	Puede fracturarse con un golpe fuerte de martillo, y el cuchillo de bolsillo no le puede raspar.	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla.	50 - 100
R5	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes de martillo para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo salta esquirlas.	> 250

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.9. PERSISTENCIA DE LAS ESTRUCTURAS.

Ramirez O. y Monge A., (2007), este concepto hace referencia a la extensión o tamaño de las discontinuidades. Las dimensiones de una discontinuidad se pueden cuantificar observando su longitud en los afloramientos en la dirección del rumbo y en la dirección del buzamiento.

Tabla 11: Valoración y nomenclatura para la persistencia.

PERSISTENCIA	
DENOMINACIÓN	Rango
Persistencia muy baja	< 1 m
Baja persistencia	1 – 3 m
Persistencia moderada	3 – 10 m
Alta persistencia	10 – 20m
Persistencia muy alta	>20m

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.10. ABERTURA DE LAS ESTRUCTURAS.

Gonzales de Vallejo L., (2002), este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso; mientras que en superficie la abertura puede ser alta, esta se reduce con la profundidad pudiendo llegar a cerrarse. Su medida puede realizarse directamente con una regla graduada en milímetros. Las medidas han de realizarse para cada familia de discontinuidades, adoptando los valores más representativos de cada una de ellas.

Tabla 12: Valoración y nomenclatura para la abertura.

ABERTURA	
DENOMINACIÓN	Rango
Cerrada	0 mm
Angosta	< 0.1 mm
Moderada	0.1 – 1.0 mm
Amplia	1 – 5 mm
Muy amplio	> 5 mm

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.11. RUGOSIDAD DE LAS ESTRUCTURAS.

Conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones), que componen la superficie de las paredes de la discontinuidad.

Tabla 13: Valoración y nomenclatura para la rugosidad.

RUGOSIDAD	
DENOMINACIÓN	Rango
Muy rugosa	5
Rugosa	4
Ligeramente rugosa	3
Ondulada	2
Suave	1

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.12. RELLENO EN LAS DISCONTINUIDADES.

SNMPE, (2004), Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menor competente y cuando estos son más duros, esta es más competente.

Tabla 14: Valoración y nomenclatura para la relleno.

RELLENO	
DENOMINACIÓN	Rango
Relleno blando	> 5 mm
Relleno blando	< 5 mm
Relleno duro	> 5 mm
Relleno duro	< 5 mm
Ninguno	0 m

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.13. METEORIZACIÓN.

El grado de meteorización de una roca es una observación importante en cuanto se condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia.

Tabla 15: Valoración y nomenclatura para la meteorización.

METEORIZACIÓN	
DENOMINACIÓN	Rango
Descompuesta	5
Muy meteorizada	4
Moderada	3
Ligera	2
Fresca	1

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.14. FILTRACIÓN.

Ramirez O. y Monge A., (2007), la presencia de agua subterránea es de suma importancia en la estabilidad, por ende en la clasificación de macizo rocoso en las cuales puede estar seco, ligeramente húmedo, húmedo, goteando y agua fluyendo. Generalmente, la circulación de agua en los macizos rocosos se realiza a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), excepto en las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, en las cuales el agua circula por la propia roca (permeabilidad primaria).

Tabla 16: Valoración de la presencia de agua.

Estado del macizo rocoso	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Flujo de agua
Valoración	15	10	7	4	0

FUENTE: Bieniawski, 1989.

2.2.15. SISTEMA RMR DE BIENIAWSKI.

Bieniawski (1989), publicó los detalles de una clasificación de la masa rocosa denominada sistema de clasificación geomecánica, o valoración de la masa rocosa RMR (Rock Mass Rating). A través de los años, este sistema ha sido modificado sucesivamente conforme han ido examinando más casos registrados, y se advierte al lector que Bieniawski hizo cambios significativos en las valoraciones asignadas a los diferentes parámetros. Los siguientes seis parámetros son usados para clasificar una masa rocosa con el sistema RMR.

- Resistencia compresiva uniaxial del material rocoso.
- Designación de la calidad de la roca (RQD).
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones del agua subterránea.
- Orientación de las discontinuidades.

Tabla 17: Clasificación geomecánica RMR.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
3	Separación entre diaclasas (m)		>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Longitud de la discontinuidad (m)		<1	1-3	3-10	10-20	>20		
	Puntuación		6	4	2	1	0		
	Abertura (mm)		Nada	<0,1	0,1-1,0	1,0-5,0	>5,0		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
	Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Lig.Rugosa	Ondulada	Suave		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
	Relleno (mm)		Ninguno	Duro <5	Duro >5	Blando <5	Blando >5		
	Puntuación		6	4	2	2	0		
	Alteración		Inalterada	Lig. alterada	Mod.alterada	Muy alterada	Descompuesta		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		Relación presión de agua / tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables			
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12			
Orientación de las discontinuidades en el túnel									
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección			
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento							
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45				
Muy favorable	favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable			

FUENTE: Bieniawski, 1989.

La clasificación de BIENIAWSKI indica explícitamente el tipo de sostenimiento y modo de excavación a emplear según la categoría RMR, tal y cómo se refleja en la Tabla 18, para las secciones mineras típicas en herradura y anchura máxima de 10 m., permite estimar, la longitud de pase y el tiempo que el terreno puede permanecer sin soporte.

Tabla 18: sostenimiento a partir del índice RMR.

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunita	Cerchas
I 100-81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional	No	No
II 80-61	Sección completa. Avances de 1-1,5 m	Bulonado local en clave, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2,5 m	5 cm en clave para impermeabilización	No
III 60-41	Avance y destroza. Avances de 1,5 a 3,0 m. completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1,5 a 2 m en clave y hastiales. Mallazo en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales	No
IV 40-21	Avance y destroza. Avances de 1,0 a 1,5 m. completar Sostenimiento inmediato del frente, completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1,5 m en clave y hastiales con mallazo	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1,5 m cuando se requieran.
V ≤ 20	Fases múltiples. Avances de 0,5 a 1 m. gunitar inmediatamente el frente después de cada avance.	Bulonado sistemático de 5-6 m con separaciones de 1-1,5 m en clave y hastiales con mallazo.	15-20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	Cerchas pesadas 0,75 m con blindaje de chapas y cerradas en solera.

Túneles de sección en herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 kp/cm²

FUENTE: Bieniawski, 1989.

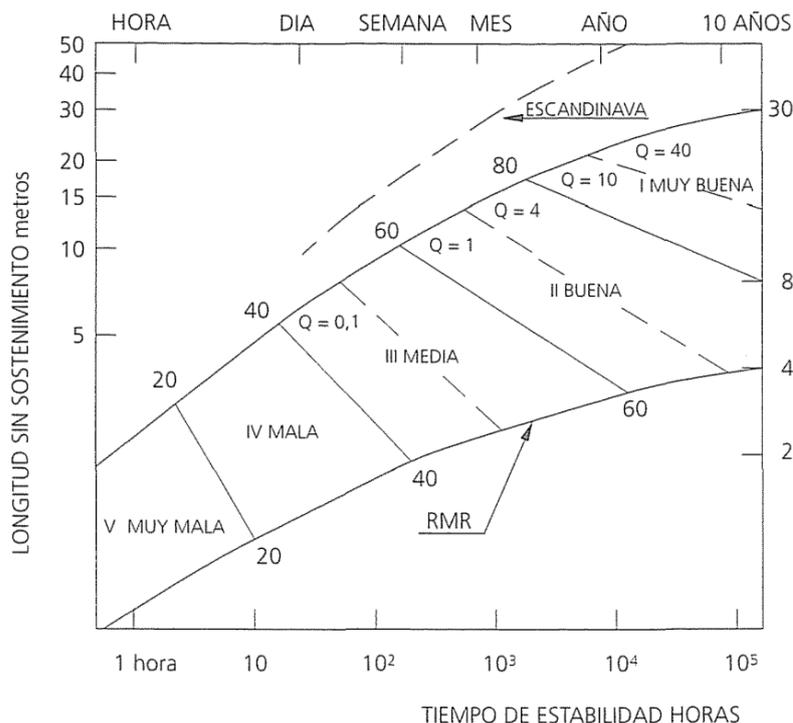


Figura 2: Longitudes de pase y tiempos de estabilidad sin soporte (Bieniawski, 1989)

2.2.16. INDICE DE DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA RQD

Deere (1964). Existe la necesidad de cuantificar la competencia del macizo rocoso como una base común para la comunicación de este tipo de información y el desarrollo de guías de diseño de ingeniería de rocas. El índice de calidad de roca, conocido como RQD, es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso el RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo). La interpretación de valor del RQD se muestra en la tabla 19:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

J_v : Es el número total de discontinuidades por metro cúbico.

Tabla 19: Descripción del índice de calidad de la roca.

Descripción del índice de calidad de roca	Valor de RQD
Muy pobre	0 - 25
Pobre	25 - 50
Regular	50 - 75
Buena	75 - 90
excelente	90 - 100

FUENTE: Deere, 1964.

2.2.17. INDICE Q DE BARTON.

Barton et al. (1974). En esta clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q :

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

Basado en los seis parámetros siguientes:

- $R.Q.D.$:** Grado de fracturación del macizo rocoso.
- J_n :** Número de familias de juntas.
- J_r :** Rugosidad de las juntas.
- J_a :** Meteorización de las juntas.
- J_w :** Agua en las juntas.
- SRF :** (Stress Reduction Factor).

En función del valor del índice Q Barton clasifica a los macizos rocosos en las siguientes clases:

Tabla 20: Tipos de macizos rocosos según Barton.

TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALOR DE Q
Excepcionalmente malo.	10^{-3} a 10^{-2}
Extremadamente malo.	10^{-2} a 10^{-1}
Muy malo.	10^{-1} a 1
Malo.	1 a 4
Medio.	4 a 10
Bueno.	10 a 40
Muy buena.	40 a 100
Extremadamente bueno.	100 a 400
Excepcionalmente bueno	400 a 1000

FUENTE: Barton, 1974.

Para estimar un sostenimiento, además del valor del Q del terreno es necesario realizar una valoración de la Dimensión Equivalente D_e de la excavación:

$$D_e = \frac{\text{Span (m)}}{ESR}$$

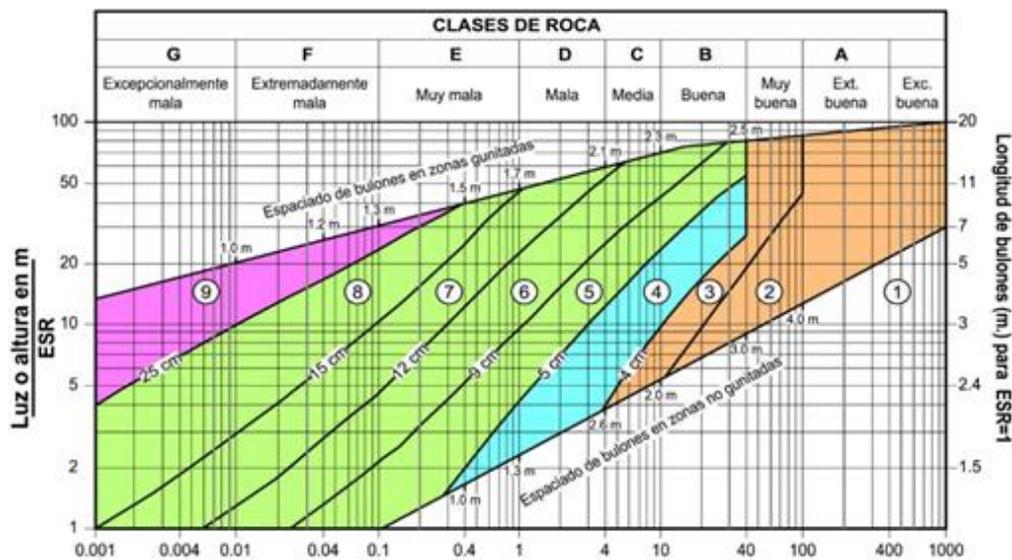
El Span, o dimensión crítica de la cavidad, puede ser la anchura, altura, diámetro equivalente o pase de excavación, dependiendo de la geometría final de la cavidad y de la geometría en cada fase constructiva. El ESR (excavation support ratio, que depende del tipo de excavación) es un factor de seguridad que modifica el D_e en función del uso futuro de la obra subterránea: p.ej. minora el diámetro para galerías mineras y lo mayor para cavernas de uso industrial o civil. En la tabla 21, se muestran los valores adoptados para el ESR en función del tipo de obra a construir.

Tabla 21: valores del índice ESR de la clasificación Q (BARTON, 2000).

TIPO DE EXCAVACIÓN		ESR
A	Labores mineras de carácter temporal	2-5
B	Galerías mineras permanente, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión) túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles, e intersecciones de túneles.	0,9-1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5-0,8

FUENTE: BARTON 2000.

Se definen 9 tipos de sostenimiento, compuestos cada uno de ellos por los elementos que figuran en la Figura 3. Conviene señalar que este ábaco está realizado para un valor del $ESR = 1$, lo que quiere decir que la longitud de los bulones a utilizar es la teórica que se obtenga multiplicada por el valor real del ESR .



$$\text{Calidad del macizo rocoso } Q = \frac{RQD}{J_n} + \frac{J_r}{J_a} + \frac{J_w}{SRF}$$

CATEGORIAS DE SOSTENIMIENTOS:

- | | |
|--|---|
| 1) Sin sostenimiento | 6) Bulonado y hormigón proyectado con fibras, 9-12 cm.) |
| 2) Bulonado puntual | 7) Bulonado y hormigón proyectado con fibras, 12-15 cm.) |
| 3) Bulonado sistemático | 8) Cerchas, bulonado y hormigón proyectado con fibras, >15 cm.) |
| 4) Bulonado (y hormigón proyectado, 4-10 cm.) | 9) Hormigón encofrado. |
| 5) Bulonado y hormigón proyectado con fibras, 5-9 cm.) | |

Figura 3: Sostenimiento según el índice Q (Barton, 2000).

2.2.18. SISTEMA GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).

Hoek et al, (1995). El GSI (Geological Strength Index) es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo, cuyo rango numérico, comprendido entre 0 y 100, se basa en la identificación y clasificación en campo de dos de las características físicomecánicas de un macizo rocoso: la macroestructura y la condición de las superficies de las discontinuidades, (grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades).

