

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



TESIS

**Caracterización geotécnica del macizo rocoso con sondajes
diamantinos –Proyecto Capilla
Para optar el título profesional de
Ingeniero Geólogo**

Presentado por:

Autor: Bach. Browning Fausto HUAMALI NAJERA

Asesor: Mg. Vidal Victor CALCINA COLQUI

Cerro de Pasco - Perú - 2019

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



TESIS

**Caracterización geotécnica del macizo rocoso con sondajes
diamantinos –Proyecto Capilla**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Arturo LAZO PAGÁN

PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO

MIEMBRO

Ing. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO

MIEMBRO

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo
a mi madre por su apoyo
incondicional

AGRADECIMIENTOS

Es preciso y oportuno dar mis sinceros agradecimientos a mi familia que apoyaron para realizar este trabajo y que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente en todo el proceso de mi carrera profesional que fue el fruto de un intenso laboreo y perseverancia. Asimismo, mi agradecimiento a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Geología por sus comentarios al realizar este trabajo.

De una forma especial a los representantes de la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. COMARSA por permitirme realizar el presente estudio.

RESÚMEN

La presente tesis intitulada “**CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL MACIZO ROCOSO CON SONDAJES DIAMANTINOS – PROYECTO CAPILLA**” está dividida en cuatro capítulos los que han sido desarrollados con el permiso y autorización de la empresa.

En el capítulo I se considera el planteamiento del problema donde se incluye delimitación de la investigación, formulación del problema, importancia y alcances de la investigación y las limitaciones.

En el capítulo II se presenta el marco teórico y conceptual en esta parte se considera los antecedentes del estudio, las bases teóricas científicas, definición de términos, hipótesis y por último la identificación de las variables.

En el capítulo III se considera la metodología y técnicas de la investigación es decir se presenta el tipo de investigación, diseño de la investigación, la población y muestra el método de investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos y el tratamiento estadístico de los datos.

En el capítulo IV se presentan los resultados y discusión dentro de ello tenemos el tratamiento estadístico e interpretación de cuadros, presentación de resultados, prueba de hipótesis y discusión de resultados.

Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones más importantes arribados en el desarrollo de la presente investigación, seguido de la bibliografía y anexos.

Palabras Claves: Geotécnia, sondaje, persistencia, resistencia, discontinuidades, sostenimiento, esfuerzo, logueo, alteración.

ABSTRACT

This thesis entitled " **CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO CON SONDAJES DIAMANTINOS – PROYECTO CAPILLA** " is divided into four chapters which have been developed with the permission and authorization of the company.

In chapter I considers the problem statement, which includes, research delimitation, problem formulation, importance and scope of the research and limitations.

In chapter II the theoretical and conceptual framework is presented in this part, the study background, the theoretical scientific basis, definition of terms, hypotheses and finally the identification of the variables are considered

In chapter III considers the research methodology and techniques, that is the type of research, research design, the population is presented and shows the research method, techniques and instruments for data collection, processing techniques and analysis of data and the statistical treatment of the data.

In chapter IV the results and discussion are presented within it we have the statistical treatment and interpretation of tables, presentation of results, hypothesis test and discussion of results.

Finally, the most important conclusions and recommendations arrived in the development of the present investigation are presented, followed by the bibliography and annexes.

Keywords: Geotechnics, probing, persistence, resistance, discontinuity, sustenance, effort, login, disturbance

INTRODUCCIÓN

Dentro del desarrollo minero, tanto de nuevos yacimientos, como de expansiones mineras, se requiere perforar enormes cantidades de sondajes diamantinos para la recuperación de cores, con el propósito de evaluar geológicamente y geotécnicamente el macizo rocoso. Generalmente dentro de estas campañas, el objetivo primordial es el de determinar los recursos mineros disponibles, que serán finalmente el objetivo de la evaluación geológica-económica. Posteriormente se adicionan en forma más selectiva sondajes geotécnicos, destinados a reconocer los sectores no mineralizados, que se encuentran en el entorno del yacimiento, y que corresponderán a las rocas que conformarán los taludes mineros, o las rocas de caja de los tajeos mineros.

Con el propósito de aprovechar al máximo esta gran cantidad de información a través de sondajes diamantinos, y considerando un pequeño lapso de tiempo para el mapeo de ellos, los que serán cortados por la mitad para su análisis químico, quedando sólo almacenados en el core shack las mitades de ellos, por lo tanto es imprescindible realizar la caracterización geotécnica de estos sondajes, la cual va de la mano con la caracterización geológica de los cores recuperados en el sondaje.

Para ello se deben considerar algunos parámetros adicionales a los comúnmente utilizados, que permiten caracterizar de mejor forma los macizos rocosos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESÚMEN	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN	V
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Determinación del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problema específicos	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Justificación del problema.....	2
1.5. Importancia y alcances de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de estudio	4
2.2. Bases Teóricas – Científicas.....	4
2.2.1 Caracterización Geológica.....	4
2.2.2. Caracterización Geotécnica	17

2.2.3. Zonificación Geotécnica	25
2.2.4. Propiedades geomecánicas del macizo rocoso	25
2.2.5 Discontinuidades.....	27
2.2.6. Clasificación del macizo rocoso	28
2.2.7. Características De La Metodología	39
2.3. Definición de términos	40
2.4. Formulación de hipótesis.....	43
2.5. Identificación de las variables	43
2.5.1 Variables Independientes	43
2.5.2 Variables Dependientes	43
2.5.3 Variables Intervinientes	43
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	43
CAPÍTULO III.....	45
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.1. Tipo de investigación	45
3.2. Diseño de investigación.....	45
3.3. Población y muestra	46
3.4. Métodos de la investigación	46
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	47
3.7. Tratamiento estadístico.....	47
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	47
3.9. Orientación Ética	48
CAPÍTULO IV.....	49
RESULTADOS Y DISCUSION	49
4.1. Descripción del trabajo de campo	49

4.1.1. Ubicación y accesibilidad	49
4.1.2. Fisiografía y clima	51
4.1.3. Geología local	52
4.1.4. Estratigrafía regional	52
4.1.5. Rocas intrusivas	54
4.1.6. Génesis y paragénesis del yacimiento	55
4.1.7. Mineralización	56
4.1.8. Alteración	58
4.1.9. Mineralización	59
4.1.10. Fallas	59
4.1.11. ALTERACIÓN	60
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	60
4.2.1 Perforación diamantina	60
4.2.2 Litología	61
4.2.3. Caracterización geomecánica de rocas	61
4.3. Prueba de hipótesis	66
4.3.1 Clasificación geomecánica del macizo rocoso	66
4.4 Discusión de resultados	69
4.4.1. Mapeo geológico detalle tajo capilla	69
4.4.2. Tipo de sostenimiento	71
CONCLUSIONES	1
RECOMENDACIONES	3
BIBLIOGRAFÍA	4
ANEXOS	5

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

Con el propósito de aprovechar al máximo esta gran cantidad de información a través de sondajes diamantinos, y considerando un pequeño lapso de tiempo para el mapeo de ellos, los que serán cortados por la mitad para su análisis químico, quedando sólo almacenados en el core shack las mitades de ellos, por lo tanto, es imprescindible realizar la caracterización geotécnica de estos sondajes, la cual va de la mano con la caracterización geológica de los cores recuperados en el sondaje.

Para ello se deben considerar algunos parámetros adicionales a los comúnmente utilizados, que permiten caracterizar de mejor forma los macizos rocosos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Los sondajes diamantinos determinan la caracterización geotécnica del macizo rocoso en el Proyecto Capilla?

1.2.2. Problema específicos

- ¿Cuál es la característica geotécnica del macizo rocoso en el proyecto Capilla?
- ¿Cómo será el comportamiento geotécnico del macizo rocoso en el Proyecto Capilla?

1.3. Formulación de objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar con los sondajes diamantinos los parámetros geotécnicos del macizo rocoso en el Proyecto Capilla.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar e interpretar las características geotécnicas del macizo rocoso en el Proyecto Capilla.
- Definir el comportamiento geotécnico del Proyecto Capilla.

1.4. Justificación del problema

La investigación se justifica porque los trabajos en perforaciones diamantinas a través exploraciones geológicas generalmente son costosos, por ello es importante aprovechar los datos geotécnicos de los macizos rocosos; así mismo servirá como un aporte a las ciencias geológicas y por ende a los inversionistas nacionales o extranjeros.

1.5. Importancia y alcances de la investigación

El presente estudio es importante porque nos ayudará a determinar las características geotécnicas del macizo rocoso y de las principales estructuras mineralizadas, obteniéndose información para determinar el tipo de explotación a utilizarse.

1.6. Limitaciones de la investigación

El problema principal será el tiempo-presupuesto, ya que generalmente los cores son destinados a los estudios de carácter geológicos; es por ello que después de realizar el corte para análisis químicos los cores dejan de ser útiles desde el punto de vista geotécnico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

En la tesis Evaluación geológica y estimación de recursos mineros del proyecto Patibal Santiago de Chuco - La Libertad de Pérez Ortiz, enfoca la geología del yacimiento.

Además, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, realiza diferentes proyectos de investigaciones en el área de estudio y en todo el territorio peruano, utilizando diferentes métodos.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1 Caracterización Geológica

La caracterización geológica debe permitir no solo definir la geometría del subsuelo y la relación con los contactos entre los diversos tipos de roca, sino también permitir una definición de los distintos tipos de unidades geotécnicas

básicas que aparecen en el área de interés, con la finalidad de tener en detalle la geología de la zona.

2.2.1.1 Modelo Geológico

El modelo geológico para una obra subterránea se inicia con el levantamiento geológico a una escala que permita resaltar los dominios estructurales y litológicos, describiendo los parámetros más importantes para diseño, la descripción geológica debe tener detalles cuantitativos y cualitativos de la roca y la estructura, ayudado por el mapeo en campo, sondajes.

Evaluación de las propiedades físico mecánicas de las rocas, sobre la base teórica definida por Hooke, y el criterio de ruptura de Mohr-Coulomb, la geomecánica establece parámetros para calificar las propiedades de resistencia y deformación de las rocas:

- Módulo de Young
- Módulo de Poisson
- Cohesión
- Índice de Fricción
- Resistencia a la Compresión
- Resistencia a la Tracción

**** Evaluación de las Propiedades Geológico Ingenieriles de las Rocas***

Las propiedades geológicas requeridas para caracterizar el macizo rocoso, debe tener en cuenta la composición heterogénea de la roca producto de su génesis y procesos naturales que la han

afectado; esta caracterización geológica consiste en definir:

- Los distintos tipos de roca presentes en el área investigada y su distribución espacial; esta evaluación es a nivel de fragmento rocoso.
- La magnitud y orientación de las discontinuidades, la alteración, las aguas subterráneas y los efectos geodinámicos.
- Es muy importante el amplio conocimiento de la geología para la realización de la geomecánica; ya que esta es la base para los estudios previos y la toma de decisiones.

**** Descripción Litológica***

Para fines científicos, las rocas se pueden describir en términos de la composición, textura química y origen mineral. La clasificación de las rocas según su origen conduce a los grupos ya bien conocidos: rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Esta clasificación científica es más adecuada para los fines de la geología, pero no ha dado resultados satisfactorios cuando el principal objetivo es conocer la resistencia mecánica de la roca a partir de la clasificación y descripción. Las descripciones geológicas no consideran el estado de meteorización de las rocas; de hecho, es difícil determinar la mineralogía y la química de rocas muy meteorizadas.

El primer requerimiento para fines geomecánicos es un informe sobre la resistencia y comportamiento mecánico

del macizo rocoso, el verdadero nombre geológico de la roca no tiene gran importancia, pero se permite en las descripciones Geomecánicas porque la composición química y mineralógica de la roca determina su comportamiento frente a la meteorización bajo diferentes condiciones climáticas. El macizo rocoso se describe en términos de índices. Algunos de éstos son puramente descriptivos, por ejemplo, el color, la textura, el estado de alteración, etc.; los demás se miden in situ o mediante pruebas de laboratorio, por ejemplo: la porosidad, resistencia, densidad relativa, o se basan en las características a gran escala dentro de la masa rocosa como son el fracturamiento, clivaje, planos de debilidad, así como los planos de estratificación en las rocas sedimentarias.

Para la geomecánica, la descripción se divide en dos partes: descripción de la roca intacta y descripción del macizo rocoso.

****Descripción de la Roca Intacta***

La roca es una mezcla de ciertas especies minerales, formada por la naturaleza. En una roca dura estos minerales están firmemente unidos; las formas y orientación (determinada o irregular), establecen la resistencia o consistencia de la roca. La roca fragmentada, no consolidada, está constituida también por distintos minerales, principalmente variedades de minerales arcillosos, hidróxidos de hierro y cantidades variables de minerales originales parcialmente fragmentados. Algunos son muy resistentes a la desintegración en determinados climas, otros se desintegran con

relativa facilidad. La masa total rocosa es una mezcla de minerales originales (primarios) no descompuestos y minerales secundarios producidos por los procesos químicos de descomposición o alteración.

***Índices de la Roca Intacta**

Para la una buena evaluación Geomecánica se debe evaluar los siguientes índices: color, raya, crucero, fractura, tenacidad, forma cristalina, brillo, peso específico, diafanidad, tamaño del grano, textura, factor de textura, estructura, dureza, grado de alteración, resistencia, durabilidad, porosidad, relación de poros, permeabilidad primaria y secundaria, entre otros.

Color: Consiste de tres componentes: matiz, intensidad y valor, es lo generalmente conocido (por ejemplo, rojo), intensidad es el calificador (por ejemplo, rojizo), agregado al matiz y el valor es un parámetro muy amplio (claro u oscuro). La siguiente tabla señala los términos empleados.