La caracterización del macizo rocoso es simple y se basa en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

Los distintos valores que toma el GSI en función de las distintas estructuras y estados de alteración de las superficies observados quedan resumidos en la siguiente tabla:

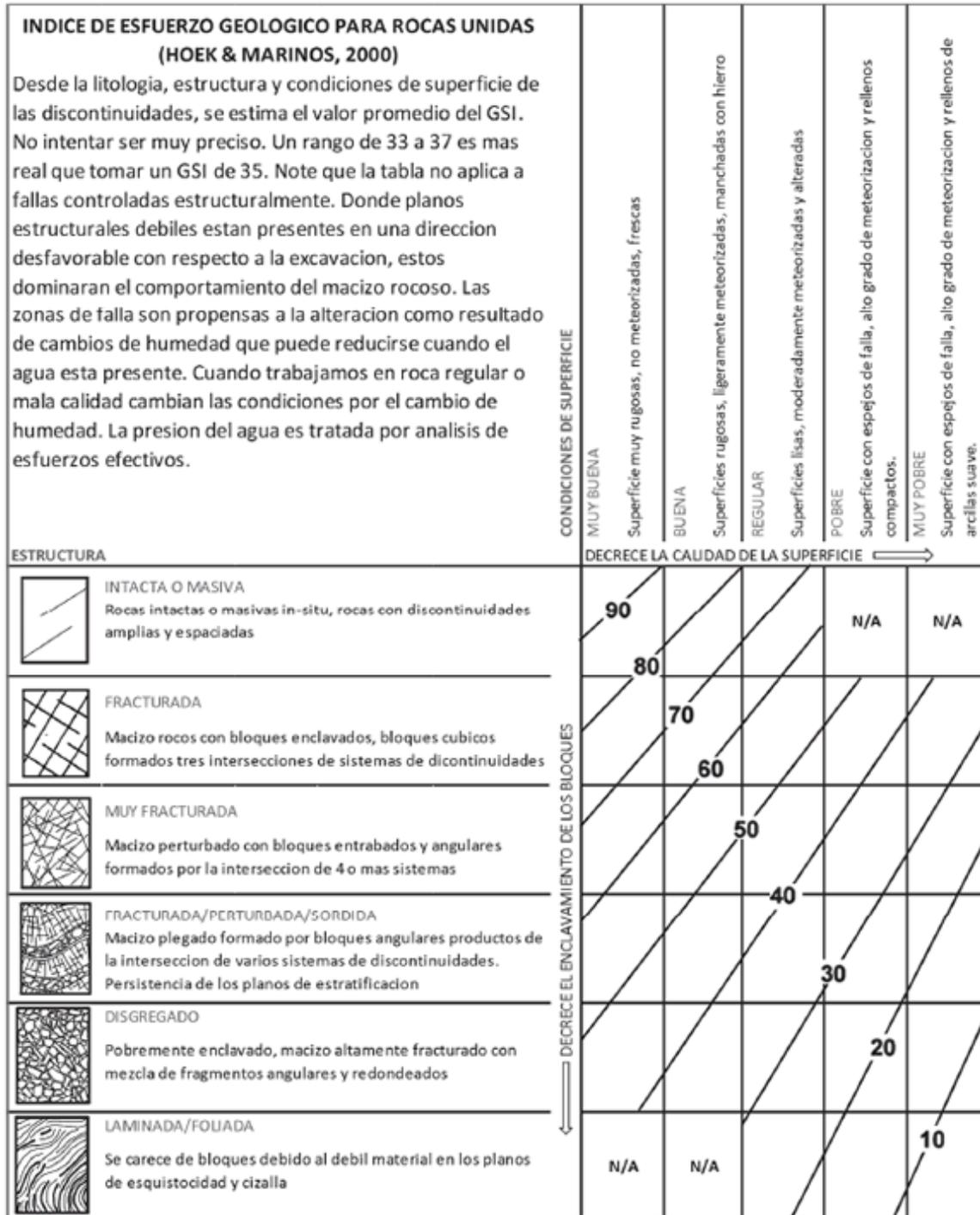


Figura 4: Geological Strength Index GSI. Hoek (1994).

Tal y como se observa, los valores de GSI cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el

macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión

2.2.19. ESTABILIDAD DE PARAMETROS.

Madariaga J. (2015). Además del campo de esfuerzos in situ, otro de los principales factores que afectan a la estabilidad minera son las estructuras de la roca.

El comportamiento del terreno alrededor de una excavación está condicionado por su estructura geológica, y sobre todo por las discontinuidades existentes.

La presencia de discontinuidades constituye el factor esencial del comportamiento mecánico de un medio rocoso, cualquiera que sea la escala considerada: La rotura de los macizos rocosos se produce casi siempre según superficies de discontinuidad preexistentes. El agua circula preferentemente por las discontinuidades, y las fuerzas hidrodinámicas que produce se orientan básicamente de acuerdo con ellas.

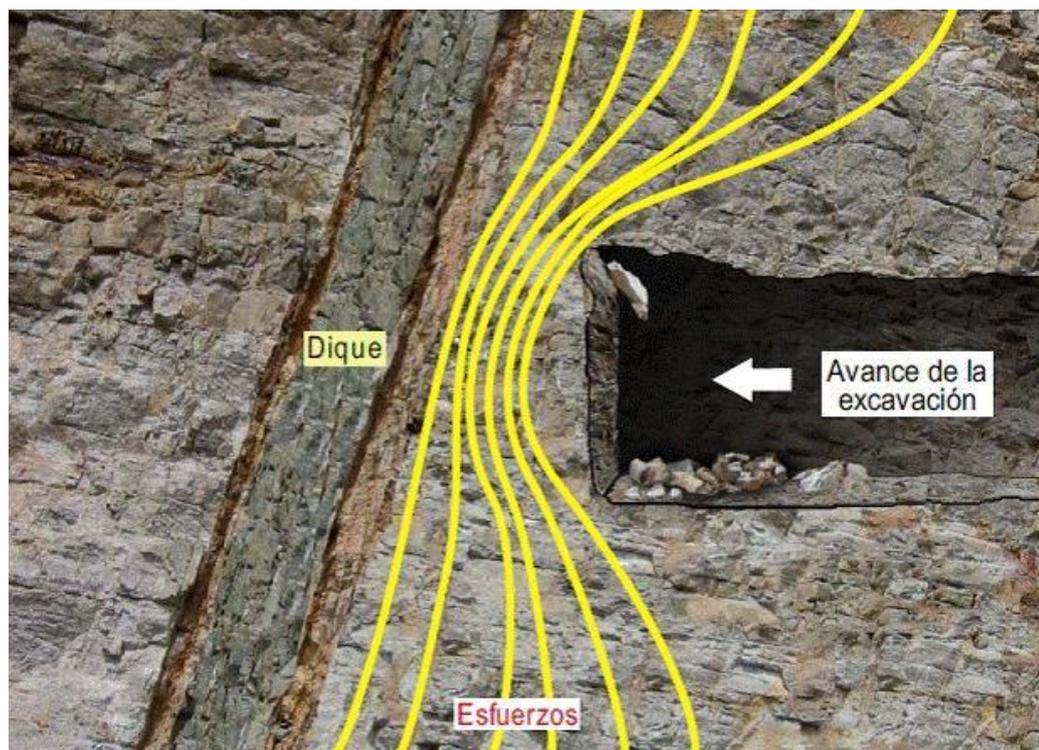


Figura 5: Inestabilidad del frente de avance originado por la cercanía de un dique (estructura geológica con diferente comportamiento geotécnico) que ocasiona una concentración de tensiones (S.N.M.P.E, 2004)

En la siguiente tabla se relacionan los tipos de discontinuidades que pueden afectar a una obra subterránea:

Tabla 22: Relación de discontinuidades que pueden afectar a una obra subterránea.

Tipo de discontinuidad	Comentario
Planos de estratificación	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad importante. • Resistencia básicamente friccionante. • Planos de debilidad asociados paralelos a la estratificación.
Fallas	<ul style="list-style-type: none"> • Se identifica un desplazamiento relativo a ambos lados de la misma. • Carácter local hasta regional. • Espesor milimétrico (local) hasta métrico (regional). • Rellenos de arcilla (gouge), brecha (recementado) o fragmentos rocosos. • Labios en "espejos de falla" o alterados con una pátina de minerales de baja fricción. • Baja resistencia.
Zonas de cizalla	<ul style="list-style-type: none"> • Bandas de terreno plastificado. • Fracturas abiertas recubiertas con una pátina de minerales de baja fricción por el desconfinamiento y/o alteración. • Baja resistencia. • Difíciles de detectar a priori.
Diques	<ul style="list-style-type: none"> • Intrusiones de rocas ígneas, subverticales y de caras subparalelas. • Espesores centimétricos a decamétricos. • Continuidades importantes, incluso kilométricas. • Más resistentes que la roca encajante: problemas de estadillos de roca.
Juntas	<ul style="list-style-type: none"> • Las más frecuentes. • Roturas de origen geológico que no presentan desplazamiento relativo. • En rocas sedimentarias suelen aparecer 2 familias de juntas ortogonales entre sí y con la estratificación. Si atraviesan los planos de estratificación se suelen denominar <i>master joints</i> • En rocas ígneas o metamórficas suelen aparecer sistemas regulares de 3 o más juntas. • Pueden aparecer sin relleno, o con relleno arcilloso o mineralizado (cuarzo, calcita, etc.).
Fracturas inducidas	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto de la plastificación originada por la propia obra o por túneles o galerías próximas.

FUENTE: S.N.M.P.E, 2004.

Para su caracterización existen abundantes referencias de entre las que se recomienda Ramírez P. et al (1984) y Brown E.T. (2004).

- **Orientación:** en geotecnia se emplea el formato dirección de buzamiento (de 0 a 360 desde el Norte) y buzamiento (de 0 a 90 desde la vertical). De esta manera un plano queda perfectamente definido mediante 2 cifras, por ejemplo 035/70 significa dirección de buzamiento 35° desde el Norte y buzamiento 70°. Esta información es primordial para valorar la estabilidad de una obra.
- **Espaciado:** distancia perpendicular entre planos de una misma familia de juntas.
- **Persistencia:** extensión real o “tamaño” de los planos de juntas.
- **Rugosidad** de los labios de la junta.
- **Apertura:** distancia perpendicular entre ambos labios de la junta.
- **Relleno:** tipo de material en el seno de la junta. Puede no existir (junta limpia), de baja fricción (arcilla, clorita, grafito, carbón, etc.) o cristalizado (cuarzo, calcita, etc.).

Estos datos se extraen de afloramientos, sondeos, o frentes de las galerías, y lógicamente suelen mostrar dispersión, por lo que habitualmente se representan mediante nubes de polos en representación estereográfica (los datos de orientación) o histogramas (espaciados y persistencias), lo que permite hacerse una idea más realista de la incidencia de las familias de juntas en la obra subterránea, utilizando bloques diagramas o secciones transversales.

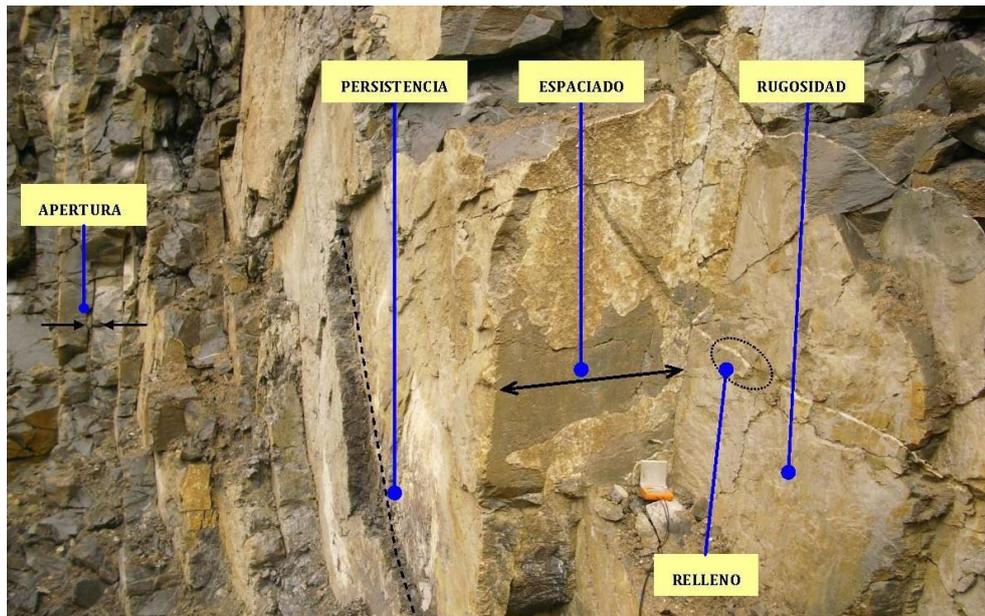


Figura 6: Parámetros de las discontinuidades en afloramiento.

2.2.20. CRITERIOS DE FALLA.

Bieniawski (1984), Un criterio de falla es una expresión de las condiciones mecánicas bajo las cuales un material falla por fracturamiento o deformación hasta un límite específico, este puede ser definido en términos de carga, esfuerzo, deformación u otros parámetros.

2.3. MÉTODO PARA EL DISEÑO DE TÚNELES.

El diseño de túneles se fundamenta en la implementación de métodos empíricos, observacionales, analíticos y numéricos, que conducen a la obtención de un modelo del comportamiento esperado del terreno que converge en una solución de diseño parcial final, modificable durante la construcción.

2.3.1. MÉTODOS EMPÍRICOS.

Los métodos empíricos para el diseño representan la experiencia ganada en proyectos previos anticipando las condiciones que pueden ser encontradas en nuevos proyectos.

La excavación de túneles ha generado un cumulo de datos que se ha sido almacenado y procesado haciendo uso de las clasificaciones geomecánicas, que surgen de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos de forma integrada, con el fin de evaluar las medidas de sostenimiento en túneles.

2.3.2. CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS DEL MACIZO ROCOSO.

Las clasificaciones geomecánicas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, estas describen sistemáticamente la calidad del macizo rocoso permitiendo estimar los parámetros geotécnicos de diseño y finalmente el tipo de sostenimiento de un túnel. Entre las distintas clasificaciones para túneles propuestas hasta hoy sobresalen las de Terzhagui (1964), Lauffer (1958), Deer et al (1967), Wickham et al (1972), Bieniawski (1974 y 1989) y Barton (1974).

De ellas solamente las tres últimas proporcionan procedimientos cuantitativos aplicables a los modernos sistemas de sostenimiento y construcción de túneles, dichos métodos parten de la combinación de algunos de los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia del macizo rocoso.
- RQD.
- Espaciamiento de discontinuidades.

- Condiciones de las discontinuidades (continuidad, separación, rugosidad, meteorización y relleno).
- Estructuras geológicas y fallas individualizadas.
- Filtraciones.
- Estado tensional.

El desarrollo de las clasificaciones geomecánicas lleva más de 50 años, la organización cronológica de las mismas, destacando su aplicación, forma y tipo haciendo referencia al tipo de entradas del sistema sean numéricas o descriptivas.

La sencillez de las clasificaciones propuestas por Bieniawski (1973) y Barton, Lien y Lunde (1974), contribuyen a su rápida expansión y aceptación, adicionalmente son utilizados para la construcción actual de túneles.

2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO.

2.4.1. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL ASTM D 5731-02, ISRM.

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual (I_s), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados de UCS, según el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa.

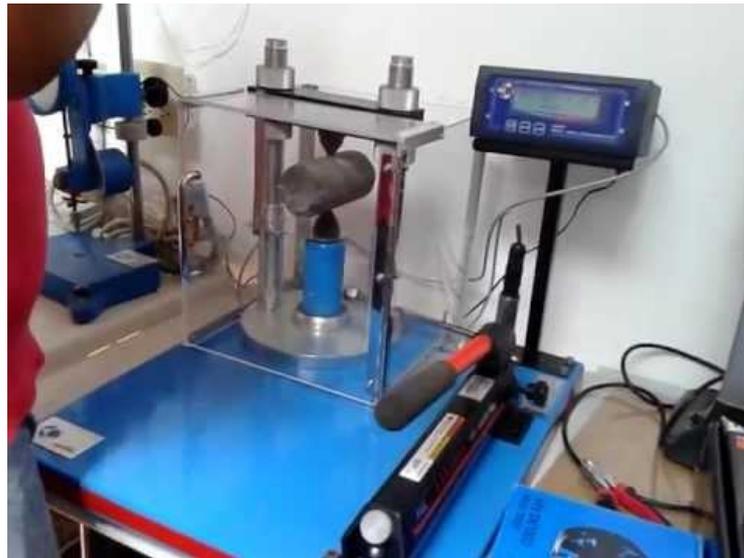


Figura 7: Ensayo de carga puntual.

2.4.2. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE ASTM D- 2938-95.

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple, σ_c . Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia.

El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, los datos obtenidos son: σ_1 obtenido del ensayo, σ_2 , σ_3 . Con estos datos se puede obtener σ_c (resistencia a la compresión simple)



Figura 8: Ensayo de compresión simple

2.5. CARACTERIZACION DEL ÀREA DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación geomecánica y geotecnia corresponde al proyecto Minero Víboras III, el área de estudios abarca todo el nivel 2160 de la Mina. Todo está ubicado en el batolito de la costa. Del distrito de Chaparra, Provincia de Caravelí del departamento de Arequipa.

Por la necesidad de disponer de un ambiente seguro de trabajo y mejorar el desempeño de los colaboradores y personal a cargo, se ha visto por conveniente la implementación del proyecto.

2.5.1. GEOLOGÍA REGIONAL.

Se tomó como base los estudios realizados por El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), representado por el cuadrángulo de Chala (hoja 32Ñ-1) y el boletín N° 34 serie A de 1980.

La Unidad Económica Administrativa Secutor, Proyecto Minero Víboras III está ubicada dentro del cuadrángulo de chala (32Ñ-1) que abarca una estratigrafía conformada por una litología variable entre ellas las favorables para la mineralización como son la andesita guaneros y bella unión, así mismo presenta fallas regionales que ayudarían o servirían como trampas estructurales (Falla Palomino).

2.5.2. ESTRATIGRAFIA REGIONAL.

MESOZOICO.

- **FORMACIÓN CHOCOLATE (Ji-cho).**

Jenks (1948), con la denominación del Volcánico Chocolate, describió una secuencia de rocas volcánicas intercaladas con sedimentos, que afloran en la cantera de Chocolate, situada 20 Km al NW de la ciudad de Arequipa.

En el cuadrángulo de Chala (32-ñ), afloran similares depósitos que descansan discordantemente sobre las rocas del Grupo Tarma e infrayacen concordantemente a las rocas del Jurásico medio y superior; por intemperismo adopta un matiz marrón-rojizo.

Se han considerado dos miembros característicos dentro de esta formación, uno inferior compuesto especialmente por sedimentos y que se le denomina Chala y otro superior, formado en su mayor parte por volcánicos llamados Lucmilla.

El miembro Lucmilla está compuesto principalmente de andesita porfirítica de color marrón, descansa concordantemente sobre el miembro Chala y subyace con discordancia paralela a las formaciones Socosani y Guaneros.

Este miembro tiene mayor propagación que el anterior y aflora en los cerros Lucmilla, Chala. Su grosor llega hasta 2000 m. y su rumbo varía de E-W a N 60° E y el buzamiento 15° N, la superficie de los afloramientos tiene un color verde, mientras que las porciones cubiertas tienen color rojo.

Edad y Correlación.

Dentro de las areniscas del miembro inferior Chala, se presenta un horizonte fosilífero que contiene moldes de lamelibranquios, braquiópodos y crinoideos que han sido clasificados por C. Rangel.

Los braquiópodos mencionados son comunes del Liásico (Jurásico inferior).

- **FORMACIÓN GUANEROS (Js-gu).**

Bellido (1963), dio el nombre de Formación Guaneros para designar a unas rocas volcánicas que afloran en la quebrada Guaneros, tributaria por la margen derecha del río Moquegua. La localidad típica de esta formación se encuentra en el valle de Moquegua, 15 km. antes de su desembocadura.

En las quebradas Seca y Flor del Desierto infrayace el Grupo Yura y suprayace al Volcánico Chocolate. Está formado por areniscas blancas, verdes y rojas de grano medio a grueso, intercaladas con lutitas abigarradas, limolitas y margas fosilíferas. Su grosor es inferior a los 300 m. y está afectada por numerosas fallas.

En la quebrada María se ha estimado un espesor de 200 m. a partir de una falla EW que buza hacia el norte. Su litología es muy variable, encontrándose intercalaciones de andesita porfirítica verde y gris oscuro con limolitas verdes, caliza en estratos de 10 a 50 cm. De espesor, arenisca, chert, y meta-andesita intruídos por pequeños diques y sills de andesita.

En el cerro Casposo, la formación está fragmentada por fallas y su grosor es también de unos 200 m. La litología está conformada por brecha volcánica de color verde o marrón, con fragmentos de composición andesítica, que varían en tamaño desde menor de 1 cm. hasta 3 cm., andesitas porfiríticas gris-marrones o verdes, intercalada con areniscas verdes de grano fino a medio y también areniscas conglomeráticas.

Edad y Correlación.

Entre las quebradas Seca (cerca de la quebrada Flor del Desierto), dentro de unas margas gris verdosas se han obtenido fósiles que han sido determinados por C. Rangel como: *Trigonia sp.cf.T.*, *eximia PHILIPPI*, *Pecten cf. P.tinguiriricanus PHILIPPI* y *Lucina aff.L.magma – ALENCASTER*. Que son comunes en el Jurásico medio a superior.

CENOZOICO.

- **FORMACIÓN MOQUEGUA (Nm-mo).**

Adams (1980), describió como formación Moquegua a la serie de capas continentales, compuestas por acillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tufos de color rojizo a blanco amarillento, los afloramientos se extienden por kilómetros desde valle de Moquegua hacia el norte como al sur en la cadena costanera y el pie de la Cordillera Occidental.

Se sigue usando este nombre, desde Steinmann en 1930 y corresponde a una formación de litología muy variable que cubre con una débil discordancia a las rocas eocénicas y oligocénicas del Cuadrángulo.

Los afloramientos se extienden desde Cerro Tuntunya al norte hasta el Cerro Blanco, está compuesta por una arenisca y conglomerado de color

amarillo que alcanza un espesor máximo de 80 metros, cuyos elementos se encuentran en una matriz arenosa y areno-tufácea.

Edad y Correlación.

Como el origen de esta formación es Continental y carente de material fosilífero, sobre la edad de estos depósitos sólo es posible decir desde el punto de vista de su posición estratigráfica, así como por su litología, cuya edad varía posiblemente desde el Mioceno al Plioceno, criterio al que se ha llegado teniendo en cuenta la actividad volcánica del Sur del Perú.

- **FORMACIÓN PISCO (Nm-pi).**

Adams (1906), dio el nombre de Formación Pisco a un conjunto de rocas que afloran en el cerro Tiza al norte de Pisco.

En la faja costanera se han reconocido pequeños afloramientos en el sector de Chala, los cuales descansan en discordancia angular sobre las rocas mesozoicas, superficialmente la secuencia es de color blanco amarillento y está formada principalmente de estratos delgados de areniscas finas, arcillitas y capas de yeso. Su grosor es de unos 100 m. y contiene abundantes microfósiles.

En la quebrada del Atajo se tiene los afloramientos de mayor cota, llegando hasta los 700 m.s.n.m., tratándose de areniscas finas y capas de arcillas de color crema, las mismas que yacen discordantemente encima del intrusivo sub-volcánico Calpa.

Edad y Correlación.

Los fósiles recolectados en la formación Pisco del área de Chala han sido estudiados por C. Rangel, encontrándose una vasta fauna de microfósiles que indican el Mio-Plioceno, en la quebrada del Atajo se tiene moluscos como *Ostrea sp.cf. megodon cerrosensis* y Artrópodos como *Balanus sp.*

- **FORMACIÓN HUAYLILLAS (Nm-hu).**

Wilson y Garcia (1962), inicialmente lo describió en el estudio geológico del cuadrángulo de Huaylillas, con una litología constituida principalmente por tobos y en menor porcentaje por derrames lávicos.

En el cuadrángulo de Chala el afloramiento se observa en el Cerro Carina, su litología consiste en ignimbritas de color rosado, el grosor de la formación Huaylillas varia de 100 a 400 metros.

Edad y Correlación.

En el cuadrángulo de Chala, no se dispone de evidencias geológicas que determinen su edad, tampoco se tiene datos de edades radiométricas, por lo que inferimos la misma, en base a sus relaciones estratigráficas.

Fuera del área de estudio se han hecho varias mediciones radiométricas en rocas semejantes habiendo arrojado 14 M.A. en el departamento de Arequipa, 12.5 M.A. en Moquegua de donde se concluye que la edad de la formación Huaylillas es del Mioceno superior.

CUATERNARIO.

- **DEPÓSITOS RECIENTES (Qh-al, Qh-e).**

Parker Gay Jr. (1962), estudió detalladamente estos depósitos. Bajo este término se han agrupado a los depósitos, tales como son aluviales y eólicos.

Los depósitos aluviales están constituidos principalmente por arena suelta y semiconsolidada rodada y gravas, descompuesto in situ por alteración de las rocas intrusivas.

Los depósitos eólicos están conformados por arena que ha sido transportada por el viento y controlado por la topografía.

ROCAS IGNEAS

Las rocas ígneas del área estudiada corresponden aproximadamente al 50% de afloramiento y han sido diferenciadas teniendo en cuenta en primer término la cronología y en segundo el nivel de emplazamiento. Según el primer criterio, se reconocen intrusivos andinos (Mesozoico-Cenozoicos); según el segundo criterio, los últimos comprenden rocas hipabisales y rocas plutónicas.

- **COMPLEJO BELLA UNIÓN (Ks-an).**

J. Caldas (1978), describió un enorme volumen de rocas sub-volcánicas que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí). En el área de trabajo se manifiesta intruyendo a las formaciones del Cretáceo inferior.

En el área de estudio, el Complejo Bella Unión se prolonga en solución de continuidad, 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. Este tipo de rocas están intruidas a su vez por innumerables diques de andesitas porfiríticas con grandes fenoblastos de feldespatos en matrices afaníticas intensamente piritizadas.

Edad de Emplazamiento.

Cobbing (1979), El Complejo Bella Unión, regionalmente intruye a rocas mesozoicas volcánico-sedimentarias desde jurásicas hasta albianas, con un rango de emplazamiento entre 102 MA., hasta 80 MA.; por esta razón se asume una edad de intrusión entre fines del Albiano y comienzos del Cenomaniano.

- **SÚPER UNIDAD LINGA (Ks-li/mz, Ks-li/mzdi).**

La Súper-unidad Linga, después de los gabros y gabrodioritas primarias, corresponde a los emplazamientos más antiguos del Segmento Arequipa, en el área de estudio están bien expuestos desde el cuadrángulo de Chala hasta el cuadrángulo de Jaquí.

La litología predominante de la Súper-unidad es la monzonita, pero tiene variaciones internas, aun con contactos definidos y discordantes entre el monzogabro, monzodiorita, tonalita, granodiorita; presenta las siguientes características texturales (Agar, 1978); tamaño granular variable, plagioclasas tabulares verde pálidas, hornblenda anhedral, poca biotita, y feldespato potásico rojo.

Edad de Emplazamiento.

Cobbing (1979), La Súper-unidad Linga corresponde a las intrusiones más antiguas del segmento Arequipa. Las dataciones radiométricas indican una edad de emplazamiento de 97 MA.; por tanto la edad de intrusión fue desde Cretáceo inferior hasta superior.

- **SÚPER-UNIDAD TIABAYA (Ks-ti/tgd, Ks-ti/di).**

En el área de estudio, la Super-Unidad Tiabaya corresponde a la secuencia final de intrusión del batolito de la Costa y tiene la particularidad, en forma general, de haberse emplazado a lo largo de una faja central y longitudinal, limitada en el SW por la Super-unidad Linga y en el NE por la Super-unidad Incahuasi; corresponde a la secuencia de mayor volumen en esta porción del segmento Arequipa, encontrándosele expuesto en el cuadrángulo de Chala.

Litológicamente, la Super-unidad Tiabaya se halla compuesta por tonalita, gabrodiorita, diorita, todas estas rocas se caracterizan por un grano fanerítico y textura granítica a hipidiomórfica (Término utilizado para describir la textura de una roca en la que los granos minerales presentan alguna traza de forma cristalina) con cuarzo intersticial, contiene plagioclasas zonadas, grandes cristales prismáticos de hornblenda, como productos secundarios se encuentra la actinolita, sericita, etc.

Edad de Emplazamiento.

Cobbing (1979), la Super-unidad Tiabaya está conformada por los plutones más jóvenes del segmento Arequipa y las dataciones radiométricas indican una edad de intrusión de 80 MA., que permite la evidencia de edad Cretáceo superior.

			LEYENDA		ROCAS IGNEAS			
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNDADES ESTRATIGRÁFICAS		PLUTÓNICAS	SUBVOLCÁNICAS		
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos eólicos y aluviales		Material arenosos no consolidado			
		PLIOCENA						
	NEÓGENO	MIOCENA	Formación Huayillas		Ignimbrita rosada			
			Formación Pisco		Arenisca fina y arcilla de color crema			
		Formación Moquegua		Arenisca y conglomerado de color amarillo				
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR				Superunidad Tiabaya	Tonalita Granodiorita Diorita	
						Superunidad Linga	Monzonita Monzodiorita	Andesita
	JURÁCICO	SUPERIOR						
		MEDIO	Formación Guaneros		Arenisca, brecha volcánica y andesita			
		INFERIOR	Formación Chocolate		Brecha volcánica y lava de andesita de color marrón			

Figura 9: columna estratigráfica regional.

FUENTE: INGEMMET.

2.6. GEOMORFOLOGIA REGIONAL.

La orogenia Hercínica con sus diferentes etapas tectónicas de plegamiento, hundimiento y levantamiento, configuró durante el Paleozoico los altos relieves de la Cordillera Oriental, la que durante el Mesozoico se comportó como una zona positiva. Durante el Mesozoico y al Oeste de esta cordillera, se desarrolló un gran surco geosinclinal que recibió un grueso aporte de materiales sedimentarios y volcánicos. Durante el Cretáceo tardío e inicios del Terciario, estos materiales fueron afectados por plegamientos y levantamientos correspondientes a los primeros grandes movimientos de la llamada Fase

Orogénica Andina, que hicieron emerger miles de metros de espesor de estos sedimentos, formando la actual Cordillera Occidental.

Paralelamente a esta orogenia, y durante una etapa posterior, un enorme cuerpo magmático intrusivo conocido como Batolito de la Costa se emplazó sobre una franja de debilidad estructural occidental, el cual separó los volúmenes sedimentarios y volcánicos Mesozoicos en dos grandes bloques, el más grande quedó hacia el Este del Batolito, constituyendo la base de la región de la sierra y el menor quedó casi pegado al litoral, donde conforma una faja de islas marinas y colinas costeras. Otro episodio fundamental de esta orogenia, en su última fase tectónica (fines del Terciario hasta inicio del Cuaternario), fue el levantamiento de los Andes a sus altitudes aproximadamente actuales.

De acuerdo a las características del relieve topográfico, en el que juegan papel importante la diferencia de altura, la estructura geológica, la litología y el clima, se han distinguido las siguientes unidades geomorfológicas:

2.6.1. CADENA COSTERA.

A partir de los 500 m.s.n.m., el perfil de los cerros se va haciendo cada vez más empinado y por lo tanto la topografía es más accidentada. La altitud que alcanzan los cerros es variada, adquiriendo elevaciones que llegan hasta los 2500 m.s.n.m.

Esta unidad esta disectada por valles transversales y por numerosas quebradas que realizaron una modificación a la antigua superficie de erosión.

2.6.2. VALLES TRANSVERSALES.

Los ríos Yauca, Chala, que drenan en dirección S-SW, 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.

Los valles de los cursos inferiores tienen un ancho máximo de 2 a 3 km, tal como puede observarse en la parte baja de los valles de Chala y Yauca, pero generalmente son angostos.

2.6.3. PENEPLANICIE SUBANDINA.

Constituye una superficie de erosión que se encuentra cortada por numerosas quebradas y ríos que drenan hacia el Pacífico. La diferencia de nivel aumenta progresivamente de SW a NE, desde los 2500 m.s.n.m. hasta los 3200 m.s.n.m.

Esta superficie, posiblemente comenzó a formarse por acción marina y a una altura muy inferior a la actual, alcanzando las rocas del Batolito, que han quedado al descubierto por la intensa erosión modeladora del que sólo una parte está cubierta en pequeñas áreas por depósitos tobaceos más jóvenes.

2.7. GEODINÁMICA EXTERNA.

2.7.1. PROCESOS DE GEODINÁMICA EXTERNA.

Los factores naturales causantes de los procesos geodinámicas contemporáneas, son los siguientes:

- Terremotos fuertes, contribuyen a los procesos de desestabilización de taludes, iniciando nuevos deslizamientos o reactivando los existentes.
- Procesos de meteorización.
- Acumulación de grandes masas de suelo.