Tabla 1
Color de la roca. (Tomado de “The description of rock masses for engineering purposes” (Anon., 1977))

Matiz	Intensidad	Valor
Rosa	Rosado	Claro
Rojo	Rojizo	
Amarillo	Amarillento	Oscuro
Café	Marrón	
Verde olivo	Verde olivo	
Verde	Verdoso	
Azul	Azulado	

Blanco	Grisáceo
Gris	
Negro	

Dimensiones del grano: Es el mismo concepto que se utiliza en la descripción de suelos y otros materiales no consolidados. El método empleado para la clasificación de tamaños se basa en una serie de mallas o cribas estándar, pero para poder describir la roca sólida, ésta se debe cortar en secciones delgadas y transparentes para examinarlos bajo la luz de los microscopios utilizados en Petrología. Es muy difícil obtener las dimensiones de un grano a partir de una sección delgada, porque al cortar dicha sección se puede haber cortado una parte del cristal y, por lo tanto, éste no aparece completo en la sección. Las secciones transversales de alargados no muestran su longitud real. Se utilizan métodos estadísticos para medir el tamaño del grano de rocas en secciones delgadas. Los cristales mayores de 60µm de tamaño se pueden ver sin la ayuda del microscopio. La roca que contiene granos menores que este tamaño se clasifica de grano fino. Algunas rocas están compuestas claramente por minerales de dos tamaños diferentes de grano. Dichas rocas se denominan porfíricas. La tabla siguiente explica los tamaños de grano estándar.

Tabla 2
Tamaño del grano. (Tomado de "The description of rock masses for engineering purposes (Anon., 1977))

Término	Tamaño del grano	Grado equivalente de suelos
Grano muy grueso	>60mm	bloques y cantos rodados
Grano grueso	2 a 60 mm	Grava

Grano medio	60 μm a 2 mm	Arena
Grano fino	2 a 60 μm	Limo
Grano muy fino	< 2 μm	Arcilla

Textura: La textura se refiere a los granos individuales de minerales, su tamaño, forma y grado de cristalización.

Cristalina, cripto-cristalina, granular (como el azúcar), amorfa (no tiene forma definida) y vítrea.

Factor de textura: Es la relación entre los granos, la manera como están distribuidos dentro de la roca. En algunas rocas los minerales están orientados en forma irregular, pero en las metamórficas los cristales planos o alargados presentan un arreglo con orientación paralela (pizarras y esquistos).

Minerales con orientación variable, esquistosidad orientación paralela). La orientación de los cristales o granos se puede determinar mediante la identificación y medición de las posiciones de los ejes cristalográficos con la ayuda de un microscopio petrológico. El procedimiento requiere de mucho tiempo por lo que es poco frecuente su empleo en geotecnia. No obstante, la orientación de los minerales es un factor determinante de la consistencia de la roca. Los granos de minerales con orientación irregular hacen que la roca tenga una consistencia o resistencia isotópica se debe a la orientación regular de los minerales planos o alargados o exfoliación.

Estructura: Se refiere a una escala mayor de rasgos de las rocas, por ejemplo, algunas tienen la misma apariencia en toda la masa rocosa (son

homogéneas), otras poseen capas de diferente composición mineral, lo que da a la roca un aspecto bandeado, lo cual se denomina exfoliación.

Meteorización: La descomposición de las rocas que contienen hierro produce minerales secundarios de color rojo, amarillo o café, cuya presencia en una roca indica su estado de meteorización. Las rocas meteorizadas tienen menor resistencia mecánica que las nuevas. Los últimos 10m de roca del terreno, presentan normalmente diversos estados de meteorización, disminuyendo en intensidad hacia abajo, generalmente, pero no siempre. Puede haber nódulos de roca altamente meteorizada, circundada por roca ligeramente meteorizada. Los macizos rocosos de granito caolinizado a menudo presentan esta estructura irregular de meteorización. La tabla siguiente define el esquema de clasificación de meteorización. Alteración es el término que se utiliza para describir cambios mineralógicos definitivos causados por la meteorización, por ejemplo: la transformación del feldespato en minerales arcillosos como la caolinita.

Resistencia: Es importante distinguir entre la resistencia de un fragmento y la de la masa total de la roca, la cual está determinada principalmente por la frecuencia y orientación de las discontinuidades. La resistencia se mide mediante pruebas in situ y de laboratorio. Las pruebas comunes son: resistencia a la compresión no confinada, de carga de punto, Schmidt de rebote y del cono dentado. En la tabla 3 se presenta una clasificación de la resistencia del material rocoso. Nótese que la orientación de los minerales hace que varíe la resistencia con la dirección de la medición, por lo que la roca se describe como anisotrópica. Las rocas con grano bien definido,

como las vetas de minerales, se pueden romper con mayor facilidad a lo largo de los granos minerales que transversalmente a los mismos. Esta propiedad se llama clivaje.

Las resistencias al corte de las muestras se obtienen por medios del ensayo de corte directo la muestra se coloca en una caja estándar para medir el corte que se emplea para pruebas de suelos. También se puede medir la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de planos de discontinuidades.

Table 3
Clasificación de Meteorización. (Según British Standards Code of Practice for Site Investigation, BS 5930: 1981)

Término	Descripción	Grado
Fresco	No aparecen signos de meteorización.	I
Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso esta decolorado por meteorización.	II
Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada como una estructura continua o como núcleos aislados.	III
Altamente meteorizada	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.	IV
Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado el suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.	V
Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.	VI

Índices determinados mediante pruebas: Que requieren poca o nula preparación de la muestra:

Dureza o Resistencia: Se mide por el grado de rebote de un martillo de geólogo en una superficie de la roca. Además, se puede utilizar el martillo de Schmidt y con el rebote del martillo se puede correlacionar con la resistencia a la compresión uniaxial cuando se toma en cuenta la densidad en seco.

Table 4

Resistencia de la roca para el martillo del geólogo. (Tomada de “The descripción of rock masses for engineering”, (Anon., 1977))

Resistencia a la Compresión no confinada	(MPa)	Estimación de la Dureza en el Campo
Muy resistente	> 100	Roca muy dura, requiere más de un golpe con martillo para romper el espécimen.
Resistente	50 a 100	Roca dura, se puede romper una muestra de mano con un solo golpe del martillo.
Moderadamente resistente	12.5 a 50	Roca suave, se hacen agujeros de 5mm con el extremo afilado de un martillo
Moderadamente débil	5.0 a 12.5	Roca demasiado dura para cortarla con a mano para lograr un espécimen triaxial.
Débil	1.25 a 5.0	Roca muy suave, el material se desmenuza bajo los golpes del martillo.
Muy débil	0.60 a 1.25	Frágil o tenaz, se rompe en la mano con dificultad.
Muy compacta	0.30 a 0.60	El suelo puede marcar con la uña
Compacta	0.15 a 0.30	No se puede molde moldear el suelo con los dedos

Firme	0.08 a 0.15	El suelo se puede moldear sólo mediante fuerte presión de los dedos.
Suave	0.04 a 0.08	El suelo se moldea fácilmente con los dedos.
Muy suave	< 0.04	El suelo se escurre entre los dedos cuando se presiona con la mano.

La resistencia a la compresión para los suelos mencionados arriba son el doble de la resistencia al cortante no confinada.

Durabilidad: La prueba de duración mide la resistencia de la roca al debilitamiento y desintegración cuando se sumerge en agua.

Porosidad: Esta se define como el porcentaje de espacio vacíos de una roca: (volumen de espacio/volumen total) x 100

$$N = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

Relación de poros: Se define como la relación

(volumen de los poros/volumen de sólidos) x 100.

$$E = \frac{V_v}{V_s} \times 100.$$

Densidad: La densidad del material rocoso se define como la masa por unidad de volumen, g/cm³ o kg/m³. Depende de la densidad relativa, también llama peso específico relativo, de los diferentes constituyentes minerales de la roca del suelo. El material no consolidado como arena, limo, arcilla, etc., consiste principalmente de cuarzo (p.e. es 2.65), arcilla (aproximadamente 2.70), mica (2.80 a 3.20) y óxidos o hidróxidos de hierro

(3.60 a 4.0), así como de los poros del material, llenos con aire, agua o ambos. Se utilizan las siguientes densidades:

1. La densidad del mineral sólido, su masa por unidad de volumen.
2. Densidad seca. Los poros de la masa de los sólidos están ocupados sólo por aire, por unidad de volumen.
3. Densidad saturada. La masa del material con los poros llenos de agua, por unidad de volumen.
4. Densidad volumétrica. Esta es la masa por unidad de volumen para el caso general, cuando los poros están llenos parcialmente con aire y parcialmente con agua. Para esta especificación el contenido de humedad (agua) de la muestra también se debe medir y registrar.
5. Densidad mínima y máxima de gravas y arenas. La magnitud mínima de densidad se encuentra introduciendo una cantidad conocida de material mediante un embudo a un cilindro de medición para encontrar el volumen que ocupa en su estado más suelto. La máxima densidad se obtiene introduciendo la misma muestra por etapas en el cilindro, cada una seguida por compactación con un martillo o ariete, por etapas en el cilindro, cada una seguida por compactación con un martillo o ariete, de acuerdo con un procedimiento específico.

El peso específico: relativo en seco aparente de una roca se encuentra de la siguiente manera: un espécimen se seca al horno y se pesa, se cubre con parafina, luego se sumerge en agua y se mide la cantidad de ésta que es desplazada, lo cual da el volumen. El peso y la densidad de la cera utilizada se toman en cuenta para el cálculo del volumen real de la muestra.

Velocidad del sonido: Esta es una medición de la velocidad del sonido en las rocas. Se puede hacer en el laboratorio mediante un ultrasónico, acoplado al espécimen mediante conductores para transmitir el sonido hacia adentro y afuera de la roca, de formas rectangular o cilíndrica, con extremos planos para lograr un buen contacto del sonido. La velocidad de éste a través de una roca depende primordialmente del módulo de elasticidad de Young y de la porosidad. En general, mientras más sólida sea la roca mayor será la velocidad del sonido en la misma. No obstante, las discontinuidades reducen considerablemente la velocidad en la masa rocosa, tanto en los especímenes de pruebas de laboratorio como en la roca del terreno.

Ondas sísmicas: Las pruebas de campo de la velocidad de las ondas sísmicas en la masa rocosa se hacen con la ayuda de una carga explosiva o dejando caer un peso como fuente de energía sónica y de la técnica geofísica común que utiliza geófonos y registro electrónico de las señales.

Para medir el módulo de Young y la relación de Poisson, el espécimen se debe preparar especialmente a partir de núcleos a los que se les forman extremos planos paralelos por medios mecánicos. El espécimen se comprime en una

máquina hidráulica de compresión triaxial. Las mediciones se pueden hacer sobre la muestra sin confinamiento, a la presión atmosférica normal; o de confinamiento, introduciendo el espécimen en un cilindro de acero conectado a un suministro de presión se incrementa; el proceso puede ser cíclico.

Permeabilidad primaria: Esta es una medida de la cantidad y tamaño de los espacios vacíos de la roca. Las rocas porosas pueden contener poros muy pequeños; el agua no se puede mover por ellos debido a los efectos de la tensión superficial elevada o no existe conectividad entre ellos. Si los poros son grandes la tensión superficial entre el agua y los granos minerales es menor, por lo que roca es más permeable. No hay una relación directa entre la porosidad y la permeabilidad. La permeabilidad secundaria está controlada por la cantidad de las discontinuidades.

2.2.1.2 Macizo Rocoso

Un macizo rocoso puede estar compuesto por una serie de rocas, con una estructura y textura variable y con una composición mineralógica, petrográfica o litológica diferente. Este medio en general, está afectado por deformaciones tectónicas y en función de su ocurrencia presenta aspectos ondulados, plegados, cortados por discontinuidades; y en muchos con alteración.

2.2.2. Caracterización Geotécnica

Es de suma importancia evaluar correctamente el macizo rocoso por donde atravesara el túnel, para definir bien su estabilidad y su comportamiento frente a una excavación subterránea, los objetivos que deberían de cumplir una buena caracterización geotécnica según Karzulovic 1982, son:

- Ser sencilla y de fácil empleo.
- Los términos utilizados deben ser comunes, para facilitar la comunicación entre los profesionales involucrados.

- Debe contar con las propiedades más significativas para la evaluación de los macizos rocosos.
- Los parámetros deben ser cuantitativos, para que se puedan medir en campo.
- Los criterios de diseño deben tener algunos años con buenos resultados.

A continuación, se describirá los conceptos más importantes al momento de realizar una buena caracterización geotécnica.

2.2.2.1 Estructuras y Tipos

Las estructuras es uno de los aspectos más importantes de la caracterización geotécnica, ya que nos permite definir estructuras mayores, dominios estructurales y sus tendencias. Debemos empezar con la geología estructural a nivel distrital para entender mejor las tendencias a nivel más local y definir sus respectivos patrones locales que nos interesa, de lo contrario sería difícil entender y definir bien los dominios locales del lugar de estudio y la información estructural que se tiene debería ser revisada ya que estaría presentado deficiencias, desde un punto de vista práctico conviene dividir las estructuras como sigue.

2.2.2.2 Estructuras Principales

Son las estructuras más importantes en la mina, tales como fallas geológicas distritales o regionales y atraviesan generalmente gran parte del área de una operación minera, por estas razones debe ser estudiadas en forma individual en los estudios y análisis geomecánico las cuales pueden influir en el siguiente:

- Estabilidad de labores subterráneas.

- Estabilidad de los taludes (Bancos, etc).
- Evolución de la subsidencia.
- Secuencia de Minado

2.2.2.3 Estructuras Mayores

Son estructuras geológicas que pertenecen a una misma familia o set estructural, siendo sus trazas de cientos de metros, suficiente tamaño como para afectar la inestabilidad dentro del eje del túnel que, podría estar asociado con estructuras menores, debido a estas características deben de ser incluidos en el análisis geotécnico.

2.2.2.4 Estructuras Menores

Corresponde a estructuras tipo vetillas selladas pertenecientes a una misma familia, de potencias milimétricas y sus trazas no alcanzan más allá de los 5 metros, son más comunes que las estructuras mayores y deben ser incluidas en el tratamiento y análisis geotécnico.