Los tipos de riesgos geológicos que existen, están relacionados a factores fisiográficos y climáticos, propios de la geomorfología de la región. De acuerdo a las observaciones de campo, existen dos tipos de amenazas principales que influyen en el sector, a continuación se detallan:

2.7.1.1. DESLIZAMIENTOS.

Ragan M. D. (1980), geología estructural. Los deslizamientos son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que se deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superar la resistencia cortante en estos planos. En las inmediaciones de la zona en estudio, los deslizamientos se presentan favorecidos por los materiales sueltos que se han producido debido a la acción agresiva de los paleoglaciares. Es característica la presencia de planos de rotura a lo largo del cual se produce el movimiento que puede ser lento o violento.

2.7.1.2. EROSION ANTROPICA.

La construcción de la infraestructura tales como campamentos, carreteras a bocaminas, echaderos de desmontes, contribuyen a las modificaciones del modelado natural y acelerando o retardando los procesos de desgaste. En la zona de operación minera, estos factores actualmente son los más transformantes a la topografía.

2.8. GEOLOGÍA LOCAL.

2.8.1. ESTRATIGRAFIA LOCAL.

Todas las unidades geológicas que aquí se describen. En el área de influencia del embalse de la Presa Proyectada Ancascocha se han distinguido las siguientes unidades geológicas:

MESOZOICO.

- **FORMACIÓN GUANEROS (Js-gu).**

Se ha observado una secuencia de lavas andesíticas, color gris – verdoso, textura porfirítica, matriz afanítica, intercalado con niveles delgados de areniscas cuarzosas blancas compactas; seguido de bancos de areniscas cuarzosas de color blanco, grano medio a grueso (Cerro Reyes), finalmente se nota una secuencia de areniscas rojizas de grano medio a fino, cemento de arcillas, intercalado con limo areniscas con cemento calcáreo y limolitas de color beige a naranja; cortados por diques pórfido dioríticos (horbléndico) y pequeños stocks de diorita.



Figura 10: Vista al Nor-Oeste de la Mina Viborass III, donde se aprecia la Fm Guaneros (Js-gu).

CENOZOICO.

- **DEPÓSITOS RECIENTES (Qh-al, Qh-c).**

En el área de estudio se observan depósitos aluviales en las quebradas, coluviales en las laderas y/o pendientes de los cerros conformados por bloques angulosos y subangulosos que varían en el tamaño desde centímetros hasta metros, estos depósitos en algunas áreas cubren los afloramientos de las estructuras mineralizadas.

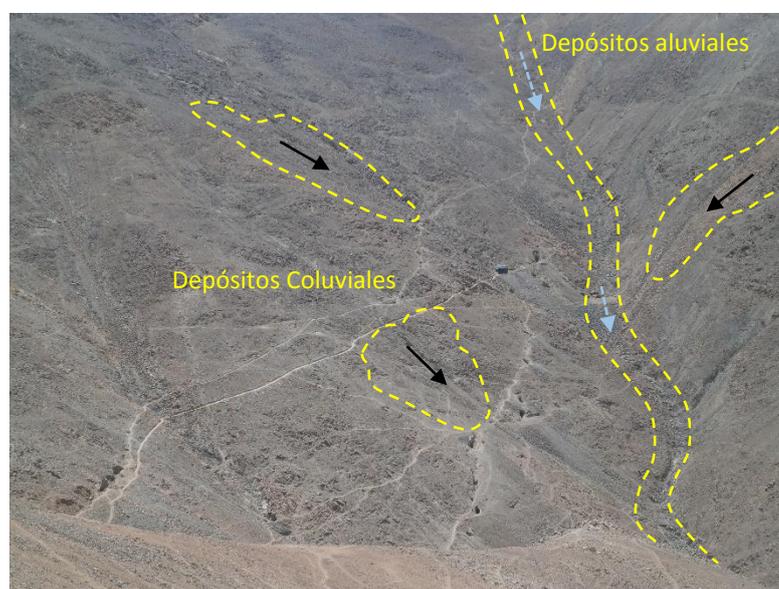


Figura 11: Depósitos aluviales y coluviales.

ROCAS IGNEAS.

- **SÚPER UNIDAD LINGA (Ks-li/mz, Ks-li/mzdi).**

Al noroeste del área de estudio aflora pequeños stocks conformada por monzonitas y monzodioritas (plagioclasa-ortosa, hornblenda, cuarzo), textura fanerítica de grano medio a grueso, color rosado a blanco, con venillas de cuarzo hialino-lechoso, venillas de epidota y algunas estructuras de óxidos de hierro.

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS IGNEAS	
				PLUTÓNICAS	SUBVOLCÁNICAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos eólicos y aluviales  Material arenosos no consolidado		
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR		Superunidad Linga  Monzonita  Monzodiorita	 Andesita

Figura 12: columna estratigráfica local

FUENTE: INGEMMET.

2.9. GEOMORFOLOGIA.

2.9.1. AGENTES Y FACTORES DEL MODELAMIENTO GEOMORFOLOGICO.

Tomando en cuenta la finalidad del presente trabajo de investigación, los factores que han sido considerados con particular atención en la diferenciación de las unidades geomorfológicas son las siguientes:

2.9.2. SUBSTRATO GEOLOGICO.

El substrato geológico considerado especialmente como litología y posición estructural es ampliamente el factor más importante, debido a que influyen directamente en los demás factores. En efecto el tipo litológico (Intrusivo, Volcánico, Sedimentarias, y Metamórficas), determina la predisposición del relieve con respecto al modelado y la erosión; mientras que la

posición vinculada a las deformaciones estructurales o a los procesos de postura de los cuerpos rocosos, determina la entidad y la forma del relieve.

El papel que juega el substrato rocoso en la caracterización de las unidades geomorfológicas es complejo, pero puede decirse que, esencialmente, su actuación se realiza de dos maneras:

- Las rocas Intrusivas, algunas metamórficas principalmente silíceas, son las más resistentes a la erosión hidroclimática.
- Las rocas sedimentarias asociadas al sistema de fracturamiento y diaclasamiento presentan una menor resistencia a los procesos erosivos.

2.9.3. RELIEVE.

La superficie que se observa en el área del estudio, son de diferente naturaleza lítica con pendientes empinadas y abruptas en la parte superior la que favorece los procesos de denudación que realiza el escurrimiento superficial.

2.9.4. ANTROPICOS.

La construcción de la infraestructura tales como campamentos, carreteras a bocaminas, echaderos de desmontes, contribuyen a las modificaciones del modelado natural y acelerando o retardando los procesos de desgaste. En la zona de operación minera, estos factores actualmente son los más transformantes.

2.10. GEODINAMICA INTERNA

(Legget F. y Karrow F. P. (1986), se refiere a los procesos endógenos de dinámica cortical originados en los niveles estructurales internos de la tierra y que no dependen de la interacción de los fenómenos atmosféricos; en la zona

estudiada los fenómenos de geodinámica interna se relacionan con eventuales fenómenos sísmicos.

El fenómeno sismo constituye la expresión superficial de la ruptura cortical de masas pétreas sometidas a enormes esfuerzos de deformación donde la energía producto es liberada en forma de ondas elásticas que al desplazarse a través de la superficie generan las vibraciones que identificamos como sismo.

Podemos dimensionar un sismo cualitativamente mediante la medida de su intensidad que registra sus efectos en términos del grado de destrucción asociado y, cuantitativamente mediante la medida de su magnitud que registra la energía liberada, para lo cual se ha adoptado por convención la escala de Richter que va de 1 hasta el infinito, aunque en la práctica solo se han registrado sismos, según la escala, de 9.

2.10.1. SISMICIDAD

La actividad sísmica en el Perú es debida principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana de norte a sur, en su borde oeste, con una velocidad relativa del orden de 8-10 cm/año. El margen continental oeste de Sudamérica es uno de los más activos y de los bordes de placa el mayor en la Tierra. Como resultado de este proceso se ha formado la Cordillera de los Andes en diferentes etapas orogénicas. La alta velocidad de convergencia de placas permite que se genere un fuerte acoplamiento entre ellas, produciendo frecuentemente sismos de diferentes magnitudes a diversos niveles de profundidad, ya sea en la superficie de fricción de las placas, en el interior de la placa continental o en el interior de la placa oceánica que se desplaza por debajo del continente. Las características de la sismicidad de Perú han sido

ampliamente analizadas y discutidas por diversos autores; siendo las principales, las relacionadas con la distribución espacial de los focos sísmicos en superficie y en profundidad.

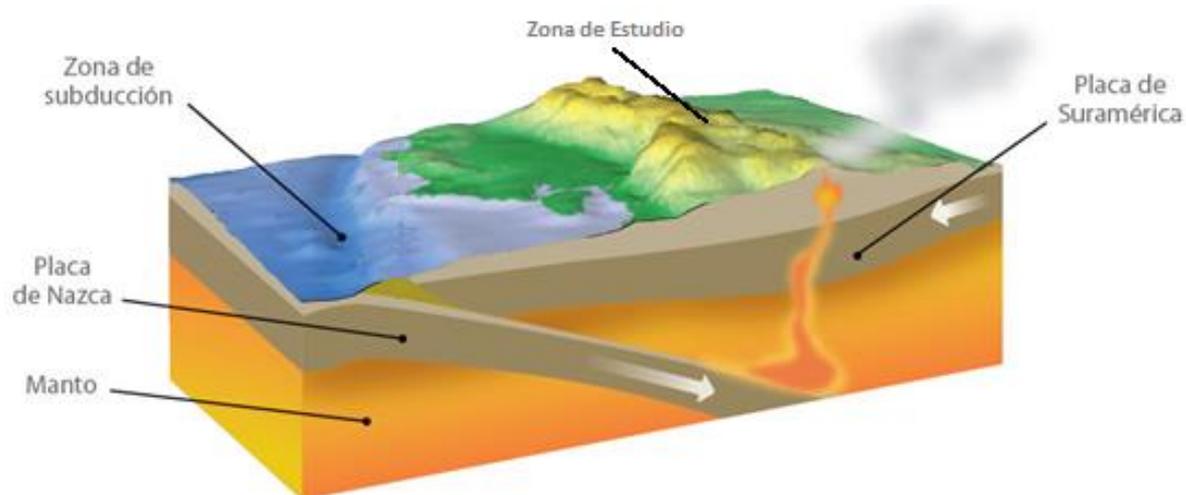


Figura 13: Esquema de la zona de subducción en el Perú.

2.10.1.1. DISEÑO SISMO – RESISTENTE (NORMA E. 030).

Este acápite proporciona los parámetros requeridos para un eventual diseño sísmico resistente orientado a minimizar el riesgo de daño material y asegurar la continuidad operativa de las obras de ingeniería luego de acontecido un sismo.

2.10.1.2. ZONIFICACION SISMICA.

Para fines prácticos, en base a la distribución espacial de la sismicidad documentada en el país, así como a las características de los movimientos sísmicos y a las tendencias de intensidad decreciente con respecto a los epicentros registrados en el catálogo sísmico nacional, el territorio nacional queda segmentado tal como se muestra en las figuras siguientes:



Figura 14: Mapa de zonificación sísmica.

FUENTE: Norma E. 030 diseño sísmico resistente.

El Perú se localiza entre las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por encontrarse dentro del cinturón de fuego del pacifico, que conforma una de las zonas sísmicas más activas del mundo por la subducción de

la placa de nazca debajo de la placa Sudamericana, cuyo índice de convergencia entre ambas placas es de unos 10 cm por año aproximadamente.

El área de estudio se encuentra en la Zona 3, correspondiéndole una sismicidad alta, d acuerdo al mapa de zonificación sísmica del Perú.

Se debe tener en cuenta la actividad sísmica ocurrida en el pasado, ya que son datos importantes para la estimación de la amenaza. En la tabla 23. Se presenta un resumen de los sismos más importantes registrados cerca de la zona de estudio.

Tabla 23: Resumen de los sismos de mayor intensidad en los últimos 500 años en el Sur- Oeste Peruano.

Fecha	Epicentro	Magnitud (Richter)	Intensidad (Mercalli)
1582	Cerca de Arequipa	S/D	X
1604	Cerca de Arequipa	S/D	VIII
1664	Cerca de Ica	S/D	X
1813	Cerca de Ica	S/D	VIII
1868	Cerca de Moquegua	8.5	X
10/02/1716	Cerca de Pisco	S/D	IX
24/08/1942	Cerca de Nazca	8	IX
15/01/1958	Cerca de Arequipa	S/D	VII
15/01/1960	Cerca de Nazca	S/D	VII
12/11/1996	Cerca de Nazca	7.7	VII
23/06/2001	Cerca de Atico	8.4	VII
15/08/2007	Cerca de Pisco	7.9	VII

FUENTE: Romero C. (2018).

Grado	Descripción
I. Muy débil	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de preceptibilidad específicamente favorables.
II. Débil	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III. Leve	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V. Fuerte	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI. Bastante fuerte	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles o bien se les oye crujir.
VII. Muy fuerte	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería, ladrillos, parapétos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos.
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aun el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra de fisura.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
XI. Muy desastroso	Muy pocas estructuras de albañilería en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
XII. Catastrófico	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

Figura 15: Escala Mercalli

FUENTE: Poblete J. (2008).

ESCALA DE RICHTER	
MAGNITUD	EFFECTOS DEL TERREMOTO
Menor a 3.5	Es registrado pero no se siente.
3.5 - 5.4	A menudo se puede sentir pero no causa daños mayores.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a las construcciones.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 a 7.9	Terremoto. Causa daños graves.
Mayor a 8	Gran terremoto. Destrucción total.

Figura 16: Escala Richter

FUENTE: Arestizabal, J. (2010).

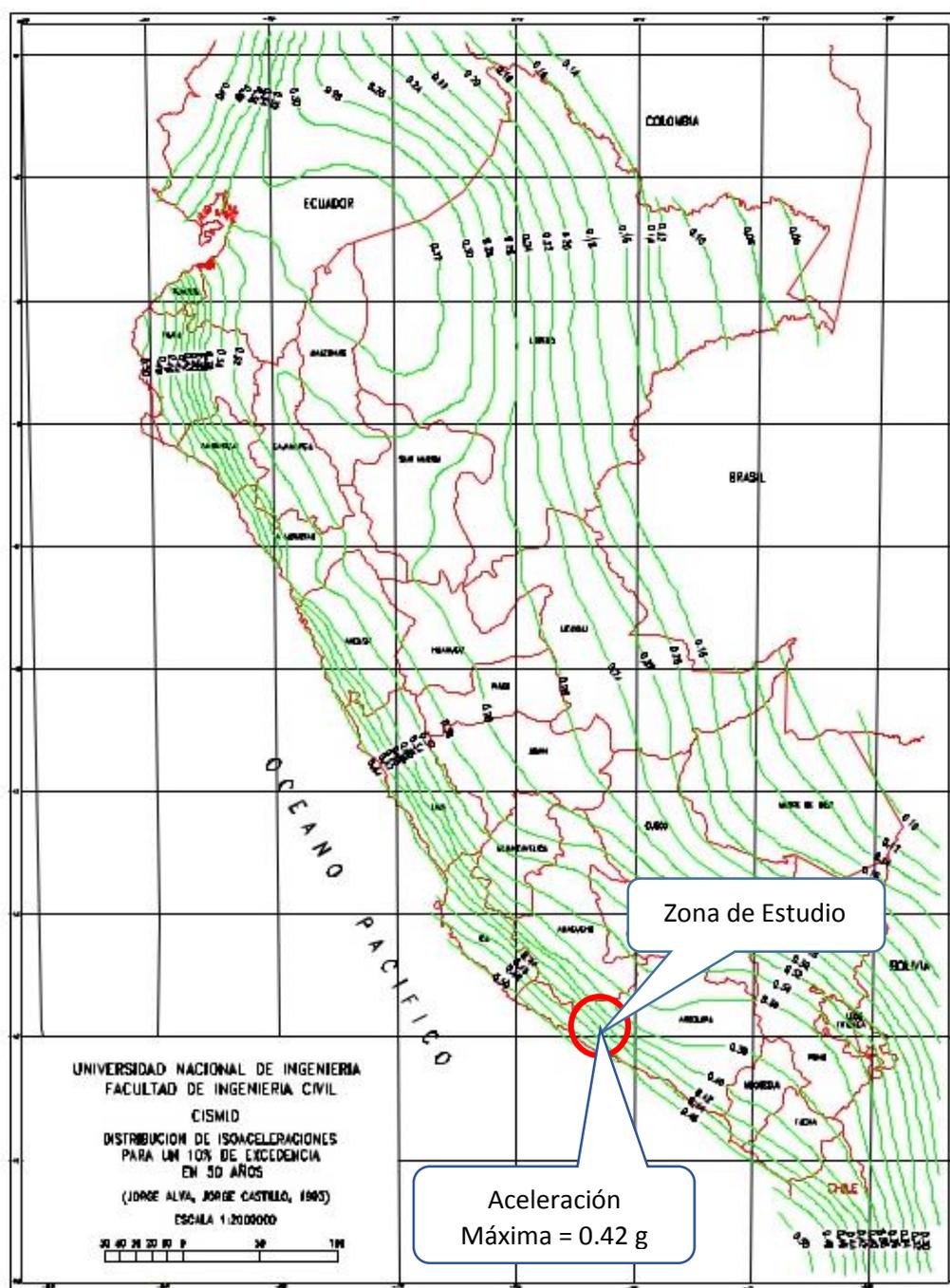


Figura 17: Mapa de distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años.

FUENTE: Castillo J., Alva J., (1993).

El mapa de distribución de isoaceleraciones muestra la ubicación de la zona de estudios en donde se puede apreciar que los valores más altos de aceleraciones máximas están localizados a lo largo de toda la costa y van

disminuyendo a medida que se avanza hacia el Este, ya que se encuentra próximo al litoral donde se encuentra la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana y los reajustes que se producen en la corteza andina que constituyen los principales elementos que afectan la sismicidad en el país.

2.11. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.

2.11.1. SISTEMA FLUVIAL.

Los procesos de desgaste en la superficie del área de estudio, han generado geoformas en las que ocurren los procesos morfodinámicos más activos actuales.

a. Valle en V. (F-Vs).

La unidad como es el Valle en forma de V atraviesa en área de estudio con una dirección NE-SW, típico en los cursos de los ríos con pendiente moderado hacia la vertiente del Pacífico, este valle carece de agua en la actualidad, pero existe la probabilidad de que en las épocas de lluvias se vuelva activar.

b. Quebradas. (F-Qb).

Son valles estrechos ocasionados por la erosión y encajonados por elevaciones de montañas cuyas laderas caen abruptamente hacia el fondo del valle, estos se observan en las partes altas de la zona de estudio.

c. Abanico Aluvial. (F-A,al).

Esta unidad se observa al NE de la zona de estudio, en una escala reducida, su vista en planta presenta el aspecto de un abanico y se originó a

partir de la sedimentación de la carga sólida transportada, allí donde ésta pierde súbitamente fuerza debido a la brusca disminución del gradiente topográfico.

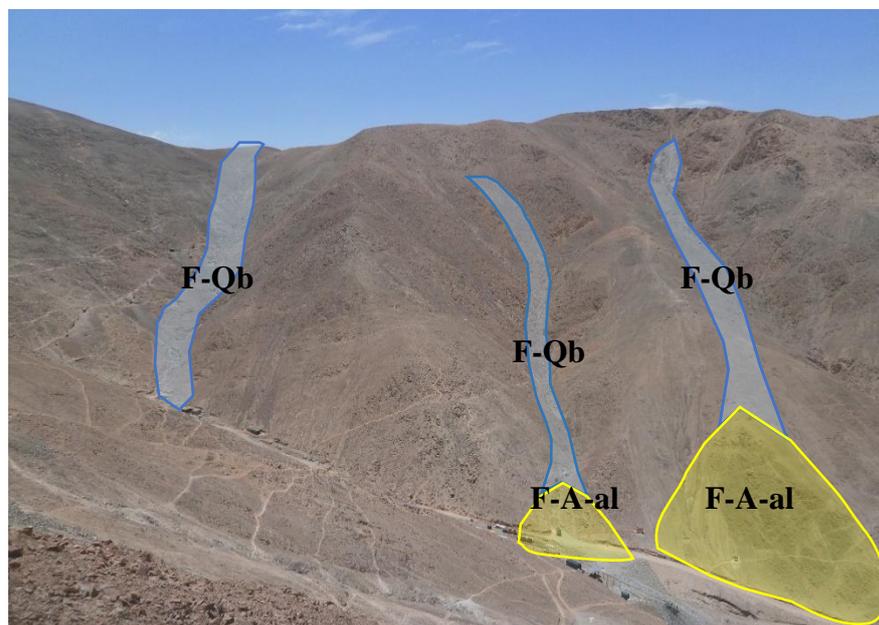


Figura 18: Vista al Nor-Este: Se observa las Unidades Geomorfológicas en la Mina Viboras III.

2.11.2. SISTEMA MONTAÑOSO.

Está constituido por geoformas originadas por modelación tectónica y volcánica; así como, originadas por denudación muy relacionada con la composición litológica.

a. Conos de Deyección (SM-CD).

Corresponde a formaciones rocosas de forma de cono compuesto principalmente por bloques de mediano a pequeño tamaño, están emplazadas en las partes bajas de las quebradas.

b. Altas Cumbres y Lomas (M-Ac).

Es la unidad que conforma una topografía accidentada de mayores elevaciones y pendientes abruptas, en el área de estudio se observa, también se puede apreciar hacia el Norte donde se ubica el yacimiento.

c. Laderas (M-La).

Son declives laterales de las altas cumbres, cuya pendiente son muy regulares formando un ángulo no mayor de 60° , se observa con mayor frecuencia en las partes bajas de las altas cumbres.

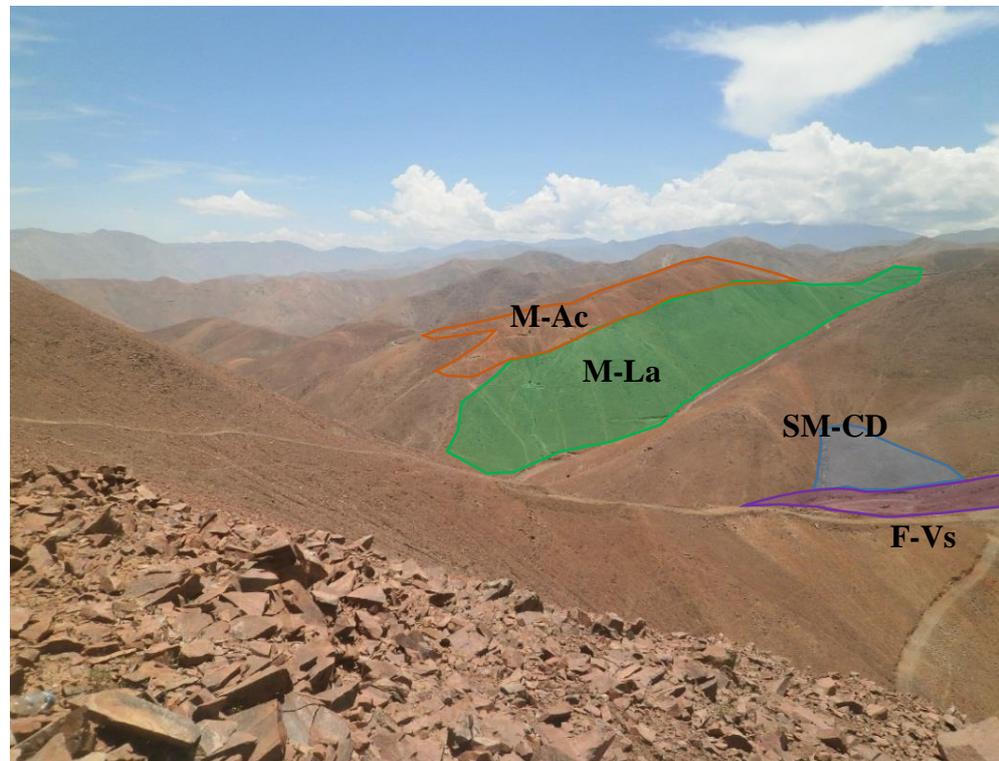


Figura 19: Vista al Sur-Oeste: Se observa las unidades Geomorfológicas en la Mina Viboras III.

Tabla 24: Unidades geomorfológicas.

SISTEMA	UNIDAD	SIMBOLO	DESCRIPCION
FLUVIAL	Valle en V	F-Vs	Por la naturaleza topográfica de la zona estos son de tipo juvenil cuyo perfil presenta típicas formas en “V”
	Quebrada	F-Qb	Hendidura de una montaña, al paso estrecho entre elevaciones.
	Abanico Aluvial	F-A,al	Es la acumulación de materiales, que presentan una planta aproximadamente triangular, con la forma de una sección de cono.
MONTAÑOSO	Conos de Deyección	SM-CD	Un cono de deyección, también llamado cono o abanico aluvial, es una forma de modelado fluvial que en planta se caracteriza por tener una silueta cónica o en abanico y una suave pendiente
	Altas Cumbres y Lomas	M-Ac	Parte superior o cima de una montaña. La topografía define al término como el punto de la superficie que resulta más elevado en altitud en comparación con los puntos inmediatamente adyacentes a él
	Laderas	M-La	Es la pendiente de una montaña o elevación del terreno por cualquiera de sus lados.

FUENTE: Elaboración propia.

2.12. HIDROLOGÍA.

El principal curso fluvial de la zona de estudios es la quebrada Viboras donde se encuentra emplazado el campamento, que actualmente se encuentra completamente seco, en épocas de verano se presentan pequeñas escorrentías debido a las precipitaciones esporádicas que se suscitan.

2.13. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Las estructuras del área están relacionadas principalmente con los movimientos tectónicos del ciclo andino, en primer lugar, por el metamorfismo regional que afecta a las rocas del Complejo Basal de la Costa y por las discordancias angulares que ponen de manifiesto el ciclo hercínico, reconociéndose las fases eo-hercínianas y tardi-hercínianas.

Las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas debido en parte a su diferente naturaleza y a la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado, materializados ellos por pliegues, fallas y diaclasas que se observan en el área.

El área de estudio se encuentra dentro de la zona de Fallamiento en bloques del Batolito de la Costa, cerca de la falla de alcance regional falla Palomino al sur, donde se manifiestan estructuras que se extienden de 30 a 40 km., de rumbo E-W con variaciones NW-SE, a continuación.

Falla Palomino: Es una falla normal de dirección N15W a E-W, se presenta en el cuadrángulo de Chala, formando parte de las fallas escalonadas, al que se expone aproximadamente por unos 40 Km. El bloque NE ha descendido con respecto al bloque SW, la traza de la falla se pierde hacia el NW en la quebrada Tocota.

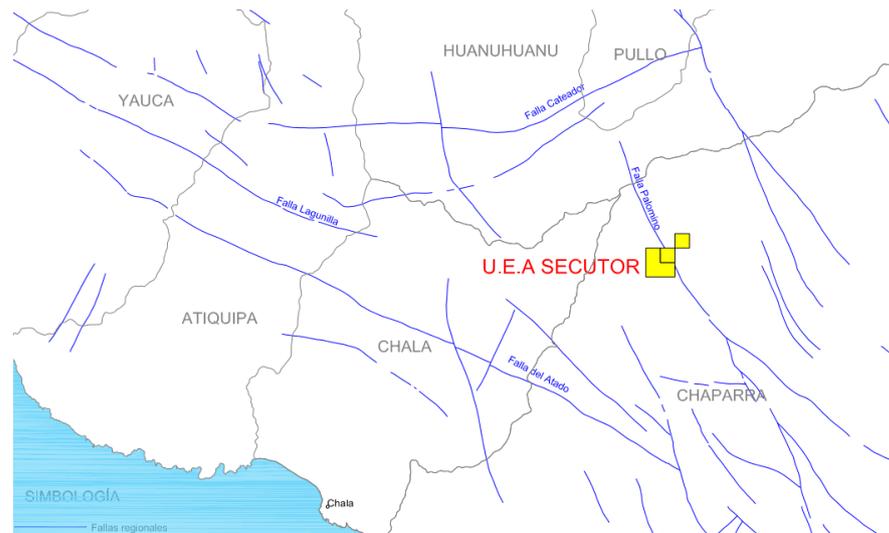


Figura 20: Fallas Regionales

2.13.1. FALLAMIENTO.

Una falla es una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas superficiales de la tierra (hasta unos 200 km de profundidad) cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangenciales a este plano.

El movimiento causante de la dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas. En las masas montañosas que se han alzado por movimiento de fallas, el desplazamiento puede ser de miles de metros y muestra el efecto acumulado, durante largos periodos, de pequeños e imperceptibles desplazamientos, en vez de un gran levantamiento único. Sin embargo, cuando la actividad en una falla es repentina y brusca, se puede producir un gran terremoto, e incluso una ruptura de la superficie terrestre, generando una forma topográfica llamada escarpe de falla.

2.13.2. DIACLASAMIENTO.

Diaclasa es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, fracturas en las que si hay deslizamiento de los bloques. Son estructuras muy abundantes.

2.14. ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.

Todos los sistemas de vetas de la unidad económica administrativa secutor están formados por óxidos de Fe (hematitas y limonitas) como resultado de la oxidación de la pirita, que es el principal mineral que contiene el oro, desde la superficie hasta el nivel 2130; el cuarzo es otro componente importante en estas vetas, junto con las hematitas y limonitas forman las vetas de textura bandeada. El cuarzo normalmente es gris blanquecino a lechoso. La mineralización de oro se encuentra concentrada en las hematitas como sucede en Paula, Bianca y Regional; las limonitas con cuarzo fracturado presentan también valores de oro, con menores porcentajes.

La mineralización aurífera en todas las vetas, se presenta hasta el momento en la parte alta del yacimiento, zona de oxidación falta llegar a la zona de enriquecimiento secundario y finalmente zona de sulfuros primarios.

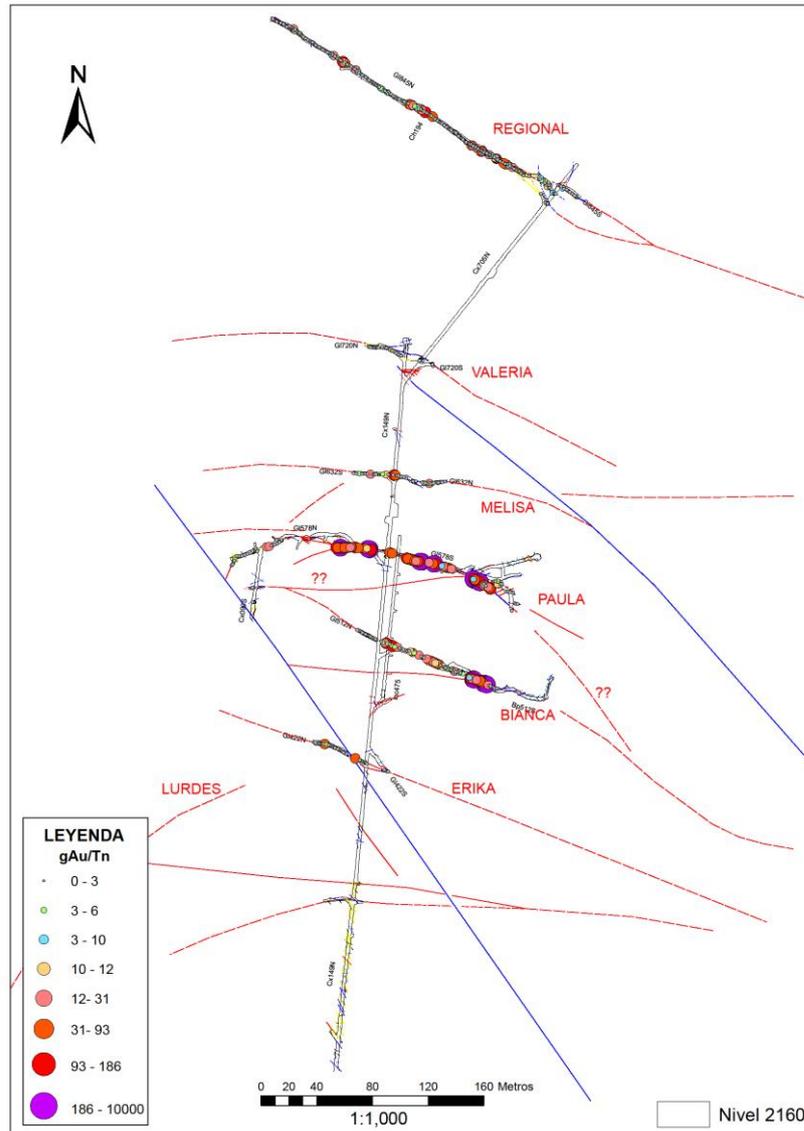


Figura 21: Estructuras mineralizadas.