2.2.2.5 Análisis por Tipo de Estructura

En los métodos sugeridos por la ISRM, para la descripción cuantitativa de discontinuidades en macizos rocosos, se reseñan 10 parámetros que es preciso describir para lograr este tipo de caracterización (Brown, 1981), son los siguientes:

- Número de sets o sistemas de estructuras que aparecen en el macizo rocoso.
Orientación de cada set (definida por valores característicos del buzamiento y de la dirección de buzamiento).

- Espaciamiento entre estructuras de una misma familia o set estructural (puede ser verdadero si se mide en la dirección normal al plano de las estructuras, o aparente si se mide en otra dirección).
- Persistencia o extensión de las estructuras de cada set.
- Rugosidad de las estructuras de cada set.
- Apertura (estructuras abiertas) o potencia (estructuras selladas) de las estructuras de cada set.
- Tipo(s) de relleno(s) presente(s) en las estructuras de cada set.
- Resistencia de la roca caja para cada set de estructuras (si bien el tipo de roca puede ser el mismo, distintos sets de estructuras pueden presentar distintas características de alteración, afectando de diferente forma a la roca de caja).
- Características de la percolación de aguas observada en las estructuras de cada set.
- Tamaño de los bloques que definen las estructuras en el macizo rocoso.

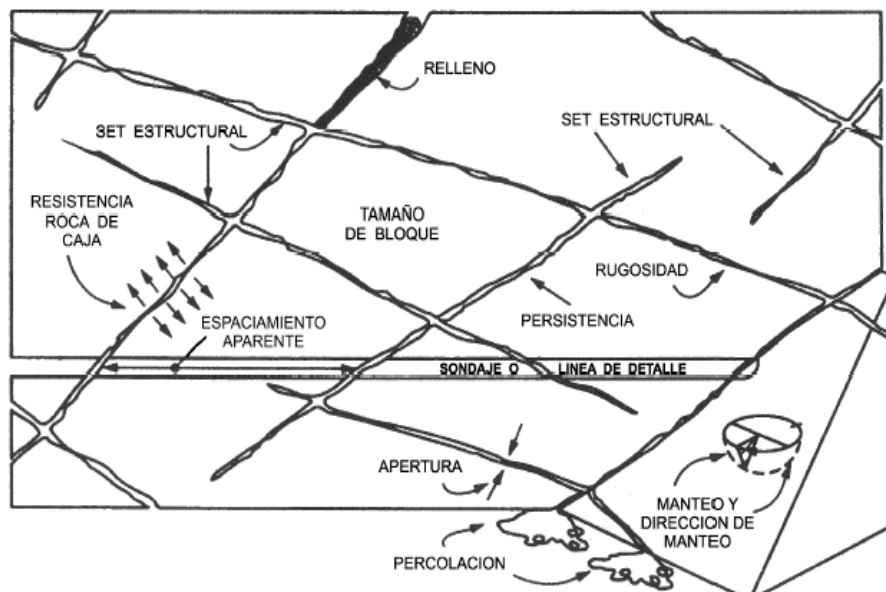


Figura 1 Esquema ilustrativo de los parámetros que describen las estructuras presentes en el macizo rocoso (Tomado de Husdon (1989))

2.2.2.6 Dominios Estructurales

Dominio estructural, es la masa de roca delimitada por discontinuidades dentro de la cual la estructura es prácticamente homogénea, entiéndase por estructura al conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas que definen una determinada región, en la que existe una serie de dominios estructurales perfectamente definidos y diferenciados entre sí. (Introducción a la Ingeniería de Túneles H Gavilanes-B. Andrade).

2.2.2.7 Espaciamientos de Estructuras

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes, es decir el espaciamiento controla el tamaño de los bloques individuales de la roca intacta, la permeabilidad y la circulación del agua.

En la práctica a cada set o familia de estructuras se le asigna un valor “característico” de espaciamiento (los más usados corresponden al valor promedio de las mediciones de espaciamiento para dicho set), ya que el espaciamiento de un set de estructuras no presenta un único valor, sino un rango de valores, muchas veces conforme a una cierta distribución estadística (para lograr una buena definición de esta distribución Hudson & Harrison (1997) señalan que debe contarse con al menos 200 mediciones).



Figura 2 Espaciado de una discontinuidad (Tomado de Manual de Geomecánica Aplicada a la Prevención de Accidentes por Caída de Roca en Minería Subterránea- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía)

*Table 5
Descripción del espaciamiento según definición del ISRM*

Descripción	Espaciamiento (m)
Extremadamente junto	<20
Muy junto	20 – 60
Junto	60 – 200
Moderado	200 – 600
Separado	600 – 2000
Muy Separado	2000 – 6000
Extremadamente Separado	>60

2.2.2.8 PERSISTENCIA DE ESTRUCTURAS

La persistencia de la estructura corresponde a la medida de la traza que se puede observar en superficie, el cual se toma a lo largo de la dirección del

rumbo de la estructura, cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable, cuanto mayor la persistencia, menor la estabilidad, para describir la persistencia se sugiere las definiciones del ISRM.

Table 6
Descripción de persistencia según definición del ISRM

Descripción	Pesistencia (m)
Muy baja	<1
Baja	1 – 3
Media	3 – 10
Alta	10 – 20
Muy alta	>20

2.2.2.9 Rugosidad de la Estructura

La rugosidad de una discontinuidad es el factor determinante de la resistencia al corte en los planos, su importancia disminuye al aumentar la abertura, el espesor de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad. La rugosidad viene dada por dos factores.

- Por su ondulación (Macro rugosidad).
- Por su aspereza (Micro rugosidad).

La ondulación afecta a la dirección inicial del desplazamiento cizallante relativa al plano de discontinuidades, mientras que la aspereza afecta lacizallamiento, la rugosidad puede medirse con diferentes métodos dependiendo de la exactitud deseada, pero el método más sencillo de medir es mediante perfiles estándares de rugosidad.


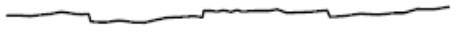
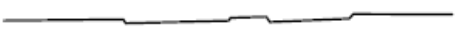






Clase	Escala		Perfil Típico de Rugosidad de la Estructura	JRC ₂₀	JRC ₁₀₀
	Intermedia	Menor			
I	Escalonada	Rugosa		20	11
II		Lisa		14	9
III		Pulida		11	8
IV	Ondulosa	Rugosa		14	9
V		Lisa		11	8
VI		Pulida		7	6
VII	Plana	Rugosa		2.5	2.3
VIII		Lisa		1.5	0.9
IX		Pulida		0.5	0.4

Figura 3 Perfiles de rugosidad según recomendaciones ISRM (modificada de Brown 1981)

2.2.2.10 Apertura y tipo de relleno

La apertura es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta sin rellano o en presencia de agua. Cuando se trata de una discontinuidad abierta y rellena con arcilla la ISRM sugiere usar el término ancho.

Tabla 7
Descripción de la apertura en las discontinuidades (ISRM-1983)

Abertura	Descripción
<0.10 mm	Muy cerrada
0.10 – 0.25 mm	Cerrada
0.25 – 0.50 mm	Parcialmente abierta
0.50 – 2.5 mm	Abierta
2.5 – 10 mm	Moderadamente abierta
>10 mm	Ancha
1 – 10 cm	Muy ancha

10 – 100 cm	Extremadamente ancha
>1m	Cavernosa

Relleno es el material que se encuentra separando las paredes adyacentes de una discontinuidad, pueden ser de diferentes orígenes y gobiernan el comportamiento de la discontinuidad por lo que deben ser identificados y descritos todos lo referente a su propiedades y estado (Anchura, permeabilidad, resistencia al corte, naturaleza, tamaño de partículas).

2.2.3. Zonificación Geotécnica

Se basa en la clasificación de unidades geotécnicas con características homogéneas y uniformes dentro de un rango determinado y pueden abarcar diferentes unidades geológicas. Las unidades geotécnicas y su ubicación en el espacio, se pueden establecer a partir de tipo litológico, procedencia y características geológicas de las rocas, principalmente estructurales, calidad y clasificación geotécnica, con la finalidad de que lo cálculos de diseño sean aplicados y validos dentro de esta zona definida.

2.2.4. Propiedades geomecánicas del macizo rocoso

2.2.4.1 Litología

La litología de una roca está relacionada con la composición mineralógica y con su textura, los términos y clasificaciones son geológicos. Para propósitos geotécnicos, la terminología geológica no basta para poder clasificar a la roca, pero nos ayuda a identificar, correlacionar y muy frecuentemente nos da un punto de vista general y rápido a cerca del comportamiento de la roca.

2.2.4.2 Peso Unitario

Las rocas a diferencia de los suelos presentan una gran variedad de pesos específicos y estos valores en gran medida depende de sus componentes.

Definimos el peso específico como el peso por unidad de volumen, en general se considera igual que la densidad, pero debe de quedar claro que en geotecnia el peso específico se refiere a unidades de fuerza y no de volumen.

Con el aumento de la profundidad del peso específico aumenta y la porosidad disminuye.

Tabla 8
Valores Típicos de la Densidad para la roca intacta (After lama & Vutukuri, (1978))

Rock type	Range of density (kg/m³)	Mean density (kg/m³)
Igneous rocks		
Granite	2516-2809	2667
Granodiorite	2668-2785	2716
Synite	2630-2899	2757
Quartz diorite	2680-2960	2806
Diorite	2721-2960	2839
Norite	2720-3020	2984
Gabbro	2850-3120	2976
Diabase	2804-3110	2965
Peridotite	3152-3276	3234
Dunite	3204-3314	3277
Pyroxwinitw	3100-3318	3231
Anorthosite	2640-2920	2734
Sedimentary Rock		
Sandstone	2170-2700	
Limestone	2370-2750	
Dolomite	2750-2800	
Chalk	2230	
Morble	2750	

Shale	2060-2660	
Sand	1920-1930	
Metamorphic rock		
Gneiss	2590-3060	2703
Schist	2700-3030	2790
Slate	2720-2840	2810
Amphibolite	2790-3140	2990
Granulite	2630-3100	2830
Eclogite	3338-3452	3392

2.2.4.3 Resistencia

No se puede diseñar y construir obras subterráneas, sin conocer la resistencia del macizo rocoso, se requiere conocer bajo qué condiciones de carga el macizo rocoso perderá su integridad estructural, en general la resistencia se puede evaluar en función de la carga que puede soportar, del coeficiente c y del ángulo de fricción (ϕ), variables que se necesitan para los diseños de ingeniería de rocas.

- Resistencia a la compresión simple.
- Resistencia a la compresión triaxial.

2.2.5 Discontinuidades

Son superficies de debilidad que imparten a la roca una condición anisotrópica en la resistencia, es decir denotan interrupción en la continuidad mecánica de la roca, estas superficies pueden ser de origen mecánico o sedimentario, con fines descriptivo se utilizara el termino discontinuidad para referirnos a diaclasas, fallas, foliación o estratificación; considerando que la resistencia de cizallamiento en estas superficies es menor que en la roca intacta

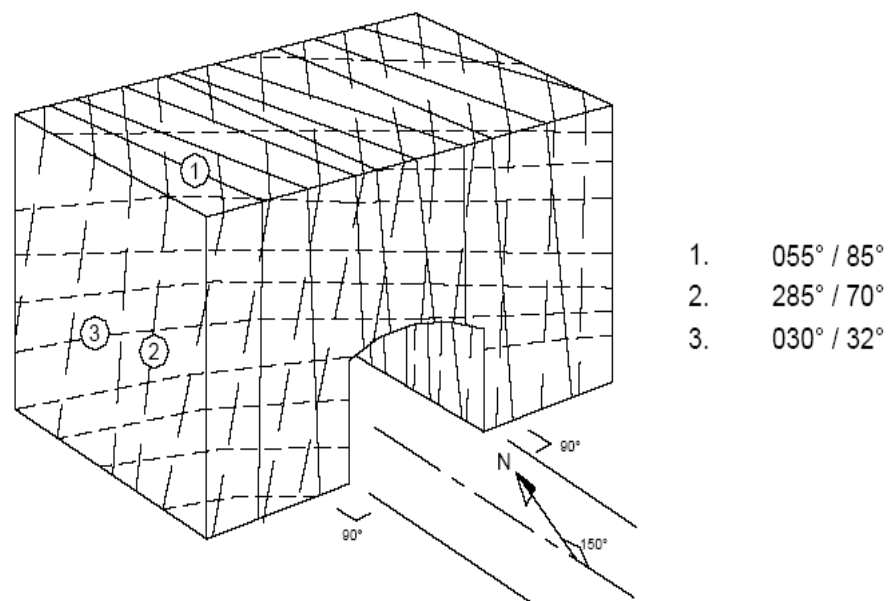


Figura 4 Representación de las familias de discontinuidades mediante un bloque diagrama (ISRM 1981)

2.2.6. Clasificación del macizo rocoso

2.2.6.1 Rock Quality Design – RQD

El Índice de designación de la calidad de roca RQD, fue desarrollado por Deere en 1967 y nos da información sobre una estimación cuantitativa de la calidad de la roca para testigos de perforación, el RQD es definido como el porcentaje de core de roca intacto mayores a 10 cm sobre el total de la roca

(ver ecuación 21), el correcto procedimiento para medir la longitudes de los cores de roca mayores a 10 cm, (Rock Mass Clasificación Hoek 2006).

$$RQD = \left(\frac{\sum \text{Fragmentos de longitud} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud total del tramo}} \right) \times 100$$