2.14.1. ZONA DE OXIDACIÓN.

Resultado de la alteración supérgena de los sulfuros primarios, abarca la zona lixiviada y oxidada del yacimiento, que comprende desde la superficie actual hasta el nivel 2130 aproximadamente, en esta zona la estructura presenta textura bandeada que consta de sílice oquerosa acompañado de abundante óxido de Fe y Mn, hematita, goethita, limonita, pirolucita, jarosita, calcita, baritina y micas; en ciertos tramos hay presencia de malaquita y crisocola Veta Blanca y Regional. En esta zona el Au se encuentra libre finamente diseminado en los óxidos a veces visible macroscópicamente.



Figura 22: Se muestra la alteración de los sulfuros primarios.

Las vetas explotadas actualmente por su contenido económico son:

- **Veta Blanca.**

Estructura mineralizada de venillas de cuarzo (70%), diseminado de pirita (6%), venillas de calcopirita (3%), venillas de óxido de fierro (2%), venillas de epidota (3%), óxido de clorita (3%), venillas de sericita (2%) y venillas de actinolita (1%); la litología está compuesta por andesita, asociada a una alteración de propilítica débil, fílica débil y silicificación moderada, leyes entre 5 – 120gAu/t con ancho de 0.05 a 0.20m.



Figura 23: Se muestra el bandeamiento y el ancho de la Veta Bianca.

- **Veta Paula.**

Estructura mineralizada de cuarzo (68%), hematita (8%), diseminado de pirita (2%), clorita (3%), sericita (2%), epídota (2%), yeso (2%), y óxido de manganeso (2%); la litología está compuesta por andesita, asociada a una alteración de fílica débil, propilítica débil y silicificación débil, leyes entre 10 - 200gAu/t con ancho de 0.05 a 0.15m.



Figura 24: Se muestra la Veta Paula emplazada en roca andesita.

- **Veta Regional.**

Estructura mineralizada de cuarzo (28%), hematita (8%), caolín (12%), epidota (4%), óxido de manganeso (3%), clorita (3%) y calcita (2%); la litología está compuesta por andesita, asociada a una alteración de argílica moderada, propilitica débil y silicificación débil, leyes entre 5 - 30gAu/t con ancho de 0.10m a 0.90m.



Figura 25: Se muestra la Veta Regional con presencia de alteración argílica moderada, propilitica y silicificación débil.

2.14.2. SISTEMAS DE VETAS.

El sistema de vetas presente es:

- **Veta Blanca**

Estructura mineralizada con Azimut de 284° y buzamiento de 78°.

- **Veta Paula**

Estructura mineralizada con Azimut de 284° y buzamiento de 60° - 85°.

- **Veta Regional**

Estructura mineralizada con Azimut de 310° y buzamiento de 75° - 85°.

2.14.3. FRACTURAMIENTO.

El estudio de la fracturación del macizo rocoso se efectuó como parte integrante de la cartografía geológico-geotécnica, si bien debido a su importancia, en el caso de las formaciones rocosas, se ha optado por individualizarlo en este apartado. El estudio de la fracturación contempló los siguientes aspectos:

- Levantamiento de las discontinuidades estructurales.
- Correlación diaclasas-fracturación regional.
- Análisis de microestructuras para la estimación del estado tensional.

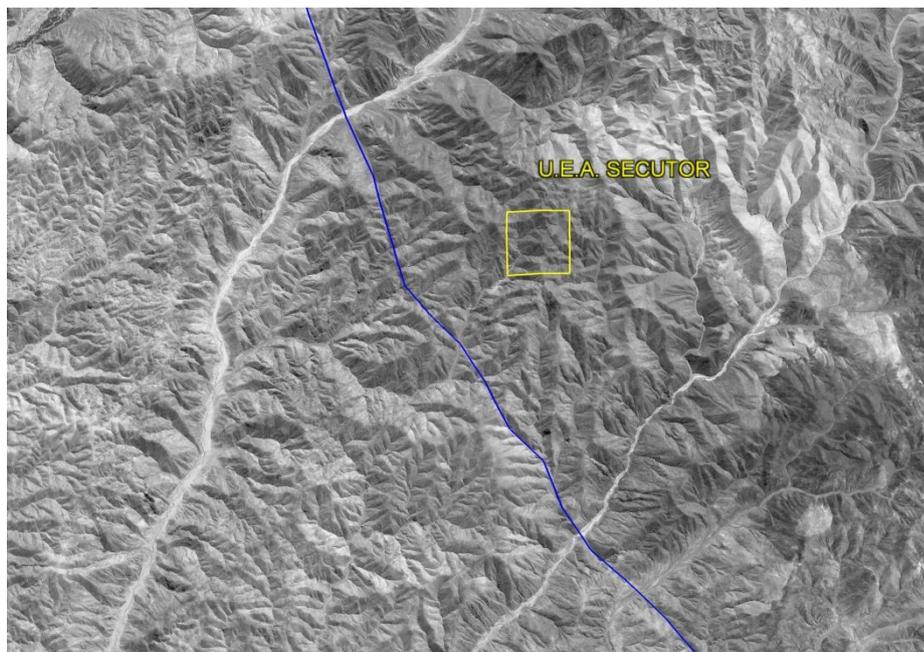


Figura 26: Imagen satelital mostrando dirección de la falla Palomino, NW - SE.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.

En el presente estudio de investigación geológica – geotécnica en el Proyecto Minero Viborass III se han empleado los siguientes materiales y equipos.

Materiales:

- Cuadrángulo de Chala en la escala 1/1000, hoja 32ñ-1.
- Planos elaborados para caracterizar y/o mapear los diaclasamientos.
- Lápiz de dureza.
- Formato de registro geomecánico.
- Protactor de escala 1:250 y 1:500.

Equipos:

- Brújula (Brunton).

- GPS Garmin.
- Flexometro de 5m.
- Wincha de 50m.
- Lupa de geólogo
- Martillo de geólogo.
- Computadora Laptop Toshiba.
- Cámara fotográfica digital Canon.

3.2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de investigación y por las características del estudio es de tipo exploratorio, descriptivo y explicativo, a continuación, se detalla el procedimiento:

3.2.1. ETAPA DE PRE CAMPO.

- En esta primera etapa de trabajo se revisó la información bibliográfica, para conocer las características geomecánicas del Proyecto Minero Viboras III.
- Cartografía, imágenes satelitales, además textos generales.
- De la zona de acuerdo a la carta nacional del cuadrángulo de Chala 32ñ-1.
- Se elaboró planos bases en la escala 1/1000 para la identificación de zonas de estudio.

3.2.2. ETAPA DE CAMPO.

3.2.2.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.

En esta etapa se realizó el mapeo geológico de las unidades litológicas, y el mapeo geomecánico donde se tomaron datos para la caracterización geomecánica del macizo rocoso, que consiste en RQD, rumbo y buzamiento de las principales sistemas de discontinuidades, abertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua. Distribuidas convenientemente en el nivel 2160 del proyecto minero Viboras III.

Las investigaciones de campo constituye la parte más esencial en los análisis de caracterización del macizo rocoso. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento del área de análisis de la investigación.
- Mapeo geológico (identificación de la litología).
- Mapeo geomecánico del macizo rocoso del nivel 2160 en lugares de interés.
- Muestreo de rocas para la realización de ensayos en laboratorio.

a. INVESTIGACIONES GEOMECANICAS.

El desarrollo de la mecánica de rocas se inicia como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras de ingeniería superficiales, subterráneas y de exploración, para el diseño de medidas de sostenimiento en excavaciones subterráneas. Existen además, una gran variedad de formas de comportamiento del macizo rocoso y la evaluación de la resistencia del macizo rocoso, se debe tener en cuenta las condiciones geológicas básicas en la identificación de sistemas de discontinuidades. Por lo tanto, es claro que en el diseño de la excavación en roca se requiere una operación estrecha entre las especialidades de geología, minería y civil, quienes proponen el método

adecuado de excavación según la calidad de roca, las medidas de sostenimiento.

En el mapeo geomecánico se logra determinar el dominio de los principales sistemas de discontinuidades en la deformación del macizo rocoso, datos que se logra a investigar realizando el mapeo geomecánico lineal de sistema de discontinuidades que llegan a deformar, durante el desarrollo de las labores mineras en el nivel 2160.

Con la finalidad de caracterizar los macizos rocosos que conforman las labores de la mina de estudios, se establecieron estaciones geomecánicas, se tomó muestras representativas para ejecutar un programa de ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

La evaluación del macizo rocoso se realizó en puntos de interés del nivel 2160 de la mina Viboras III, en cada una de las estaciones geomecánicas se logra identificar los parámetros geomecánicos y son evaluados en base con los parámetros propuestos por Bieniawski (1989), sistema de valoración de macizo rocoso, denominado RMR, cuyo procedimiento consta en:

- Resistencia a la compresión Uniaxial del materia rocoso.
- Índice de calidad de roca RQD.
- Separación entre diaclasas.
- longitud de discontinuidades.
- Abertura (mm).
- Rugosidad.
- Relleno.
- Alteración.
- Presencia de agua.,

Estos parámetros geomecánicos son evaluados en cada una de las estaciones geomecánicas.

b. 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 presencia del tipo de relleno y el grado de alteración de las paredes de las discontinuidades, estas condiciones influyen en la resistencia al corte en la deformabilidad del plano de discontinuidad.

c. INDICE DE DESIGNACION DE CALIDAD DE ROCA (RQD).

El índice de calidad de roca, en las estaciones geomecánicas que se ubicaron estratégicamente en el nivel 2160, se ha evaluado mediante la fórmula de Palmstron (1975), el grado de fracturamiento es medido por número de fracturas por metro cubico.

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

J_v : Es el número total de discontinuidades por metro cúbico.

Uno de los métodos de determinación el índice de designación de la calidad de roca (RQD), en la evaluación de un macizo rocoso consiste multiplicar el número de discontinuidades por metro cubico (J_v) por 3.3 y asimismo restarlo a 115.

3.2.2.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Instrumentos que se utilizaron en el estudio geomecánico del nivel 2160 es:

- Brújula.
- Hoja de mapeo de línea de detalle.

- Planos del nivel 2160, e informes.

3.2.2.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

- La información fue vertida en hojas de Excel para determinar el RMR con los datos del macizo rocoso que fueron tomados en lugares de interés.
- Así mismo en los lugares de interés se tomó datos mediante el sistema GSI (índice de esfuerzo geológico).

3.2.3. POST CAMPO.

El trabajo de investigación se realizó mediante un análisis cuantitativo, que compromete la estabilidad física del macizo rocoso, donde se ejecutó una interpretación de los datos obtenidos en campo y las pruebas de laboratorio (Ensayo de Compresión Simple y Carga Puntual) con los cuales se procedió a concluir el tipo de sostenimiento para las labores del nivel 2160.

3.2.3.1. ENSAYOS DE LABORATORIO.

- **CARGA PUNTUAL.**

Con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, se realizó 6 ensayos de carga puntual para conocer la resistencia a la compresión simple de la roca irregular. El ensayo de carga puntual se realizó en muestras obtenidas de los sitios de interés donde se realizó las estaciones geomecánicas.

Este ensayo se basa en la norma ASTM D-5731-02, ISRM, y consiste en comprimir la muestra de roca entre dos puntos situados en generatrices opuestas, generando así la deformación y rotura de la roca. Como resultado de este ensayo se obtienen índices de carga puntual mínimo 38.47 MPa que determina que es

una roca medianamente dura y un índice máximo 104.69 MPa que determina que es una roca muy dura con el cual se obtiene la resistencia a la compresión de la roca irregular. Ver anexo C.

- **COMPRESION SIMPLE**

El valor de este parámetro está referido a la roca intacta, y se expresa en MPa, puede determinarse por los procedimientos descritos a continuación:

Este ensayo se basa en la norma ASTM D-2938-95 y consiste en un ensayo que sirve para la clasificación de la roca por su resistencia y para la determinación de su deformación y rotura.

Los valores obtenidos de los datos de laboratorio sobre las muestras de roca andesita de cada estación geomecánica del nivel 2160 fueron: EG-01 = 44.28, EG-02 = 48.67, EG-03 = 103.66, EG-04 = 120.21, EG-05 = 90.73, EG-06 = 90.46. Todos los datos están en valores de MPa, datos que corresponden a las muestras tomadas.

La resistencia a la compresión simple que se obtuvo en laboratorio para las 6 muestras cilíndricas de roca fueron como valor Max 120.21 MPa que indica que la roca es muy dura y como valor Min 44.28 MPa que indica que la roca es medianamente dura, los resultados de laboratorio se adjuntan. Ver anexo C.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.

De la geología local se determinó que los aspectos litológicos más característicos del área de estudio son las rocas andesitas que actúan como hastiales de las labores subterráneas como roca encajonante de las estructuras mineralizadas del Proyecto Minero Viboras III.

A través del mapeo geológico realizado a lo largo del nivel 2160, se observó que las rocas presentes son de la formación Guaneros, esta unidad del cretáceo superior, donde se emplazan las estructuras mineralizadas, Veta Bianca con azimut de 284° y buzamiento de 76° , Veta Paula con azimut de 284° y buzamiento de $60^\circ - 85^\circ$ y Veta Regional con azimut de 310° y buzamiento de $75^\circ - 85^\circ$. Estas estructuras están acompañadas por diaclasas y fracturas, cuyas orientaciones se presentan de manera paralela a dichos planos principales.

4.1.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA EG-01, EG-02 Y EG-03.

Estas estaciones geomecánicas se encuentran ubicadas en el cruce 149N, la roca que se presenta es Andesita de la Fm Guaneros, es una roca de buena a regular consistencia, compuesto de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos, con presencia de pirita diseminada, óxidos de fierro y epidota.

En el resultado de las investigaciones geológicas de las estaciones geomecánicas 01,02 y 03, se determinó que corresponde a Andesita de buena a regular calidad, cortadas por tres sistemas principales y uno secundario.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA EG-04.

La presente estación geomecánica se encuentran ubicadas en el cruce 705N, la roca que se presenta es Andesita de la Fm Guaneros, es una roca de buena consistencia, compuesto de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos, con presencia de clorita, pirita, sericita, epidota y óxidos de fierro.

En el resultado de las investigaciones geológicas de las estaciones geomecánicas 04, se determinó que corresponde a Andesita de regular calidad, cortadas por tres sistemas principales y uno secundario.

4.1.3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA EG-05.

Esta estación geomecánica se encuentran ubicadas en la galería 578N, la roca que se presenta es Andesita de la Fm Guaneros, es una roca de buena consistencia, compuesto de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos, con presencia de clorita, pirita, sericita, epidota y óxidos de fierro.

En el resultado de las investigaciones geológicas de las estaciones geomecánicas 05, se determinó que corresponde a Andesita de buena calidad, cortadas por tres sistemas de discontinuidades.

4.1.4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA EG-06.

Esta estación geomecánica se encuentran ubicadas en la galería 512S, la roca que se presenta es Andesita de la Fm Guaneros, es una roca de buena consistencia, compuesto de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos, con presencia de piritita, clorita y óxidos de hierro.

En el resultado de las investigaciones geológicas de las estaciones geomecánicas 06, se determinó que corresponde a Andesita de buena calidad, cortadas por tres sistemas principales y uno secundario.