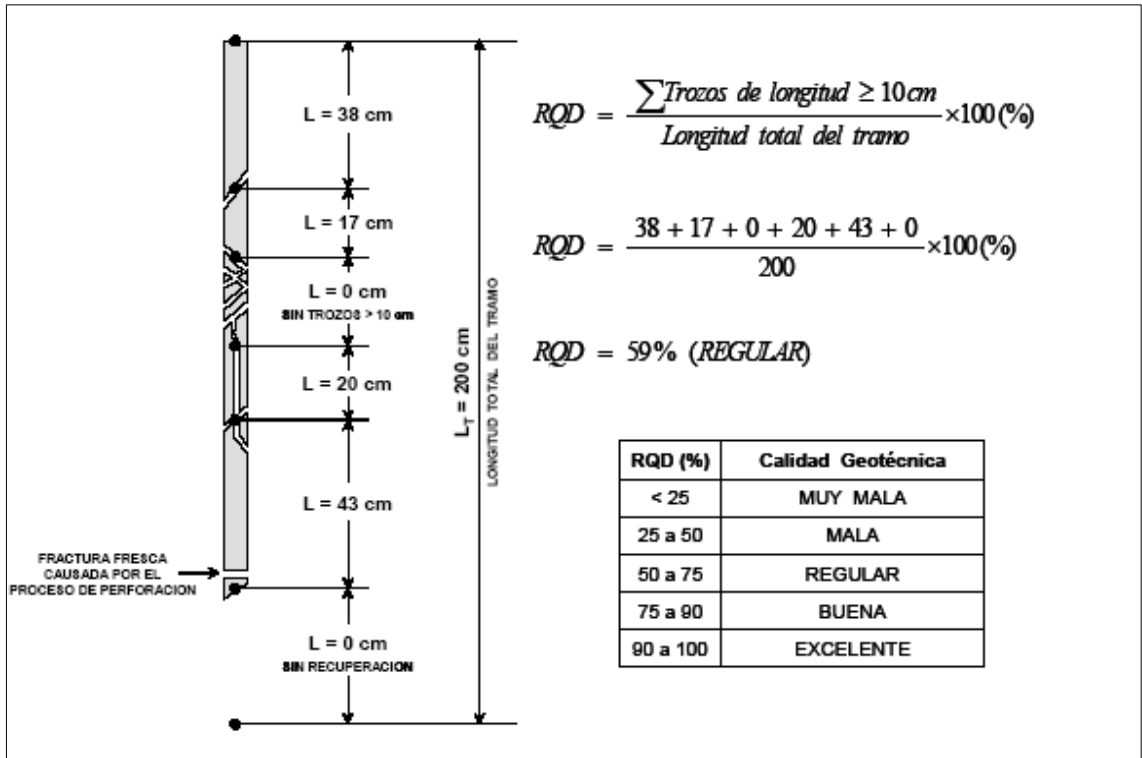


Figura 5 Procedimiento para medir y calcular el índice RQD para designar la calidad del macizo rocoso (Deere 1988)

2.2.6.2 Índice Q de Barton

Se describe el índice Q de calidad de roca (Tunnelling Quality Index), desarrollado por Barton et al, en 1974 con modificaciones menores de Grimstad & Barton en 1993. El método de clasificación de rocas de Barton et al. (1974), se desarrolló para estimar la fortificación de túneles en función del índice Q de calidad geotécnica, definido por la ecuación 23.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

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

RQD: Es la designación de la calidad de la roca definida por Deere et al. (1967), que puede variar de 0 (macizos rocosos de muy mala calidad) a 100 (macizos rocosos de excelente calidad). El cálculo del RQD del macizo rocoso se determina en base al levantamiento geotécnico, de los testigos de sondajes geotécnicos, como el porcentaje de la suma del largo de los tramos de testigos mayores a 10 cm de largo, respecto al largo de un tramo perforado, tal como se mencionó en el apartado 3.6.1. Debe tenerse en consideración que los intervalos de 5 puntos para RQD son suficientemente precisos (por ejemplo: 100, 95, 90, etc.) y si el RQD es menor o igual a 10, entonces se debe asignarse al RQD el valor 10. Cuando no se disponga de testigos de sondaje, el RQD puede ser calculado como el promedio de tres medidas ortogonales (por ejemplo, dos medidas perpendiculares en una caja y la tercera ortogonal en la frente), o estimado del número de discontinuidades por unidad de volumen J_v mediante la relación propuesto por Palmström (Barton et al., 1974), para macizos rocosos libres de arcilla.

J_n : Es un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Set Number), que puede variar de 0,5 (macizo masivo o con pocas estructuras) a 20 (roca totalmente disgregada o triturada). El

coeficiente J_n , teniendo presente en el caso de intersecciones de túneles el valor de J_n debe multiplicarse por 3 y en el caso de portales de túneles el valor J_n debe multiplicarse por 2.

Tabla 9
Valores de J_n Según Condición del Macizo Rocosó

Caso	Condición	J_n
A	Macizos rocosos masivos, sin o con muy pocas estructuras.	0,5 a 1
B	Macizo rocoso con un único set de estructuras.	2
C	Macizo rocoso con un set de estructuras más estructuras aleatorias	3
D	Macizo rocoso con dos sets de estructuras	4
E	Macizo rocoso con dos sets de estructuras más estructuras aleatorias	6
F	Macizo con tres sets de estructuras	9
G	Macizo con tres sets de estructuras más estructuras aleatorias	12
H	Macizo rocoso con cuatro o más sets de estructuras, con muchas estructuras aleatorias, con bloques cúbicos etc.	15
J	Macizo rocoso totalmente desintegrado, similar a un suelo granular	20

J_r : es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Roughness Number), que puede variar de 0,5 (estructuras planas y pulidas) a 5 (estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3 m). Se calcula en función de la rugosidad de las estructuras más débiles. Si éstas están favorablemente orientadas, entonces deberá escogerse el set más débil de todas las estructuras desfavorablemente orientadas para evaluar J_r . El valor de J_r debe calcularse como se indica en la tabla 10 teniendo presente que:

- Si el espaciamiento de las estructuras del set considerado es mayor a 3 m, debe sumarse 1 al valor de J_r .

- En caso de estructuras planas y pulidas que presenten lineamientos, podrá considerarse que J_r es igual a 0,5 solo si los lineamientos son favorables al desplazamiento.

Tabla 10
Valores de J_r Según Condición del Macizo Rocosó

Caso	Condición	J_r
a) Hay contacto entre las paredes de las estructuras		
b) Desplazamientos de corte, menores de 10 cm producen contacto entre las paredes de las estructuras		
A	Estructuras discontinuas o que presentan puentes de roca	4
B	Estructuras ondulosas y rugosas (o irregulares)	3
C	Estructuras ondulosas y lisas	2
D	Estructuras onduladas y pulidas	1,5
E	Estructuras planas y rugosas	1,5
F	Estructuras planas y lisas	1
G	Estructuras planas y pulidas	0,5
c) Los desplazamientos de corte, no producen contacto entre las paredes de las estructuras		
H	Estructuras con rellenos arcillosos de espesor suficiente como para impedir el contacto entre las cajas de las estructuras	1
I	Estructuras con rellenos de roca molida y/o materiales granulares de espesor suficiente como para impedir el contacto entre las cajas e las estructuras	1

J_a : es un coeficiente asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Alteration Number), que puede variar de 0,75 (vetillas selladas en roca dura con rellenos resistentes y no degradables) a 20 (estructuras con rellenos potentes de arcilla). Se calcula en función de la alteración de las estructuras más débiles, es decir de las que están más favorablemente orientadas al deslizamiento. El valor de J_a se calcula usando la tabla 11.

Tabla 11
Valores de Ja Según Condición del Macizo Rocoso

Caso	Condición	ϕ_{jres}	Ja
a) Hay contacto entre las paredes de las estructuras			
A	Estructuras bien trabadas y selladas con rellenos duros, impermeables, y que no se ablandan (e.g. cuarzo, epidota, etc.).		0,75
B	Estructuras con paredes no alteradas, que solo presentan pátinas.	25° - 35°	1
C	Estructuras con paredes ligeramente alteradas. Pátinas de materiales que no se ablandan y libres de finos: arenas, roca molida, etc.	25°- 30°	2
D	Estructuras con pátinas limo arenosas, con poco contenido de arcillas, que no se ablandan.	20°- 25°	3
E	Estructuras con pátinas de minerales arcillosos de baja fricción y que se ablandan (e.g. caolinita, micas, etc.). Estructuras con pátinas de clorita, talco yeso, grafito, etc Estructuras con pequeñas cantidades de arcillas expansivas (patinas discontinuas, de 1 a 2 mm de potencia).	8°- 16°	4
b) Desplazamiento de corte menores que 10 cm producen contacto entre las paredes de las estructuras			
F	Estructuras con rellenos de arena y/o roca molida, libres de arcilla.	25°- 30°	4
G	Estructuras con rellenos de arcillas muy preconsolidadas, que no se ablandan (rellenos continuos, con espesores < 5 mm).	16°- 24°	6
H	Estructuras con rellenos de arcillas algo a poco preconsolidadas, que se ablandan (rellenos continuos, con espesores < 5 mm).	12°- 16°	8
J	Estructuras con rellenos de arcillas expansivas (e.g. montmorillonita, rellenos continuos, con espesores < 5 mm). El valor de Ja depende del contenido de arcillas expansivas, de la exposición al agua, etc.	6°- 12°	8 a 12
c) Los desplazamientos de corte no producen contacto entre las paredes de las estructuras			
K	Estructuras con rellenos de roca desintegrada o brechizada y de arcillas muy preconsolidadas que no se ablandan.	6°- 24°	6
L	Estructuras con rellenos de roca desintegrada o brechizada y de arcillas algo a poco preconsolidadas, que se ablandan	6°-24	8
M	Estructuras con rellenos de roca desintegrada o brechizada y de arcillas expansivas (e.g. montmorillonita, rellenos continuos). El valor de J, depende del contenido de arcillas expansivas, de la exposición al agua, etc.	6°- 24°	8 a 12

N	Estructuras con rellenos de salbanda limosa o arenosa con poco contenido de arcilla que no se ablandan.		5
O	Estructuras con rellenos potentes de arcillas muy preconsolidadas, que no se ablandan.	6°- 24°	10
P	Estructuras con rellenos potentes de arcillas algo a poco preconsolidadas, que se ablandan.	6°- 24°	13
R	Estructuras con rellenos potentes de arcillas expansivas (e.g. montmorillonita). El valor de J_w depende del contenido de arcillas expansivas, de la exposición al agua, etc.	6°- 24°	13 a 20

J_w : es un coeficiente asociado a la condición de agua en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Water Reduction Factor), que puede variar de 0,05 (flujo notorio de agua, permanente o que no decae en el tiempo) a 1 (estructuras secas o con flujos mínimos de agua).

Tabla 12
Valores de J_w Según Condición del Macizo Rocosó

Caso	Condición	P_w (MPa)	J_w
A	Túneles secos o con infiltraciones menores (e.g. 5 It/min localmente o solo en algunos sectores.	< 0,1	1
B	Infiltración y presiones moderadas, que ocasionalmente causan el lavado del relleno de las estructuras	0,1 a 0,25	0,66
C	Infiltraciones y presiones importantes en roca competente con estructuras sin relleno.	0,25 a 1,0	0,5
D	Infiltración y presiones importantes que causan lavado de los rellenos de las estructuras.	0,25 a 1,0	0,33
E	Infiltraciones muy importantes o agua a presión gatillada por la tronadura pero que decae en el tiempo.	> 1,0	0,1 a 0,2
F	Infiltración excepcionalmente altas o agua a presión continúan sin decaer en el tiempo	> 1,0	0,05 a 0,1

SRF: Es un coeficiente asociado al posible efecto de las condiciones de esfuerzo en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor), que puede variar de 0,05 (concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente) a 20 (condiciones favorables a la ocurrencia de estallidos de roca).

Tabla 13
Factor SRF Según Condición del Macizo Rocoso

Caso	Condición			SRF
a) Zonas débiles intersectan la excavación subterránea, lo que puede causar aflojamiento (loosening) del terreno cuando el túnel sea excavado.				
A	Aparecen múltiples zonas débiles que contienen salbanda arcillosa o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy sueltas (cualquier profundidad)			10
B	Zonas débiles aisladas con arcilla o roca químicamente descompuesta (profundidad menor o igual a 50 m)			5
C	Zonas débiles aisladas con arcilla o roca químicamente descompuesta profundidad mayor a 50 m)			2,5
D	Múltiples zonas de cizalle, con roca suelta en su periferia, en un macizo rocoso competente y libre de arcillas (cualquier profundidad)			7,5
E	Zonas de cizalle aisladas, en un macizo rocoso competente y libre de arcillas (profundidad menor o igual a 50 m)			5
F	Zonas de cizalle aisladas, en un macizo rocoso competente y libre de arcillas (profundidad mayor a 50 m)			2,5
G	Macizo rocoso muy fracturado, con estructuras abiertas sueltas que definen bloques en forma de cubos (cualquier profundidad)			5
b) Macizos rocosos competentes con problemas de concentración de esfuerzos				
		UCS/Si	TS/S1	SRF
H	Estado tensional de baja magnitud, próximo a la superficie, fracturas abiertas.	>200	<0,01	2,5
J	Estado tensional de moderada magnitud, condición de esfuerzos favorables	10-200	0,01-0,3	1,0
K	Estado tensional de alta magnitud, estructuras bien trabadas (usualmente favorables para la estabilidad, aunque puede presentar problemas en las paredes del túnel)	5-10	0,3-0,4	0,5-2,0
L	Macizo rocoso masivo que presenta lajamientos moderados una hora después del desarrollo de la excavación subterránea.	3-5	0,5-0,65	5-50
M	Macizo rocoso masivo que presenta lajamientos e incluso estallidos de roca poco después del desarrollo de la excavación subterránea.	2-3	0,65-1	50-9m
N	Macizo rocoso masivo que sufren notorios estallidos de roca y deformaciones inmediatas después del desarrollo de la excavación subterránea.	<2	>1	200-400

c) Macizos rocosos que fluyen plásticamente bajo altas presiones (squeezing rock).		
O	El flujo plástico genera presiones moderadas.	1-5 5-10
P	El flujo plástico genera presiones importantes.	>5 10-20
d) Macizos rocosos expansivos (swelling rock), expansión o hinchamiento debido a reacciones químicas causadas por el agua.		
Q	El hinchamiento genera presiones moderadas.	5-10
R	El hinchamiento genera presiones importantes.	10-15

El factor SRF puede considerarse como una medida de:

- a) La presión causada por el material suelto, en el caso de un túnel que a traviesa una zona de cizalle o un macizo arcilloso y de mala calidad geotécnica.
- b) La concentración de esfuerzos que se produce en la periferia de túneles excavados en macizos rocosos competentes.
- c) Las presiones asociadas al flujo plástico (squeezing) o al hinchamiento (swelling) que encuentran túneles que cruzan macizos arcillosos poco competentes bajo un estado de tensión importante, o macizos rocosos arcillosos y expansivos.

Se debe tener presente que:

- d) Los valores de SRF deben reducirse en un 25% a 50% si las zonas de cizalle relevantes solo influencia el túnel pero no lo intersectan.
- e) Si el estado tensional es muy anisotrópico entonces:
- f) Si $5 \leq S1/S3 \leq 10$ disminuya en un 20% los valores de la resistencia en compresión uniaxial y la resistencia en compresión de la roca intacta, UCS y TS, usados para evaluar SRF.
- g) Si $10 < S1/S3$ disminuya en un 40% los valores de la resistencia en compresión uniaxial y la resistencia en tracción de la roca intacta, UCS y TS, usados para evaluar SRF.

h) La base de datos del método incluye pocos casos en que la profundidad del techo del túnel respecto a la superficie del terreno es menor que el ancho del túnel. Si este es el caso entonces SRF debe incrementarse de 2,5 a 5. El uso del índice Q, permite calificar la calidad geotécnica de los macizos rocosos en una escala logarítmica, que varía de 0,001 a 1.000, y considera nueve clases:

Macizos de calidad Excepcionalmente Mala ($Q \leq 0,01$)

Macizos de calidad Extremadamente Mala ($0,01 < Q \leq 0,1$)

Macizos de calidad Muy Mala ($0,1 < Q \leq 1$)

Macizos de calidad Mala ($1 < Q \leq 4$)

Macizos de calidad Regular ($4 < Q \leq 10$)

Macizos de calidad Buena ($10 < Q \leq 40$)

Macizos de calidad Muy Buena ($40 < Q \leq 100$)

Macizos de calidad Extremadamente Buena ($100 < Q \leq 400$)

Macizos de calidad Excepcionalmente Buena ($Q > 400$)

Para relacionar el valor del Índice Q con la fortificación requerida para asegurar la estabilidad de un desarrollo subterráneo, Barton et al. (1974) definieron un parámetro adicional que llamaron Dimensión Equivalente de la Excavación D_E . Este se obtiene empleando la ecuación 24

$$D_E = \frac{\text{Diametro} - \text{Alto (m)}}{ESR}$$

Donde, ESR corresponde a la Razón de soporte (Excavation Support Ratio), cuyo valor relaciona el uso de la excavación y el nivel de seguridad requerido al sistema de soporte para mantener la estabilidad de la excavación.

Tabla 14
Factor de ESR Según el Tipo de Desarrollo Subterráneo

Caso	Tipo de Desarrollo Subterráneo	ESR
A	Labores mineras temporales	2 — 5
B	Labores mineras permanentes, túneles para la conducción de agua (excluyendo túneles de presión), túneles piloto, cruzados y cabeceras de grandes excavaciones.	1,6 — 2
C	Cavernas de almacenaje, plantas de tratamiento de agua, autopistas y ferrovías menores, túneles de acceso.	1,2 — 1,3
D	Centrales eléctricas, autopistas y ferrovías mayores, recintos de defensa civil, portales, intersecciones.	0,9 — 1,1
E	Centrales nucleares, estaciones ferroviarias, recintos públicos y deportivos, fabricas, túneles principales con cañerías de combustibles.	0,5 — 0,8

La dimensión equivalente D_e y el valor de Q , permiten definir la fortificación recomendada mediante el grafico de estimación de soporte de Grimstand & Barton 1993, Barton entrega además información adicional referida a recomendaciones de largo de pernos, máximo extensión del tramo sin fortificar y la presión de soporte al techo. El largo de los pernos puede ser estimado por la relación siguiente:

$$L = \frac{2 + 0.15 B}{ESR}$$

Donde L es el largo de los pernos y B es el ancho de la labor.

La máxima extensión recomendada del tramo sin fortificar está dada por:

$$\text{Máximo} - \text{Span (Sin - Soporte)} = 2 ESR^{0.4}$$

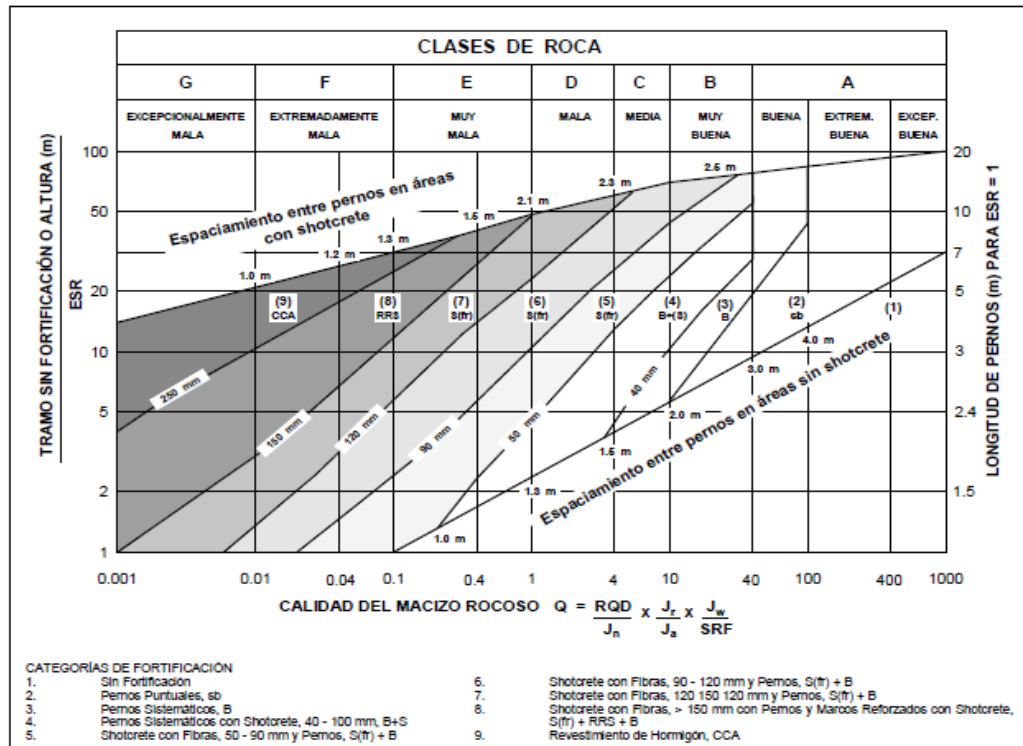


Figura 7 Categorías de Soporte basadas en el Índice de Calidad Tunelera Q (después de Grimstad y Barton, 1993)

2.2.7. Características De La Metodología

El levantamiento de los datos geotécnicos consta de dos partes, la primera, corresponde a un levantamiento sistemático de tramos de perforación o tramos entre tacos de perforación, es decir se determinan las propiedades geotécnicas básicas para cada tramo perforado. La segunda parte del levantamiento corresponde a un levantamiento dirigido, el cual considera varios tramos de testigos de sondeos de igual aspecto y comportamiento geotécnico. Para este tramo se determinan las propiedades de las estructuras, la resistencia de la roca, el grado de meteorización y se realiza una estimación visual del GSI.

La cual ha sido definida en base al mapeo de tres sondeos de diamantina. A la izquierda de cada sondeo se observa un espaciado regular, que corresponde a los tramos considerados por el “Levantamiento Geotécnico

Básico”, constituido por tramos de perforación, mientras que a la derecha se observan tramos irregulares que constituyen tramos de iso-calidad geotécnica, determinados en el “Levantamiento por Tramos Geotécnicos” los cuales finalmente se correlacionan con otros sondajes, para obtener zonas de iso-calidad. En la siguiente figura se han definido 4 unidades geotécnicas A, B, C, y D.

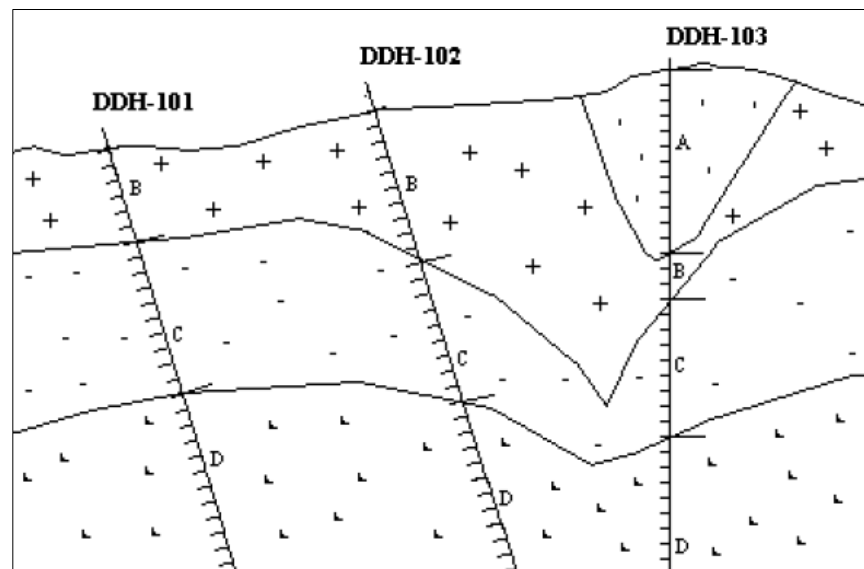


Figura 8 Metodología del registro geotécnico

2.3. Definición de términos

Mineral

Cuerpo sólido que puede aparecer de formas muy diversas en la naturaleza ya sea aislado o como componente fundamental de las rocas.

Minerales asociados

Aquellos que en el momento de la explotación pueden o no, tener un valor comercial.

Mena

Es el mineral cuya explotación presenta interés, refiriéndose al mineral del que se extrae el elemento químico útil (Cu de la calcopirita, Hg del cinabrio, Sn de la casiterita, entre muchos ejemplos posibles). Este término es más comúnmente utilizado en minerales metálicos.

Ganga

Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés minero en el momento de la explotación (cuarzo, calcita, etc.). Minerales considerados como ganga en determinados momentos se han transformado en menas al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos.

Cuerpo mineralizado o depósito mineral (ore body)

Se refiere a la mezcla de mena y ganga y puede encontrarse a profundidad o en la superficie.

Reservas

Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado. Depende de un gran número de factores (ley media, ley de corte) y de las condiciones técnicas, medioambientales y del mercado existentes en el momento de llevar a cabo la explotación.

Reservas medidas

Calculada con datos concretos.

Reservas indicadas

Calculadas a partir de la proyección de las anteriores sobre el terreno considerado como productivo y en función de diversos indicadores geológicos.

Reservas inferidas

Basadas en el conocimiento del contexto geológico general.

Recurso

Cantidad total de mineral existente en la zona, incluyendo el que no podrá ser explotado por su baja concentración o ley.

Explotación minera

Es el proceso o conjunto de procesos por el cual se extrae un material natural terrestre del que podemos obtener un beneficio económico (puede ser desde agua, hasta diamantes) y se lleva a cabo mediante pozos (caso del agua o del petróleo, entre otros), en minas (subterráneas o a cielo abierto), o en canteras.

Tipo de roca

Se define por clasificación litológica

Dureza

Es la capacidad que ofrece la roca a no ser rota (Mpa).

RQD (Rock Quality Designation)

Se determina a través del porcentaje de fragmentos de cores mayores al doble del diámetro, dependiendo de la línea de perforación que se use en el sondaje, este cálculo se determina a través de todas las corridas existentes en toda la longitud del taladro.

Intemperismo

Se determina a través de rangos de tablas.

Fractura

Discontinuidad que se presenta en las zonas de debilidad del macizo rocoso.

Intervalo de Fractura

Distanciamiento que existe entre fracturas.

Rugosidad (Condición de fractura)

Superficie que presenta el plano de fracturas orientadas según la dirección de una resistencia.

Cohesión

Es una propiedad de los granos de minerales que les permite aglomerarse o mantenerse juntos en oposición a las fuerzas que tienden a separarlos.

Relleno de juntas

Son los minerales que se encuentran en las juntas y por lo tanto puede ser que la junta este sellada o no por el relleno de mineral.

Plano de Fractura

Se determina a través de la apariencia que muestra en su plano (plana, curva, ondulada, regular, irregular)

2.4. Formulación de hipótesis

Los sondajes diamantinos determinan la caracterización geotécnica del macizo rocoso del Proyecto Capilla.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1 Variables Independientes

Los sondajes diamantinos.

2.5.2 Variables Dependientes

Caracterización geotécnica del macizo rocoso del Proyecto Capilla.

2.5.3 Variables Intervinientes

Uso de software.

Uso de herramientas de internet.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable Independiente

Sondajes diamantinos.

Dimensión

Características de una óptima y una buena calidad de perforación.

Indicación

Buena recuperación, libre de contaminación (aditivos y lodos), correcta ubicación de sondajes en las cajas portatestigos, correcta codificación de los tacos de separación de testigos.

Variable Dependiente

Caracterización geotécnica del macizo rocoso del Proyecto Capilla.

Dimensión

Características geotécnicas, estructurales, alteración, esfuerzo y resistencia de roca intacta del Proyecto Capilla.

Indicación

La alta humedad asociada a la débil resistencia de la roca en el Proyecto Capilla.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo a su aplicabilidad la investigación que se lleva a cabo es del tipo de Técnico Aplicativo.

Con este tipo de investigación se busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar. Así mismo porque se requiere de un marco teórico. Mis resultados de esta investigación aplicada son para uso inmediato.

3.2. Diseño de investigación

La presente investigación se adecuó a los propósitos de la investigación no experimental, debido a que no se manipulará la variable independiente, además, la investigación será transeccional correlacional-causal

3.3. Población y muestra

La población está representada por los cores obtenidos a través de los sondajes diamantinas efectuados en el proyecto Capilla, por la empresa VI Mining Perú SAC.