4.2. CARACTERÍSTICAS GEOMECAICAS DEL MACIZO ROCOSO

Para la evaluación de la estabilidad de las labores del nivel 2160, se tuvo en cuenta las características del macizo rocoso donde se proyecta el laboreo. Tratándose de un macizo rocoso con gran resistencia en conjunto, pero diaclasado, y es así que las discontinuidades son las que van a determinar el tipo de rotura. Además, existen otros factores que pueden condicionar la rotura, como, los efectos vibratorios provocados por sismos, voladuras, etc.

Para evaluar la estabilidad del macizo rocoso de las labores se ha seguido la siguiente metodología:

- Ejecución de investigación geológica y geomecánica.
- Investigación de las características resistentes de la roca y de las discontinuidades, mediante ensayos de campo y de laboratorio.

4.2.1. REGISTRO DE DATOS.

En el proyecto minero Viboras III se realizó el mapeo geomecánico de manera constante respecto al avance de las labores, para la caracterización del nivel 2160.

Los datos se registraron usando el mapeo de línea de detalles de aspecto geomecánicos que se presenta en el anexo A. utilizando este método se realizaron mediciones de manera sistemática de las discontinuidades presentes en cada una de las estaciones geomecánicas.

Los parámetros tomados en cuenta fueron: litología, orientación de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno, alteración, agua, numero de fracturas y numero de fracturas.

ALTO RIESGO S.A.C.		MAPEO LINEAL																														
		PROYECTO: U.E.A. Secutor - Mina Viboras III					LEVANTADO POR: ORTIZ CORREA MARCO A.																									
		UBICACIÓN: Cx149N																														
ESTUDIO:		TIPO DE ROCA: ANDESITA								FECHA:																						
NIVEL: 2160		CONDICIONES DE EXPOSICIÓN																														
CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS		Orientación discontinuidad		Resit. (MPa)	Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua	N° Fracturas	Tipo																				
PROGRESIVA (m)	LITOLOGIA	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	Compresión uniaxial	Longitud de la traza	Abertura (mm)					Rugosidad					Relleno					Alteración					Agua					Fracturas/ metro lineal	Tipo
						Cerrado	Angosta <0.1mm	Moderada 0.1-1mm	Amplia 1-5mm	Muy amplia >5mm	I. Suave	II. Ondulada	III. Ligera rugosa	IV. Rugosa	V. Muy rugosa	I. Ninguno	II. Relleno duro <5mm	III. Relleno duro >5mm	IV. Rell. Blando <5mm	V. Rell. Blando >5mm	I. Inalterada	II. Ligera	III. Moderada	IV. Muy alterada	V. descompuesta	I. seco	II. ligeramente húmedo	III. Húmedo	IV. Goteando	V. Agua fluyendo		
0-3	Andesita	38	310		<10	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	8	1	2	3	4	5	
	Andesita	74	163		<10	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	
	Andesita	37	270		<10	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1	
3-6	Andesita	45	294		<10	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	6	1	1	1	1	1	
	Andesita	47	271		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1	
	Andesita	44	328		<10	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
6-9	Andesita	41	172		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1	
	Andesita	70	288		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	
	Andesita	45	305		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	
9-12	Andesita	51	303		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	6	1	1	1	1	1	
	Andesita	30	283		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
	Andesita	65	335		<10	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
12-15	Andesita	68	159		<10	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
	Andesita	65	280		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
	Andesita	48	020		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1	
15-18	Andesita	48	252		<10	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	
	Andesita	66	266		<10	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	
	Andesita	57	328		<10	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	
18-21	Andesita	68	155		<10	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1	
	Andesita	76	178		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	6	1	1	1	1	1	
	Andesita	34	298		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
21-24	Andesita	65	144		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
	Andesita	21	257		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	7	1	1	1	1	1	
	Andesita	41	038		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	6	1	1	1	1	1	
24-27	Andesita	35	196		<10	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	
	Andesita	75	124		<10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	

Figura 27: Registro mapeo de línea de detalles de aspecto geomecánicos. *Ver anexo A.*

4.2.2. INVESTIGACIONES GEOMECAICAS.

Las condiciones geomecánicas de los materiales del macizo rocoso se evaluó a partir de los siguientes trabajos:

- RQD (Rock Quality Designation).
- índice RMR (Rock Mass Rating) clasificación de la masa rocosa.
- GSI (Geological Strength Index) Índice de fuerza geológica.
- Ensayos de carga puntual y ensayo de compresión simple, practicados sobre muestras obtenidas.
- Mediante muestras irregulares y testigos de roca.

En conclusión, en este capítulo se presentarán los trabajos realizados en campo y laboratorio, cuya finalidad es determinar las características geomecánicas del macizo rocoso, requeridas para el diseño de los componentes del proyecto a realizarse.

4.2.3. CLASIFICACION DEL MEDIO ROCOSO.

- **DESIGNACION DE LA CALIDAD DE LA ROCA (RQD).**

Es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso el RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (mas competente) a 0% (menos competente). Hallado con la siguiente formula:

$$\mathbf{RQD = 115 - 3,3 Jv}$$

Jv : Es el número total de discontinuidades por metro cúbico.

Tabla 25: Parámetros valor de RQD.

Descripción del índice de calidad de roca	Valor de RQD
Muy pobre	0 - 25
Pobre	25 - 50
Regular	50 - 75
Buena	75 - 90
excelente	90 - 100

FUENTE: Deere, 1964.

- **VALORACION DEL MEDIO ROCOSO (RMR).**

Para la valoración geomecánica del macizo rocoso, se utilizó la clasificación de Bienawski (RMR - Rock Mass Rating o valoración del medio rocoso (1989).

Tabla 26: Parámetros de valoración según el índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Índice RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	20 - 21	20 - 0
Valoración de Roca	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala

FUENTE: Bieniawski (1989).

- **INDICE Q DE BARTON.**

En esta clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q , para poder hallar el Q de Barton se aplica la siguiente formula:

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

• VALORACION GSI.

El índice de resistencia geológica, GSI, fue desarrollado por Hoek (1995), para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Donde se aplica la siguiente formula:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

4.2.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN GEOMECÁNICA 01.

El resultado de la investigación geomecánica que corresponde a esta estación geomecánica, determinan que la roca es volcánica andesita, cuya clasificación geomecánica de RMR es 58.92 de tipo III, con RQD de 63%. Que es considerado como roca de calidad regular.

Tabla 27: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-01.

Parámetros	Descripción	valor	
1	Resistencia compresión Uniaxial	4	
2	Índice de la calidad de roca RQD (63%)	13	
3	Espaciamiento de discontinuidades (cm)	15	
4	Condición de discontinuidades	Persistencia	2
5		Abertura	5
6		Rugosidad	1
7		Relleno	4
8		Alteración	5
9		Presencia de agua	10
RMR	Roca de regular calidad, tipo III	59	

FUENTE: Elaboración propia.

PARAMEROS		RANGO		VALOR						
RQD %	RQD	63	%	63						
Número de discontinuidades	Jn	4 D		12						
Número de rugosidad	Jr	Lisa		2						
Número de alteración	Ja	ligero		2						
Número de agua subterránea	Jw	seco		1						
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tension elevada		1						
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)				Q = 5.25						
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	REGULAR
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	

Figura 28: Sistema de clasificación Q para la EG-01.

$$Q = \frac{63}{12} + \frac{2}{2} + \frac{1}{1} = 5.25$$

$$RMR = 9Ln(5.25) + 44 = 58.92, \text{ roca de regular calidad}$$

$$De = \frac{2.80}{1.60} = 1.75$$

$$GSI = 54$$

A partir de la evaluación con el sistema Q de Barton, la clasificación geomecánica es de tipo regular con tres sistemas de fracturas principales y una secundaria, el índice de calidad de roca es $Q = 5.25$ que genera fracturamiento en la roca volcánica andesita de la Fm guaneros, que aflora en la mina. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de resistencia (GSI) = 54 el macizo rocoso requiere menor soporte a lo largo del punto de interés evaluado.

4.2.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN GEOMECAÁNICA 02.

El resultado de la investigación geomecánica que corresponde a esta estación geomecánica, determinan que la roca es volcánica andesita, cuya clasificación geomecánica de RMR es 68.17 de tipo II, con RQD de 88%. Que es considerado como roca de calidad buena.

Tabla 28: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-02.

Parámetros	Descripción	valor	
1	Resistencia compresión Uniaxial	4	
2	Índice de la calidad de roca RQD (88%)	17	
3	Espaciamiento de discontinuidades (cm)	15	
4	Condición de discontinuidades	Persistencia	2
5		Abertura	5
6		Rugosidad	1
7		Relleno	6
8		Alteración	3
9		Presencia de agua	15
RMR	Roca de buena calidad, tipo II	68	

FUENTE: Elaboración propia.

PARAMEROS		RANGO			VALOR					
RQD %	RQD	88	%		88					
Número de discontinuidades	Jn	4 D			12					
Número de rugosidad	Jr	Lisa			2					
Número de alteración	Ja	ligero			1					
Número de agua subterránea	Jw	seco			1					
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tension elevada			1					
Q = (RQD/J_n) x (J_r / J_a) x (J_w / SRF)				Q =	14.67					
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	BUENA
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	

Figura 29: Sistema de clasificación Q para la EG-02.

$$Q = \frac{88}{12} + \frac{2}{2} + \frac{1}{1} = 14.67$$

$$RMR = 9Ln(14.67) + 44 = 68.17, \text{ roca de buena calidad}$$

$$De = \frac{2.80}{1.60} = 1.75$$

$$GSI = 63$$

El índice de calidad de roca es Q = 14.67, que corresponde roca de buena calidad, roca volcánica andesita de la Fm guaneros, que aflora en la mina; así mismo el valor RMR es 68.17, según el comportamiento de los parámetros

geomecánicos. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de resistencia GSI = 63 el macizo rocoso no requiere soporte a lo largo del punto de interés evaluado.

4.2.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN GEOMECAÍNICA 03.

Los parámetros geomecánicos de la estación EG-03 que fueron analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso es de regular calidad; valor que se considera que la roca caja requiere sostenimiento puntual en dicha estación.

Tabla 29: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-03.

Parámetros	Descripción	valor	
1	Resistencia compresión Uniaxial	12	
2	Índice de la calidad de roca RQD (74%)	13	
3	Espaciamiento de discontinuidades (cm)	15	
4	Condición de discontinuidades	Persistencia	2
5		Abertura	1
6		Rugosidad	1
7		Relleno	1
8		Alteración	3
9		Presencia de agua	5
RMR	Roca de regular calidad, tipo III	60	

FUENTE: Elaboración propia.

PARAMEROS		RANGO		VALOR						
RQD %	RQD	74	%	74						
Número de discontinuidades	Jn	4 D		12						
Número de rugosidad	Jr	Lisa		2						
Número de alteración	Ja	ligero		2						
Número de agua subterránea	Jw	seco		1						
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tension elevada		1						
Q = (RQD/J_n) x (J_r / J_a) x (J_w / SRF)				Q = 6.17						
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	REGULAR

Figura 30: Sistema de clasificación Q para la EG-03.

$$Q = \frac{74}{12} + \frac{2}{2} + \frac{1}{1} = 6.166$$

$$RMR = 9Ln(6.166) + 44 = 60.377, \text{ roca de regular calidad}$$

$$De = \frac{2.80}{1.60} = 1.75$$

$$GSI = 55$$

El índice de calidad de roca es $Q = 6.166$, que corresponde roca de regular calidad tipo II, roca volcánica andesita de la Fm guaneros, que aflora en la mina; así mismo el valor RMR es 60.377, según el comportamiento de los parámetros geomecánicos. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de resistencia $GSI = 55$ el macizo rocoso requiere menor soporte a lo largo del punto de interés evaluado.

4.2.3.4. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN GEOMECÁNICA 04.

Los parámetros geomecánicos de la estación EG-04 que fueron analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso es de buena calidad; valor que se considera que la roca caja no requiere sostenimiento en dicha estación.

Tabla 30: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-04.

Parámetros	Descripción	valor	
1	Resistencia compresión Uniaxial	12	
2	Índice de la calidad de roca RQD (88%)	17	
3	Espaciamiento de discontinuidades (cm)	15	
4	Condición de discontinuidades	Persistencia	1
5		Abertura	5
6		Rugosidad	3
7		Relleno	6
8		Alteración	3
9		Presencia de agua	15
RMR	Roca de buena calidad, tipo II	77	

FUENTE: Elaboración propia.

PARAMEROS		RANGO			VALOR					
RQD %	RQD	88	%		88					
Número de discontinuidades	Jn	4 D			12					
Número de rugosidad	Jr	ligero			2					
Número de alteración	Ja	ligero			2					
Número de agua subterránea	Jw	seco			1					
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tension elevada			1					
Q = (RQD/J_n) x (J_r / J_a) x (J_w / SRF)				Q =	7.33					
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	REGULAR
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	

Figura 31: Sistema de clasificación Q para la EG-04.

$$Q = \frac{88}{12} + \frac{2}{2} + \frac{1}{1} = 7.33$$

$$RMR = 9Ln(7.33) + 44 = 61.93, \text{ roca de buena calidad}$$

$$De = \frac{2.80}{1.60} = 1.75$$

$$GSI = 72$$

El índice de calidad de roca es Q = 7.33, que corresponde roca de regular calidad, roca volcánica andesita de la Fm guaneros, que aflora en la mina; así mismo el valor RMR es 61.93, según el comportamiento de los parámetros geomecánicos. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de

resistencia GSI = 72 el macizo rocoso no requiere soporte a lo largo del punto de interés evaluado.

4.2.3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN GEOMECÁNICA 05.

Los parámetros geomecánicos de la estación EG-05 que fueron analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso es de buena calidad; valor que se considera que la roca caja no requiere sostenimiento en dicha estación.

Tabla 31: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-05.

Parámetros	Descripción	valor	
1	Resistencia compresión Uniaxial	7	
2	Índice de la calidad de roca RQD (94%)	20	
3	Espaciamiento de discontinuidades (cm)	15	
4	Condición de discontinuidades	Persistencia	2
5		Abertura	5
6		Rugosidad	3
7		Relleno	6
8		Alteración	5
9		Presencia de agua	15
RMR	Roca de buena calidad, tipo II	78	

FUENTE: Elaboración propia.

PARAMEROS		RANGO		VALOR						
RQD %	RQD	88	%	94						
Número de discontinuidades	Jn	3 D		9						
Número de rugosidad	Jr	ligero		2						
Número de alteración	Ja	ligero		2						
Número de agua subterránea	Jw	seco		1						
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tension elevada		1						
Q = (RQD/J_n) x (J_r / J_a) x (J_w / SRF)				Q = 10.44						
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	BUENA
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	

Figura 32: Sistema de clasificación Q para la EG-05.

$$Q = \frac{94}{9} + \frac{2}{2} + \frac{1}{1} = \mathbf{10.44}$$

$$RMR = 9Ln(10.44) + 44 = \mathbf{65.11}, \text{ roca de buena calidad}$$

$$De = \frac{2.80}{1.60} = 1.75$$

$$GSI = 73$$

El índice de calidad de roca es $Q = 10.44$, que corresponde roca de buena calidad, roca volcánica andesita de la Fm guaneros, que aflora en la mina; así mismo el valor RMR es 65.11, según el comportamiento de los parámetros geomecánicos. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de resistencia $GSI = 73$ el macizo rocoso no requiere soporte a lo largo del punto de interés evaluado.

4.2.3.6. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN GEOMECÁNICA 06.

Los parámetros geomecánicos de la estación EG-06 que fueron analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso es de buena calidad; valor que se considera que la roca caja no requiere sostenimiento en dicha estación.

Tabla 32: Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR), EG-06.

Parámetros	Descripción	valor	
1	Resistencia compresión Uniaxial	7	
2	Índice de la calidad de roca RQD (81%)	17	
3	Espaciamiento de discontinuidades (cm)	15	
4	Condición de discontinuidades	Persistencia	2
5		Abertura	5
6		Rugosidad	3
7		Relleno	4
8		Alteración	5
9		Presencia de agua	15
RMR	Roca de buena calidad, tipo II	73	

FUENTE: Elaboración propia.