3.4. Métodos de la investigación

El método utilizado en la presente investigación es el método descriptivo-correlacional, porque se observarán los datos obtenidos para explicar la relación entre las variables, es decir, para saber en qué medida la variación de una de ellas afecta a la otra, con la finalidad de conocer su magnitud, dirección y naturaleza. Asimismo, no se descarta el empleo del método analítico-sintético. A través de este método, se descompondrán todas las variables para observar sus relaciones, similitudes, diferencias, causas, naturaleza y efectos hacia otras variables, para luego reconstruirlas a partir de los elementos distinguidos por el análisis.

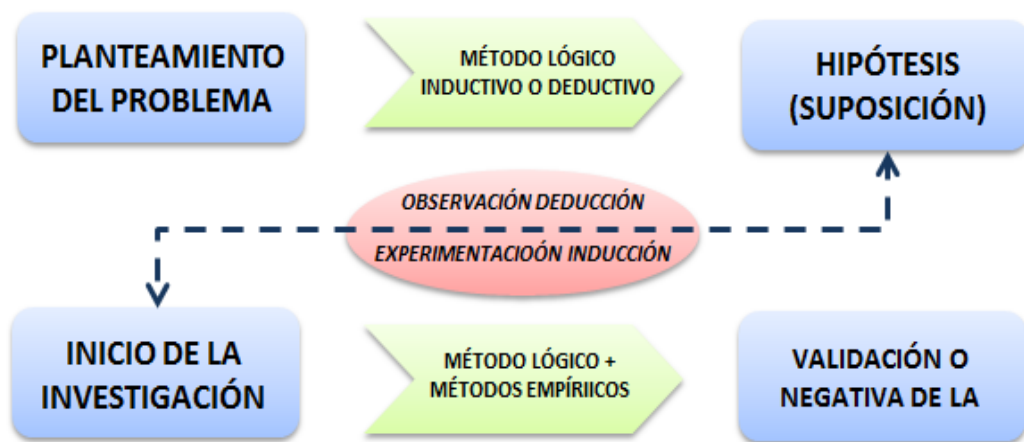


Figura 9 Mapa Conceptual de métodos de investigación

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Toma de datos y de muestras in situ, revisión y logueo de perforaciones diamantinas, revisión y recopilación de estudios geológicos existentes del distrito Minero.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La metodología aplicada está ligada a la investigación misma. Estos incluyen la compilación bibliográfica, tecnología disponible, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación.

Técnica

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

Para el recojo de información se utilizó los siguientes instrumentos:

- Fuentes de información académica comprendiendo medios bibliográficos y electrónicos.
- Comunicaciones de geólogos cuya experiencia sirvió para reforzar el conocimiento sobre los diferentes tipos de yacimientos.

El equipo técnico para la perforación de testigos importante para obtener información sin ningun.

3.7. Tratamiento estadístico

Se realizarán análisis estadísticos de las muestras para la obtención de resultados.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

- Se controla mediante el reporte diario de perforación es un formato donde especifica los metros perforados durante el turno día y noche, este reporte será entregada al momento de la llegada de las cajas las cuales serán extendidas en la mesa de logueo verificando la calidad del trabajo realizado por la empresa de perforación.
- Se inicia la validación y recopilación de datos realizando el logueo geomecánico con la mayor concentración y criterio para poder identificar los diferentes

parámetros geomecánicos las cuales serán registradas en una Tablet con el programa Fussion.

- Para mayor confiabilidad los sondajes logueados son fotografiadas y archivadas en la base de datos.
- Todos los datos registrados en el logueo serán validadas para posteriormente ingresar a la base de datos central de la compañía.

3.9. Orientación Ética

El presente trabajo está bajo los factores morales y principios éticos en la investigación, de acuerdo a los criterios establecidos en las guías, se ha tratado en todo momento de no causar perjuicio, desventaja o exposición a riesgo a algún participante de nuestra investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación y accesibilidad

El proyecto “Capilla”, se ubica en el distrito de Angasmarca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. La latitud y longitud para el proyecto es $8^{\circ} 11' 46''$ S, $78^{\circ} 0' 29''$ W. Altitudes en el proyecto entre 2600m y 3420m sobre el nivel del mar. El proyecto está a 113Km al este de la ciudad de Trujillo. El datum utilizado es WGS 84 zona 18S.

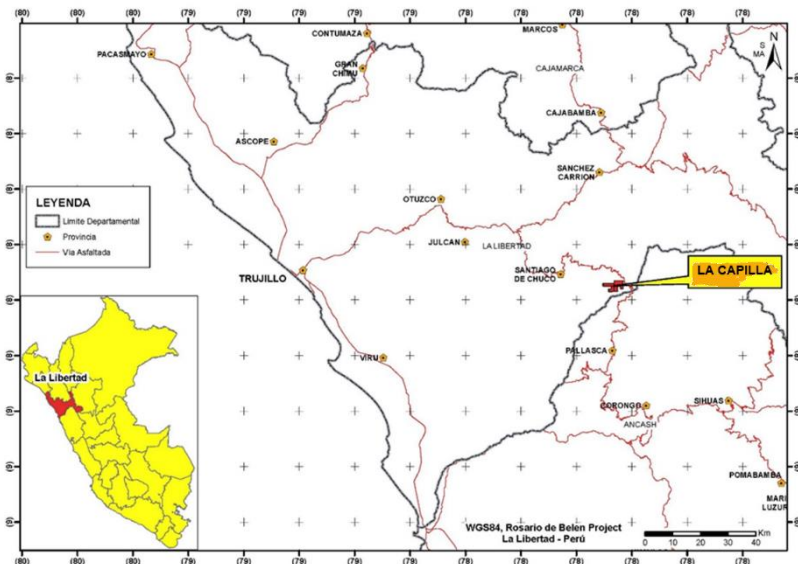


Figura 10 *Ubicación del Proyecto en Mapa del Perú*

Accesibilidad, hay dos rutas desde la ciudad de Lima a Trujillo, la primera es vía terrestre, por la Panamericana Norte, un total de 559Km que toma 8 horas 15 minutos, la segunda es vía vuelo comercial desde la ciudad de Lima (35 minutos). Desde Trujillo se accede vía terrestre al distrito de Angasmarca, en total 205 km que toma 5 horas, de Angasmarca al proyecto Rosario de Belén son 27 km que toma 45 minutos. El clima es alpino, frío y semiárido.

Tabla 15
Ruta vía terrestre al proyecto Capilla.

Desde	Hasta	Vía	Distancia (Km)	Tiempo (Hora)
Lima	Trujillo	Autopista	559	8h 15m
Trujillo	Angasmarca	Asfaltada	205	5h
Angasmarca	Proyecto	Afirmada	27	45m
Total			791	14h

Tabla 16
Ruta vía vuelo comercial – terrestre al Proyecto Capilla.

Desde	Hasta	Vía	Distancia (Km)	Tiempo (Hora)
Lima	Trujillo	Vuelo	559	35m
Trujillo	Angasmarca	Asfaltada	205	5h
Angasmarca	Proyecto	Afirmada	27	45m
Total			791	6h 20m

4.1.2. Fisiografía y clima

El proyecto Capilla, se ubica a 100 km al este del océano pacífico, en la cordillera de los andes, con una máxima altitud de 3420 msnm y una altitud mínima de 2600 msnm (en la quebrada Angasmarca).

El clima es alpino, frío y semiárido, se encuentra a una altitud de 3139 msnm, se cuenta con la siguiente información:

La temperatura es templada a fresca, presentando la mayor parte del tiempo un máximo de 15 °C y un mínimo de 2°C.

La temporada de lluvia dura 6,5 meses, del 19 de octubre al 2 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 23 de marzo, con una acumulación total promedio de 23 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura 5,5 meses, del 2 de mayo al 19 de octubre. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 26 de julio, con una acumulación total promedio de 1 milímetros.



Figura 11 Fisiografía Proyecto Capilla mirando al Sur

4.1.3. Geología local

En el área del proyecto afloran principalmente rocas sedimentarias de las formaciones Chicama y Chimú, secuencias volcánicas del grupo Calipuy (lavas y piroclastos), intruídas por sub-volcánicos de composición andesítica. Afloran principalmente un sub-volcánico de composición andesítica, de tonalidad gris verdosa. Leve a moderada argilización (illita – montmorillonita).

4.1.4. Estratigrafía regional

Regionalmente afloran rocas sedimentarias e ígneas, entre las primeras se han observado formaciones que abarcan en edad desde el Jurásico al Cretáceo. Los afloramientos de rocas sedimentarias forman una faja alargada de orientación NS, abarca las formaciones: Chicama, Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. La Figura 4, muestra la columna estratigráfica de las principales unidades de la región. (Fuente: INGEMMET, 1964).

- FORMACIÓN CHICAMA

Litológicamente esta formación consiste en una gruesa secuencia de lutitas laminadas y de aspecto pizarroso, de color gris oscuro a negro, ocasionalmente intercalada con niveles de arenisca y cuarcitas claras y limolitas gris parduzcas por intemperismo. Por su constitución, presenta relieves suavizados.

- FORMACIÓN CHIMÚ

Litológicamente se compone de orto cuarcitas de color blanco a gris claro, raras veces oscuras y con tonalidades rojizas por intemperismo, contienen intercalaciones de lutitas negras y limolitas. Los granos de cuarzo son sub-

redondeados y de tamaño variable entre grueso y fino. La estratificación es en capas medianas a gruesas, algunas veces presentan estratificación cruzada y en ciertos lugares están intensamente diaclasadas.

Contiene mantos lenticulares de carbón tipo antracita, cuyos espesores varían desde pocos centímetros hasta un máximo de 3m.

Por su dureza y resistencia al intemperismo, desarrolla un relieve prominente que destaca sobre otras rocas más blandas.

- **FORMACIÓN SANTA-CARHUAZ**

Sobre yace a la formación Chimú, se ha considerado como una sola unidad debido a que el contacto entre la formación Santa y Carhuaz no está bien definida en la zona.

Litológicamente la serie inferior que representa a la formación Santa está constituida por limolitas gris amarillentas u oscuras, intercaladas con lutitas arenosas friables de color gris negruzco en la base y por calizas negras, fosilíferas, estratificadas en capas delgadas, en sus niveles superiores.

La serie superior corresponde a la formación Carhuaz y consiste en una secuencia de lutitas claras a marrones, gris oscuras hasta negras, finamente estratificadas e intercaladas con capas delgadas de calizas fosilíferas de color negro que intemperizan a marrón oscuro. Cerca de la base de esta serie superior se encuentran dos capas de yeso persistentes hasta 10m de grosor cada una que sirven como horizontes guías en el reconocimiento de la formación.

- **FORMACIÓN FARRAT**

La formación se compone de areniscas cuarcíticas de color blanco, crema o gris, de grano grueso a medio y formas sub-redondeadas, limpias y bien estratificadas en bancos gruesos, subordinadamente tienen intercalaciones de capas delgadas de lutitas de color gris o negro, areniscas conglomeráticas y conglomerados finos compuestos de cuarzo lechoso. Las areniscas algunas veces muestran estratificación cruzada.

Por su gran resistencia al intemperismo, presentas una topografía de perfiles agudos que destacan en medio de las formas redondeadas de las lutitas infra yacientes.

- **GRUPO CALIPUY**

Secuencia de rocas volcánicas que supra yacen con discordancia angulas a las formaciones del cretáceo inferior y superior.

Consiste en brechas y aglomerados volcánicos de color gris verdoso a marrón rojizo, con fragmentos sub-angulosos de tamaño 1 a 10cm con textura porfirítica, suceden superiormente lavas y piroclásticos de composición principalmente andesítica con algunos horizontes riolitas y riodacitas, también se observan intrusiones de sub-volcánicos andesíticos en la zona del proyecto. Los volcánicos presentas suaves ondulaciones y en algunos sectores se muestras horizontales.

4.1.5. Rocas intrusivas

Principalmente al sur del proyecto, consiste en intrusiones plutónicas de composición granodioríticas – graníticas. Presentan una topografía accidentada; sin embargo, los cerros formados por estas rocas presentan contornos suaves.

4.1.6. Génesis y paragénesis del yacimiento

El Proyecto de Capilla tiene características geológicas bastante similares a depósitos asociados a rocas sedimentarias del Cretácico, ubicados en la extensa y bien reconocida faja metalogenética aurífera septentrional de la cordillera occidental. Esta similitud se da por la fuerte alteración del block de cuarcitas que afloran en la Formación Chimú ubicada al sur y en la parte alta del recurso evaluado y su ensamble mineralógico de alteración hidrotermal típico de este ambiente de deposición de minerales preciosos, y polimetálicos, estos últimos exponiéndose ahora como minas inactivas aproximadamente a 16 Km. al SW del proyecto Capilla dentro de rocas volcánicas posiblemente de la Formación Calipuy.

Esta deducción tiene argumentos geológicos sólidos y convincentes en la relación tiempo y espacio en el Proyecto Capilla, entre la mineralización y la actividad ígnea que se manifiesta por la presencia de roca andesítica microporfirítica hipabisal a subvolcánica que engloba y levanta a la roca silíceo de la Formación Chimú: a manera de un techo colgante.

La alteración hidrotermal de la roca subvolcánica es mayormente sericitica con débil silicificación en superficie, tornándose gris verdosa por la propilitización, pero cercana a la superficie y más al Norte de ella, existe minerales asociados como vetas de cuarzo lechoso con restos de baritina, calcita, pirita y magnetita, estos dos últimos altamente diseminados.

El intenso fracturamiento de las dos unidades litológicas sugieren fuerte tectonismo durante el Cretáceo tardío y Terciario temprano que han debilitado esta zona de contacto y constituyendo el foco feeder mineralizante,

produciendo fuerte liberación explosiva de fluidos hidrotermales de un sistema magmático principal subyacente.