PARAMEROS		RANGO			VALOR					
RQD %	RQD	81	%		81					
Número de discontinuidades	Jn	4	D		12					
Número de rugosidad	Jr	ligero			2					
Número de alteración	Ja	ligero			2					
Número de agua subterránea	Jw	seco			1					
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	tension elevada			1					
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)				Q =	6.75					
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	REGULAR
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	

Figura 33: Sistema de clasificación Q para la EG-06.

$$Q = \frac{81}{12} + \frac{2}{2} + \frac{1}{1} = 6.75$$

$$RMR = 9Ln(6.75) + 44 = 61.19, \text{ roca de buena calidad}$$

$$De = \frac{2.80}{1.60} = 1.75$$

$$GSI = 68$$

El índice de calidad de roca es $Q = 6.75$, que corresponde roca de regular calidad, roca volcánica andesita de la Fm guaneros, que aflora en la mina; así mismo el valor RMR es 65.11, según el comportamiento de los parámetros

geomecánicos. Considerando el sistema de valoración de índice geológico de resistencia $GSI = 73$ el macizo rocoso no requiere soporte a lo largo del punto de interés evaluado.

4.2.4. ZONIFICACIÓN GEOMECAÁNICA.

La zonificación geomecánica de las labores del nivel 2160 se ha realizado considerando las condiciones estructurales del macizo rocoso (calidad, tipo de roca, discontinuidades, alteración y humedad).

- **Zonificación Cx149N.**

El macizo rocoso del Cx149N está constituida por roca Andesita, con presencia de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos, también presenta minerales como pirita diseminada, óxidos de fierro, epidota.

Según el índice GSI el macizo rocoso tiene una valoración de regular a buena.

Según el RMR el macizo rocoso tiene una valoración de regular a buena.

- **Zonificación Cx705N.**

El macizo rocoso del Cx705N está constituida por roca Andesita, con presencia de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos y minerales como óxidos de fierro, pirita, sericita.

Según el índice GSI el macizo rocoso tiene una valoración buena.

Según el RMR el macizo rocoso tiene una valoración de buena.

- **Zonificación G1578N.**

El macizo rocoso de la Galeria está constituida por roca Andesita, con presencia de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos y minerales como clorita, pirita, sericita, epidota, óxidos de fierro.

Según el índice GSI el macizo rocoso tiene una valoración buena.

Según el RMR el macizo rocoso tiene una valoración de buena.

- **Zonificación GI512S.**

El macizo rocoso del Crucero está constituida por roca Andesita, con presencia de alteración propilitica débil, silicificación débil en tramos y minerales como piritita, clorita, óxidos de fierro.

Según el índice GSI el macizo rocoso tiene una valoración buena.

Según el RMR el macizo rocoso tiene una valoración de buena.

4.2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Para determinar las propiedades geomecánicas de las muestras extraídas se realizaron ensayos de carga puntual y compresión simple.

Tabla 33: Resultados del ensayo de carga puntual (Irregular).

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL										
ID	W (mm)	D (mm)	De2 (mm)	Carga Aplicada (N)	Tipo de prueba	F	Is (50) (MPa)	UCS (MPa)	Tipo de Rotura	Observación
1	11.10	5.10	72.08	98.00	Irregular	1.179	1.60	38.47	Matriz	Roca medianamente dura
2	9.60	4.80	58.67	110.00	Irregular	1.075	2.01	48.35	Matriz	Roca medianamente dura
3	10.50	4.45	59.49	235.00	Irregular	1.081	4.27	102.52	matriz	Roca muy dura
4	8.72	5.40	59.95	241.00	Irregular	1.085	4.36	104.69	matriz	Roca muy dura
5	8.46	5.20	56.01	156.00	Irregular	1.052	2.93	70.35	Matriz	Roca dura
6	7.50	5.90	56.34	177.00	Irregular	1.055	3.32	79.56	Matriz	Roca dura

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 34: Resultados del ensayo de compresión simple.

ID	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Relación L/D	Carga (Kg-f)	UCS (MPa)	Tipo de Rotura	Observaciones
UCS-01	4.97	10.15	19.40	2.0	8760.0	44.28	matriz	Roca medianamente dura
UCS-02	4.96	10.21	19.32	2.1	9590.0	48.67	matriz	Roca medianamente dura
UCS-03	4.98	10.07	19.48	2.0	20590.0	103.66	matriz	Roca muy dura
UCS-04	4.95	10.08	19.24	2.0	23590.0	120.21	matriz	Roca muy dura
UCS-05	4.92	10.00	19.01	2.0	17590.0	90.73	matriz	Roca dura
UCS-06	4.94	10.19	19.17	2.1	17680.0	90.46	Matriz	Roca dura

FUENTE: Elaboración propia.

Los ensayos de laboratorio se adjuntan en el anexo C.

4.2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la revisión de la estabilidad de las labores estudiadas, se ha realizado la evaluación geomecánica de los macizos rocosos (orientación, espaciamiento entre discontinuidades, persistencia y otros aspectos relevantes), se han identificado las familias de discontinuidades, donde las estaciones geomecánicas dan un RQD entre 63 – 94 que da un valor de regular a buena, también se ha evaluado el macizo rocoso con un RMR de 59 – 68 que nos dice que la valoración de la matriz rocosa va de regular a buena, como también el índice de Q que nos indica un tipo de macizo rocoso $Q = 5.25 - 14.67$ que es definido de medio a bueno, y así mismo el índice de esfuerzo geológico $GSI = 54 - 73$.

En la tabla 35 se observa los resultados obtenidos en donde el RQD va de regular a buena y el índice de Q donde nos muestra la valoración del macizo rocoso.

Tabla 35: Resultados obtenidos de RQD e índice de Q en campo.

Estación Geomecánica	RQD	Q	Litología
EG-01	63	5.25	Andesita
EG-02	88	14.67	Andesita
EG-03	74	6.17	Andesita
EG-04	88	7.3	Andesita
EG-05	94	10.44	Andesita
EG-06	81	6.75	Andesita

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 36: Resultados obtenidos de RMR y GSI en campo.

Estación Geomecánica	RMR	$GSI = RMR_{89} - 5$	Litología	Valoración de Roca
EG-01	59	54	Andesita	Regular
EG-02	68	63	Andesita	Buena
EG-03	60	55	Andesita	Regular
EG-04	61	72	Andesita	Buena
EG-05	65	73	Andesita	Buena
EG-06	61	68	Andesita	Buena

FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla 36 se observa los resultados obtenidos gracias al RMR y GSI donde nos muestra que el macizo rocoso da como resultados una valoración de regular a buena.

El análisis de estabilidad de las labores del nivel 2160 estudiadas, depende únicamente del comportamiento de los parámetros geomecánicos, que han sido identificados y evaluados durante el mapeo lineal a detalle, que en la mayoría de los casos corresponde a roca tipo II de buena calidad, la intersección

de más de dos sistemas de discontinuidades genera la deformabilidad de la roca encajonante y generan la inestabilidad en la matriz rocosa.

El análisis de la calidad de la roca andesita, el GSI y la resistencia Uniaxial, datos que se obtienen directamente dentro de las labores estudiadas utilizando el golpe del martillo del geólogo a la matriz rocosa, que fueron corroboradas con los resultados de las muestras enviadas al laboratorio; al igual que el registro lineal y el mapeo de discontinuidades nos permitió determinar el comportamiento geomecánico de la excavación subterránea, resultados que son analizadas con las tablas comparativas propuestas por Bieniawski y Barton en la etapa final de la evaluación.

Así mismo con los resultados de laboratorio, se determinó las propiedades geomecánicas de las muestras extraídas que se realizaron ensayos de carga puntual donde los valores en MPa van de 38.47 a 104.69 y compresión simple donde los valores en MPa van de 44.28 a 120.21, dando una valoración de la roca de regular a buena.

V. CONCLUSIONES

- En el proyecto minero Viboras III se evaluó las características geológicas donde se ha caracterizado la litología encontrando regionalmente dos unidades que son: Fm Guaneros (Js-gu) y complejo Bella Unión (Ks-an), que son rocas andesitas el primero porfirítico y este último de grano fino a medio, y geomecánicamente el macizo rocoso se encuentra diaclasado en diferentes direcciones, donde la mineralización se encuentra con una dirección NW – SE con buzamientos de 60 a 85. Se concluye que en las estaciones geomecánicas estudiadas solo se presenta la andesita de la Formación Guaneras (Js-gu) que son andesitas porfíricas, emplazadas por estructuras mineralizadas de cuarzo, óxidos de hierro con silicificación débil en tramos y moderada, óxidos de hierro.
- El comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el nivel 2160 del proyecto minero Viboras III de las seis estaciones geomecánicas, analizados y evaluados, determinan que el macizo rocoso presenta un RQD de 63 - 94 %, es de calidad regular a buena, con valores RMR de 59 - 68 que es de tipo II - III, con un índice Q Barton de 5.25 a 14.67, cuyos, índice geológica de resistencia GSI = 54 a 73 unidades, indica que la roca es regular a buena calidad.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mapeos geológicos y geomecánicos detallado a medida que se desarrollen las labores mineras, para poder identificar posibles cambios litológicos en nuevos proyectos (avance).
- Realizar un modelamiento geomecánico, para poder apreciar el comportamiento del sistema de discontinuidades principales.
- Realizar análisis Dinámico y análisis por el método grafico en posteriores investigaciones para corroborar la investigación.

VII. REFERENCIAS

- **Arellano, J., (2014).** Estudio Geotécnico para la Construcción de la Presa Tinkiccocha, Apurímac (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **Arestizabal, J. (2010).** Sismo del 27 de febrero 2010: hábitat en edificios del ciudadano de clase media en la ciudad de Santiago. Seminario de investigación de arquitectura. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- **Alvarez, O., y Guzmán, P., (1980).** Geología del Complejo Chuquicamata. Minera de Cobres Pórfidos. Congreso Cincuentenario. Instituto de Ingenieros de Mina de Chile, Santiago. 314-363 pp.
- **Balarezo, A., (2018).** “Caracterización geomecánica para el diseño de bancos de explotación en la concesión minera loma de oro, el chicche, otuzco (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- **Barton, N., Lien, R. & Lunde, J., (1974).** Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, Vol. 6 N°4, 189-23 pp.
- **Bieniawski, Z. T. (1989).** Geomechanic classification of rock masses and its application to tunneling. Canada.
- **Bieniawski, Z., (1984).** Rock Mechanics Design in Mining and Tunelling, A.A. Balkema, Rotterdam, 1984, p. 97 – 133.
- **Brown, E., (1981).** Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press.

- **Bruner F. (1956).** Observaciones sobre la Geología de los Yacimientos Auríferos “Santa Rosa” de la Tercera Convención de Ingenieros de Minas. Tomo II
- **Cabrera L. J., (2005).** Estudio de estabilidad de taludes del tajo Suro Sur y Suro Norte “mina la Virgen”, (tesis pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **Caine, J., Evans, J. & Forster, C., (1996).** Fault Zone Architecture and Permeability Structure. *Geology*, November 1996, V. 24, N° 11, 1025-1028 pp.
- **Cartaya, M., (2003).** Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país (artículo científico). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Holguín, Cuba.
- **Castillo J., Alva J., (1993).** peligro sísmico en el Perú.
- **Cayllahua, P., (2018).** Diseño de malla de perforación en la galería 060 sw, considerando la evaluación geomecánica en la unidad operativa las águilas – ciemsa (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **Ccallo, Y., (2016).** Caracterización geomecánica y mineralización en la veta buenos aires andaray – condesuyo – Arequipa (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **Chara, J., (2017).** Geología económica del yacimiento minero aurífero Mina Orión, chala – Arequipa (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **Cruzado, P., (2017).** Evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica potrero - san marcos – Cajamarca (tesis de pregrado). universidad nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

- **Deere (1964).** Technical description of rock core for engineering purposes. USA.
- **Derk S.A., (2005).** Informe final: Servicio de Caracterización Geotécnica Rampa de Exploración y Rampa de Drenaje. Mina Chuquicamata. Informe Inédito. Dirección de Geotecnia, Codelco Norte.
- **Fernandez C., (2018).** Geología y caracterización geomecánica en la veta sangre de toro I y II en la empresa minera la Soledad – Chalhuane S.A.C. Condesuyos – Arequipa (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú
- **Fernandez, J., (2014).** Estudio geológico, mineralógico; cubicación de reservas, interpretación y comportamiento de la veta tico mina calpa – atico – caraveli - Arequipa (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- **Flores G. y Karzulovic L., (2003).** Guías geotécnicas para una transición desde rajo abierto a minería subterránea. Santiago de Chile: división Chuquicamata de Codelco.
- **Flores, G., y Karzulovic, A., (2004).** Guías Geotécnicas para una Transición desde Rajo Abierto a Minería Subterránea. Caracterización Geotécnica. Tarea Taller ICS-II. Informe Inédito. Dirección de Geotecnia, Codelco Chile División Codelco Norte.
- **Galarza O., (1967).** Estudio zonal de la Mina Calpa. Bol. Soc. Geol Perú. Tomo 40 (p. 73 - 90)
- **Guamán, V. y Mendieta F., (2013).** Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción “las victorias” (tesina pregrado). universidad de cuenca, Cuenca, Ecuador.

- **Gonzales de vallejo L.; Ferrer M.; Ortuño L., y Oteo., (2002).** Ingeniería geológica. Madrid. España.
- **Hoek, E. and Brown, E., (1980).** Underground Excavations in Rock. London: Institution of Mining and Metallurgy, 527 P.
- **Hoek, E. & Brown, E.T., (1997).** Practical Estimates of Rock Mass Strength. *Inte. J. Rock Mechanic Min. Sci.* 34(8). 1165-1186 pp.
- **Hoek, E., Marinos, P. & Marinos V., (1995).** The Geological Strength Index (GSI): A characterization tool for assessing engineering properties of rock masses. 13-21 pp.
- **Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Enrique O., (1980).** Boletín N°34, Serie A. Carta Geológica Nacional. Geología de los Cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, lima-Perú.
- **Laubscher, D., (1990).** A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design. *J., S. Afr. Inst. Min. Metall.* Vol. 90 N° 10, 257-273 pp.
- **Legget F. R. y Karrow F. P., (1986).** Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Traductor: Mario Aguilera Delfín; Julio Fournier Gonzales; Fernando Fournier Montiel. Tercera edición. Editorial México, 610 p.
- **Lillo j. y Oyarzun R., (2013).** Geología Estructural Aplicada a la Minería Exploración Minera, Principios Básicos, España.
- **Lopez, C. y Lopez, E., (2003).** Manual de Perforación y Voladuras en Roca, IGME, España, 541 pp.
- **Madariaga, J. M., (2015).** Laboratorio Oficial, guía sobre control Geotécnico en Minería Subterránea, Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, España.

- **Poblete, J., (2008).** Determinación experimental de la intensidad de Mercalli modificada para Chile (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- **Ramirez O. y Monge A., (2007).** Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes. Universidad politécnica de Madrid, España.
- **Romero, C., (2018).** Geología y Estabilidad de Taludes en la Mina 2-3-4 Shougang, San Juan de Marcona (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **SNMPE. (2004).** Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. Manual de Geomecánica Aplicada a la Prevención de Accidentes por Caídas de Rocas en Minería Subterránea. Lima. Perú
- **Sosa, J., (2016).** Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera milpo (tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco, Perú.
- **Toledo, M., (2017).** geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento en la unidad minera pallca de la compañía minera santa luisa s.a.- 2017 (tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.
- **Torres, S., (2014).** Evaluación geológica y geotécnica de la rampa oeste del proyecto minero Titan – Rinconada (tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- **Tupa, P., (2017).** Evaluación Geológica – Geotécnica para la Estabilidad de Taludes en la Carretera Muñani – Saytococho Tramo KM. 14+700 al 30+00, Puno. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

WEBGRAFIA

- <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=condiciones-climaticas>
- <http://www.ingemmet.gob.pe/>
- <https://es.calameo.com/read/000820129064e6ca61e15>

ANEXOS