Elementos geoquímicos trazas indican la existencia de pulsos mineralizantes asociados con metales preciosos dentro de rocas de la Formación Chimú, como es el caso de la correlación evidente de Au-Ag, As y ensambles de alteración hidrotermal relacionados. semejando a depósitos diseminados auríferos de alta sulfuración y polimetálicos dentro de roca mayormente subvolcánica andesítica que presenta la correlación geoquímica evidente de Pb-Ag-As/Bi, que sugiere una fuerte mineralización vetiforme, comúnmente. Por lo tanto, se postula ante los argumentos arriba mencionados que la mineralización del proyecto Capilla desde el punto de vista genético está relacionado a un sistema hidrotermal, producto de varios pulsos de rocas andesíticas félsicas, eventos casi coetáneos en tiempo, cuya liberación de la fase volátil se direcciono en zonas estructuralmente débiles con formación mayormente de estructuras mineralizadas según se observa en la superficie del actual nivel de erosión de la zona Sur, por lo que se sostiene que la mineralización en general, corresponde a la base de un sistema hidrotermal cuyos fluidos mineralizantes igual o de mejor ley originalmente, se han emplazado en niveles superiores conformando rellenos de fisuras de mineral polimetálico y de vetas de oro en fisuras y/o pequeños cuerpos acompañados de cuarzo lechoso, ahora, totalmente erosionados.

4.1.7. Mineralización

La mineralización de metales preciosos del proyecto Capilla es Epitermal de Alta Sulfuración caracterizado por el ensamble mineralógico de cuarzo-sericita, pirofilita y titanita, similar al patrón geoquímico de depósitos

auríferos de la faja metalogenética septentrional del Perú; sin embargo, a diferencia de estos últimos, la mineralización aurífera tiende a concentrarse principalmente en las zonas de contacto/falla entre las unidades litológicas subvolcánicas y cuarcitas y en vetillas, asociados con óxidos dentro de rocas encajonantes silíceas del remanente de la Formación Chimú y también por la presencia considerable de Pb, Ag y Ba cuyas especies mineralógicas rellenan vetillas que sugieren fuertemente otro ambiente de deposición del tipo vetiforme, como se exponen dentro de rocas subvolcánicas andesíticas.

La destrucción y desintegración de la fuente mineralógica de la zona del proyecto Capilla, como consecuencia natural del ciclo geoquímico que soporta la litósfera del planeta, comprende procesos superficiales de intemperismo, formación del suelo, erosión, transporte, deposición y redeposición de material, conformado íntegramente por fragmentos de composición similar de la roca madre y su mineralización asociada, en la base de los taludes, adoptando cobertura discontinua en forma de abanico en las partes más bajas. En el actual nivel de erosión se han identificado pequeñas terrazas a las que se le denomina coluvial, material singenético y secundario, que constituye el ambiente más importante de mineralización económica en el recurso de Capilla.

El rasgo más obvio dentro de la mineralización de Capilla es la presencia de óxidos de hierro de goethita y jarosita en cantidades regularmente notorias, como lo corrobora el contenido de hierro reportado por el laboratorio S.G.S. razón por la cual el color de las muestras asociadas con tramos de intervalos de oro, son de color pardo rojizo a pardo claro; el arsénico comúnmente con

alto contenido se deriva probablemente de la arsenopirita y otros minerales sulfoantimoniuros y arsenicales que conjuntamente con el plomo de la galena formaron arsenatos de hierro y sulfatos que se exhiben en los remanentes del material coluvial (escorodita, anglesita); la plata se encuentra asociada íntimamente con la argentojarosita ampliamente distribuida en el depósito. El oro es libre y visible, ocurre en finísimas laminillas entre 5-10 micras de diámetro y con una pureza de aproximadamente 850 basado en la comparación visual microscópica de color con muestras de conocida pureza; también debe existir oro libre no visible.

4.1.8. Alteración

La silicificación se manifiesta en la parte alta y Sur del proyecto y es notoria en las cuarcitas gris clara de la Formación Chimú, tornándose totalmente masiva; en menor cantidad se observa dentro de la roca subvolcánica como vetillas, pero mayormente blanco lechoso y ocasionalmente gris claro.

La argilización es débil a moderada, asociada principalmente en las zonas de contacto desarrollándose principalmente en la roca subvolcánica asignándole una coloración blanquecina.

La sericitización es débil en las rocas silíceas y está localizada en intersticios y esporádicas fracturas; sin embargo, en las rocas subvolcánicas se manifiestan mayormente en fracturas y en menor proporción en intersticios y en los microfenocristales de plagioclasas.

La propilitización es extensa, típica de la alteración hidrotermal de la roca subvolcánica, muy cercana a superficie y extensa en todo el recurso de color verdoso, acompañado por venillas de calcita, clorita, epidota y pirita fina diseminada.

En conclusion, se puede afirmar con alto nivel de certeza que cantidades adicionales de cuarzo hidrotermal ha sido depositado en el foco epigenético y halos de mineralización, produciendo un ambiente favorable/positivo principalmente a lo largo de la falla contacto cuarcita Chimú y subvolcánico para la deposición tardía de los metales preciosos íntimamente asociados con fases de sílice.

4.1.9. Mineralización

La mineralización predominante son los óxidos (jarosita y gohetita en menor proporción) hasta los 65 metros de profundidad, luego se encuentra mineralización de Jarosita y Gohetita en vetillas y parches mayores a los 2 mm.



Figura 12 Arenisca gris, con alteración Qz-Sericita, presenta fracturas rellenas con fragmentos de cuarzo removilizados, óxidos de goethita y Escorodita. Ley: 0.95 g/t Au.

4.1.10. Fallas

Se perciben tres fallas a los 114 m, 128 y 139 m de profundidad, que están rellenas de vetillas de cuarzo mayores a los 2 mm.



Figura 13 Estructura Rellenada de Mineralización

4.1.11. Alteración

Predomina la silicificación, con la cloritización El modo de presentarse de la alteración es la pervasiva y la matriz selectiva.

Utilización de la densidad aparente teniendo en cuenta valores usados por otras minas, tanto para el material aurífero primario (epigenético) y el secundario (coluvial).

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1 Perforación diamantina

La estimación de recursos se realiza en base a los sondeos exploratorios en este caso para nuestro proyecto se aprovechó los sondajes DDH-CAP19-01 y DDH-CAP19-02, para realizar la caracterización geotécnica en profundidad.

4.2.2 Litología

Después de la cobertura de suelo de cuarenta centímetros, se tiene un promedio de 21 m de lutitas, luego se tiene rocas subvolcánicas que se intercalan con areniscas.

4.2.3. Caracterización geomecánica de rocas

A) Lutita gris

- Por su génesis: Roca Sedimentaria detrítica,
- Color: Gris verdoso claro.
- Dimensiones de granos componentes de la roca: limo arcillas con matriz calcárea, con vetas de calcita rellenando micro fisuras, Con diseminaciones de pirita en forma esporádica.
- Textura: estratificada de grano fino, equi-granulares.
- Meteorización: el fragmento presenta intensa meteorización, alta decoloración de los planos de discontinuidad producto de la alteración.
- Resistencia: Roca blanda a poco resistente, se raya con la uña y se fragmenta con la mano.
- Durabilidad: la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca de alto debilitamiento y desintegración al ser sumergida al agua.
- Porosidad: Es altamente porosa, poco permeable.
- Permeabilidad: primaria por poros.
- Densidad seca: 2,64 gr/cm³.
- Densidad húmeda: 2,67 gr/cm³.
- Resistencia a la compresión (Rc) = 00 hasta 25 Mpa
- Resistencia a la Tracción (Rt) = 00 hasta 2,3 Mpa

- Angulo de fricción (ϕ) = $< 32^\circ$
- Discontinuidades: Las cajas techo y piso están principalmente en contacto-falla con la veta y presenta discontinuidades (diaclasas) transversales al rumbo de la mineralización; en las vetas anchas se presenta brecha de falla (relleno de roca triturada con panizo) de hasta 0.25m de espesor, que no permite un contacto directo entre la caja techo y el mineral, formando una superficie de debilidad.
- Persistencia de discontinuidad: el contacto falla es muy alta, longitudes mayores de 20m, siguiendo el rumbo de la estructura mineralizada; las diaclasas presentan una persistencia muy baja menores de 0.10.m.
- Espaciamiento de discontinuidades: es medio entre 0.03 a 0.30m.
- Separación de las superficies de discontinuidades: extremadamente estrecha a cerrada entre 5 a 0mm.
- Rugosidad: suave a lisa ondulante en el contacto con la brecha de falla; en las diaclasas es áspera a rugosa ondulante.
- Relleno de discontinuidad: Es el material que se encuentra separando las paredes de la discontinuidad, en el caso de la lutita las diaclasas tiene como relleno a la calcita, pirita, carbonatos y en algunos casos es limpia.
- Humedad y permeabilidad del relleno: los materiales de relleno están mojados, pero no existe agua libre, ni por goteo, la permeabilidad es secundaria.
- Aguas subterráneas: la circulación de aguas en las lutitas es esporádica a lo largo de las discontinuidades, manifestándose como goteo lento en zonas puntuales.

- Grado de alteración de la lutita presenta una alteración intensa, donde la decoloración es total cuya manifestación se representa de lutita roja a gris clara a gris verdosa; además, presenta debilidad en todo el fragmento rocoso.
- Número de familias de discontinuidades: La lutita, presenta de cuatro a cinco sistemas de discontinuidades siendo predominante la que es paralela a las estructuras mineralizadas; estos forman bloques tridimensionales que tienen más grado de libertad para la deformación del macizo; en estos casos no se observa las discontinuidades hacia adentro de la caja techo que si presenta, esto es conocida como fallas ocultas, que están siendo movidos por empujes laterales producto de los esfuerzos del macizo rocoso.
- Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento: la unión entre los fragmentos determina el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso son romboedros formados por las tres familias de discontinuidades aproximadamente ortogonales; que forman fragmentos equi-dimensionales.

B) Rocas clásticas cementadas

- Componentes: Cuarzo, feldespato, micas, arcillas, fragmentos de otras rocas.
- Tipos: argilitas - limonitas calcarenitas.
- Enlaces estructurales de componentes cementados.
- El comportamiento tiene mucha relación con el tipo y naturaleza del cementante:
 - Arenisca con cementante calcáreo resistencia mínima
 - La resistencia disminuye con las impurezas de: Fragmentos meteorizados y presencia de arcillas.

- Incremento de presión con profundidad y compresión por plegamientos.
- Recristalización por contacto.
- Vulnerables al meteorismo si hay componentes alterables. Vulnerables al agua si hay cementantes arcillosos y/o calcáreos.

C) Areniscas

Se presentan en estratos concordantes con las lutitas, y en algunos sectores en capas delgadas dentro de las margas; son de grano fino a grueso, dentro de una matriz calcárea; presenta buena consistencia y está comprendida dentro la calificación geomecánica como roca competente; el fracturamiento es menor y el grado de alteración es bajo.

- Por su génesis: Roca sedimentaria detrítica denominada arenisca.
- Color: gris verdoso claro a gris rojizo claro.
- Dimensiones de granos componentes de la roca: arenas de grano fino a medio, en algunos casos en una matriz calcárea ó limo-arcilla, en estratos concordantes con la lutita.
- Textura: granular.
- Meteorización: el fragmento de roca presenta ligera meteorización.
- Resistencia: Es resistente a muy resistente.
- Durabilidad: la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca que no presenta debilitamiento al ser sumergida al agua.
- Densidad seca: 2.73 gr./cm³.
- Densidad húmeda: 2.74 gr./cm³.
- Resistencia a la compresión (Rc)=50hasta100 Mpa
- Resistencia a la Tracción (Rt) = 2,8 8,3 Mpa

- Ángulo de fricción (ϕ)=26° a 35°
- Discontinuidades: la arenisca presenta discontinuidades notables, como los planos de estratificación y fracturas continuas.
- Persistencia de discontinuidad: si la arenisca presenta falla geológica la persistencia es alta, longitudes mayores de 10m, siguiendo el rumbo de la falla; las diaclasas presentan una persistencia baja menores de 0.30m.
- Espaciamiento de discontinuidades: es bajo entre 0.05 a 0.30m.
- Separación de las superficies de discontinuidades: es estrecha a cerrada entre 2 a 0.0mm.
- Rugosidad: moderada a rugosa en las diaclasas y el contacto.
- Relleno de discontinuidad: es el material que se encuentra separando las paredes de la discontinuidad, en el caso de la arenisca tenemos relleno de calcita, pátinas de óxidos, limpia y carbonatos.
- Humedad y permeabilidad del relleno: los materiales de relleno están humedecidos, en algunos casos se presenta goteos, la permeabilidad es primaria.
- Aguas subterráneas: la manifestación es por goteo y esporádicamente en flujos pequeños, hasta que se deprima las aguas fósiles entrampada en los poros y las fisuras.
- Grado de alteración: en la arenisca la alteración es insipiente a ligera, principalmente en los planos de discontinuidad, manifestándose por una decoloración rojiza.
- Número de familias de discontinuidades: la arenisca presenta tres a cuatro sistemas de discontinuidad, siendo predominante la que es

paralela a la estructura mineralizada cercana y los planos de estratificación, estos forman bloques tridimensionales.

- Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento: estas características entre los bloques determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso tienen la forma cúbica a romboedros.

-Grado de fracturamiento y tamaño de los bloques: la arenisca del yacimiento se presenta generalmente Fracturado (F) a Muy Fracturado (MF), en fragmentos pequeños con una densidad mayor de 15 diaclasas por metro cúbico; formando fragmentos pequeños hasta medianos.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

A) CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE Q, DE BARTON, LIEN Y LUNDE; DEL INSTITUTO GEOTÉCNICO DE NORUEGA

- *Lutita*

Parámetros considerados:

*Índice de Calidad de la Roca **RQD = 15 -25%**

*Nº de familia de discontinuidades **Jn = 12 - 9**

*Rugosidad planos de discontinuidades **Jr = 0.5 - 1.5**

*Alteración de discontinuidades **Ja = 8 - 4**

*Presencia de agua **Jw = 1.0**

*Factor de reducción de esfuerzos **SRF = 10- 5**

$$Q = RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$$

Reemplazando valores obtendremos:

Q = entre 0.008 a 0.208

Tipo de Roca: Excepcionalmente Mala a Muy Mala

- *Arenisca*

Parámetros considerados:

*Índice de Calidad de la Roca **RQD = 25 -70%**

*Nº de familia de discontinuidades **Jn = 9 – 3**

*Rugosidad planos de discontinuidades **Jr = 1 – 3**

*Alteracion de discontinuidades **Ja = 3 – 1**

*Presencia de agua **Jw = 1.0**

*Factor de reducción de esfuerzos **SRF = 10- 5**

$$Q = RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$$

Reemplazando valores obtendremos:

Q = entre 0.009 a 14

Tipo de Roca: Excepcionalmente Mala a Buena

Para una excavación de 4m de ancho, la De (Dimensión equivalente de la excavación) es de 2.0 – 0.8, estas dimensiones mencionadas intercepta en una labor temporalmente abierta, por lo tanto le corresponde un valor de ESR (Relación de sostenimiento de la Excavación) de 2.0 – 5.0; entonces se grafica estos datos, tanto de los valores Q hallados como la de De, y observamos que los puntos caen dentro de la categoría en la cual todas las labores requieren de sostenimiento.

B) CLASIFICACIÓN SEGÚN RMR DE BIENIAWSKY, DEL CONSEJO

SUDAFRICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

- *Lutita Gris*

Parámetros considerados:

*Resistencia de compresión uniaxial = 2 - 7

*Indice de calidad de la roca RQD = 3

*Espacio entre discontinuidades = 5 – 10

*Condicion de las discontinuidades = 6 – 12

*Condicion de infiltración de agua = 7

*Orientacion de las discontinuidades = (-) 10

Reemplazando valores obtendremos:

RMR: 13 a 29

Tipo de Roca V a IV : Muy Mala a Mala

- *Arenisca*

Parámetros considerados:

*Resistencia de compresión uniaxial = 7

*Indice de calidad de la roca RQD = 3 - 13

*Espacio entre discontinuidades = 5 – 20

*Condicion de las discontinuidades = 12 – 20

*Condicion de infiltración de agua = 7

*Orientacion de las discontinuidades = (-) 10, (-) 5

Reemplazando valores obtendremos:

RMR: 24 a 62

Tipo de Roca IV a II: Muy Buena

c) CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GSI:

- *Lutita Gris*

Parámetros considerados:

*Grado de Fracturamiento = Intensamente fracturada, RQD = 15 –25 % con muchas discontinuidades formando fragmentos angulosos e irregulares.

*Condiciones = Muy pobre extremadamente alterada se penetra más de 5mm con la picota de Geólogo.

*Relleno de fracturas = Relleno blando de carbonatos y arcillas, cuatro sistemas de discontinuidades, mas de 20 fracturas por metro.

Clasificación GSI= IF / MP = Intensamente Fracturada, Muy Pobre

Arenisca

Parámetros considerados:

*Grado de fracturamiento = Muy fracturada regular. RQD = 25 – 70 %

*Condiciones = Moderadamente resistente, leve a ligeramente alterada, se rompe con mas de dos golpes con la picota de Geólogo.

*Relleno de fracturas = Muy fracturada con mas de tres sistemas de discontinuidades, relleno de calcita y arcillas.

Clasificación GSI= MF / R = Muy Fracturada, Regular

4.4 Discusión de resultados

4.4.1. Mapeo geológico detalle tajo capilla

El área esta mayormente cubierta por suelo de cultivo, debajo de la cobertura se presenta un suelo heterogéneo de color blanquecino, rojizo, amarillenta y gris oscuro con una potencia promedio de 6 m; de forma ondulada concordante a una topografía antigua, en ciertas áreas presentan mayormente fragmentos de cuarcitas silicificada y pátina de jarosita, goethita, hematita y escorodita con contenido de oro.

Todo el material indicado sobreyace a rocas subvolcánicas de composición andesita, afanítica, melanocrata, microporfirítica, variando de gris verdosa a verde clara y en otros gris violáceos; a veces se observan argilizados de fuerte a moderado de color blanquecino y localmente esta silicificado débil a moderado y débilmente oxidada, pero con pobre mineralización de oro.

Asimismo, se observa un vetilleo milimétrico de calcita y vetillas centimétricas de cuarzo lechoso fracturado, con relleno de óxidos goethíticos en stock works. En ciertos tramos se aprecia fragmentos de cuarzo lechoso fracturado y remanentes de bloques de cuarcitas silicificadas en stocks works tapizado por óxidos de jarosita y goethita; localmente se ha observado vetas de cuarzo lechoso intruyendo el sub volcánico andesítico, donde es notorio el desarrollo de enjambres tabulares de cuarzo pseudomorfo después de baritina; la presencia de algunos sulfuros de galena, argentita y pátinas de escorodita es localmente distribuida dentro de ésta unidad subvolcánica, la cual se toma fuertemente fracturada en las cercanías de los contactos con la unidad silicea del Chimú.

En el área evaluada aflora un paquete de la Formación Chimú, algo elongado de cuarcita de color gris claro silicificado masivo fuertemente disturbado, de estratificación mediana a gruesa, con vetilleo de cuarzo hialino tardío de aproximadamente 200 m por 300 m, cuyas capas tienen un rumbo de N5°E y N20°E, y buzan 30° y 40° al NW respectivamente; este block levantado de cuarcitas se asume que es un techo colgante, dentro del subvolcánico infrayacente; Hacia el Norte el subvolcánico adopta una configuración interdigitada dentro de algunos tramos de cuarcita, propia de una intrusión en profundidad, mientras que al sureste limitan con las cuarcitas con falla de contacto N45°E de alto ángulo.

En ambos casos existe mineralización aurífera interesante a lo largo de este contacto, asumiendo que todo este contexto geológico de mineralización de Au, Ag, Pb, As y otros, sea el foco mineralizantes (epigenético) de toda la mineralización dispersa en la parte baja del talud con la posterior formación

de remanentes de deposición de mineral coluvial (singenético) que globalmente suprayacen a rocas subvolcánicas andesíticas asociadas a una actividad magmática.

4.4.2. Tipo de sostenimiento

Con la roca muy incompetente y labor altamente inestable. Las distintas variables adversas que afectan a la roca nos llevaron a evaluar cual sería el sostenimiento apropiado para el proyecto, se consideró muchos parámetros para un adecuado diseño de sostenimiento, definiendo que la solución está en la propia roca optamos por los elementos que trabajan dinámicamente dentro del macizo rocoso; estos fueron el Shotcrete y los pernos Hydrabolt, con muchas ventajas técnico-económico favorables para nuestro requerimiento; el Shotcrete se utiliza como elemento preventivo de soporte para el control de la relajación inicial del macizo, mientras que el Hydrabolt como elemento definitivo de soporte, cuyas propiedades importantes son:

- Confinar al macizo rocoso a una presión constante de 300bar, formando un arco de auto-soporte con la propia roca.
- Mantener en constante equilibrio de la excavación, sin generar mayores relajaciones que pueden generar en derrumbes o caída de rocas.
- Permitir explotar el yacimiento a sección completa (independiente de los anchos de las vetas), con una mayor productividad y seguridad.
- Ampliar la malla de anclaje, mientras que con un perno de fricción la malla era de 1.2x1.2m, con el Hydrabolt se amplió a una malla de 1.5x1.5m; de igual manera con los pernos de barra cementada la malla era de 1.5x1.5m, con el Hydrabolt se amplió a una malla de 1.8x1.8m.

- Estandarizar la longitud de los pernos, Hydrabolt de 5 pies para secciones menores de 3x3m e Hydrabolt de 7 pies para secciones mayores a la indicada hasta 20x6m.
- Evitar la instalación de pernos de mayor longitud.

CONCLUSIONES

- En el proyecto los macizos rocosos, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas de muy mala calidad, hacia regular, donde el riesgo es la caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud en labores subterráneas.
- Se puede realizar un promedio aproximado de las características geomecánicas, el espaciado de las juntas se encuentra entre 0,05 a 0,30 m, las familias de discontinuidades es en promedio 5, la resistencia es menor a 15MPa en las cajas y menor de 60 MPa en el mineral, la alteración es intensa en las cajas y moderado en el mineral, el relleno de fisuras es por arcillas y limpia, las aguas subterráneas es por goteo en las cajas y flujos en la estructura mineralizada.
- Luego de realizar la evaluación geomecánica se diseñó, para el control y la estabilización de las cajas una capa de 2" de concreto lanzado (Shotcrete) como elemento preventivo de sostenimiento y como sostenimiento definitivo utilizamos pernos compresión y fricción axial de 7 pies para mantener confinado el macizo rocoso.
- Los costos y riesgos en trabajos de labores subterráneos, están relacionados directamente y dependen primordialmente de las condiciones de la roca pudiendo estar intacta, fracturada o descompuesta; recurriendo para cada grado de alteración de la roca, a su correspondiente tipo de soporte, sin crear sobre dimensionamientos y evitando el encarecimiento de las obras.
- En zonas deleznales, normalmente se recurre a la instalación de cimbras metálicas, complementarias con chapas metálicas acanaladas como una posibilidad de garantizar la seguridad de la excavación. El optar por esta

solución, además de tener un alto costo, solamente consigue una calidad de "apuntalamiento" pero no realiza ningún trabajo de sostenimiento efectivo porque detrás de un aparente blindaje metálico, la roca circundante a la excavación prosigue con su proceso de aflojamiento, y con el transcurrir del tiempo surgen ocurrencias por deformaciones de las cimbras debido a sobrecargas de material derrumbado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda diseñar el tipo de sostenimiento de acuerdo al tipo de litología y a los parámetros de geomecánica.
- Tener mucho cuidado de examinar y definir las aberturas máximas, los tiempos de auto-soporte, y determinar el distanciamiento entre perno y perno.
- Si la persistencia es una constante inestabilidad en las labores subterráneas se recomienda utilizar las cimbras metálicas, a pesar de su alto costo, tratando de prevenir la seguridad
- Cuando una labor subterránea es excavada en zonas deleznable, sin cohesión, se recomienda en forma imprescindible instalar cimbras metálicas en calidad de soportes temporales con la finalidad de conservar la sección de excavación durante los primeros días. Con el transcurrir del tiempo, para evitar colapsos y derrumbes que comprometan la seguridad, este soporte debe complementarse y tener calidad de soporte permanente.
- Se recomienda que para decidir instalar cimbras metálicas debe ser el último recurso con que cuenta el constructor de la labor subterránea cuando el macizo rocoso opone un alto grado de dificultad al avance de la excavación; como al tomar esta opción implica sobrecostos que posibilitarán un encarecimiento de la obra.

BIBLIOGRAFÍA

- Aurelio Cossio N. “Geología de los Cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa” (hojas 17 y 18g), Bol N° 8, In; Perú 2.
- José Alarcón “Manual de Muestreo en Minería Subterránea”, Banco Minero del Perú; 1982. 3.
- Brown E.T. “Rock Characterization Testing and Monitoring” ISRM Suggested Methods – Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics – 1981.
- DCR Ingenieros S.R.Ltda. “Informe de Estudio Geomecánico para el Minado de Marcapunta Norte – Mina Colquijirca. Setiembre del 2008.
- Esterhuizen G.S. “Evaluation of the strength of slender pillars” National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, PA.). Pennsylvania 1999.
- Hoek E., Kaiser P., Bawden W. “Support of Underground Excavations in Hard Rock” A.A. Balkema 1995.
- Hoek E. “Practical rock engineering” Rocscience, 2002.
- GEO-SLOPE has developed computer software product(s) called CTRAN/W, SEEP/W, SLOPE/W, SIGMA/W, TEMP/W, QUAKE/W, VADOSE/W and Seep3D

ANEXOS

Logueo Geomecánico DDH-CAP19-01

SONDAJE		COORDENADAS ORIENTACIÓN		Este:		Norte:		9092143		Cota:		3390.000		10/07/2019		Versión: 2.0 #000719							
				Azimut:	Recuperación													Longitud:	146.80	Fecha:	Hoja		
Intervalo de Profundidad		LITOLOGÍA		Grado de Intemperism o/ Alteración		# Fracturas por corrida		Resistencia (MPa)		RQD		ESP.		Condic. de las discontinuidades		RMR		CLASE		FALLA			
Desde (m)	Hasta (m)	TOTAL (m)	Desde (m)	Desde (%)	Longitud z 0.10 m	Resistencia (MPa)	Fracturas por corrida	Resistencia (MPa)	RQD (%)	ESP.	Pe	Ap	Ru	Ra	Pe	Ap	Ru	Ra	Agua	RMR Total	CLASE	De (m)	Total
0.00	2.70	2.70	SS	100	2.70	E	4	RS	12	20	15	4	4	5	4	5	4	5	10	84	TIPO I		
2.70	5.70	3.00	SS	100	3.00	E	3	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
5.70	8.60	2.90	SS	99	2.88	E	3	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
8.60	11.10	2.50	SS	100	2.50	E	4	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
11.10	14.10	3.00	SS	99	2.97	E	5	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
14.10	17.00	2.90	SS	100	2.89	E	4	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
17.00	19.30	2.30	SS	100	2.30	E	5	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
19.30	22.00	2.70	SS	100	2.70	E	5	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	4	10	84	TIPO I		
22.00	24.40	2.40	SS	100	2.40	D	6	R4	100	7	20	10	6	4	5	4	3	10	72	TIPO II			
24.40	26.70	2.30	SS	99	2.28	D	5	R4	100	7	20	10	6	4	5	4	3	10	69	TIPO II			
26.70	28.60	1.90	SS	99	1.82	D	6	R4	97	7	20	10	6	4	5	4	3	10	72	TIPO II			
28.60	30.10	1.50	SS	97	1.45	D	7	R3	94	4	20	8	6	0	3	0	1	10	53	TIPO IIIA			
30.10	31.90	1.80	SS	96	1.64	C	8	R3	93	4	20	8	6	0	3	0	1	10	53	TIPO IIIA			
31.90	34.00	2.10	SS	99	2.08	D	6	R4	100	7	20	10	6	4	5	4	3	10	70	TIPO II			
34.00	36.30	2.30	SS	100	2.30	D	5	R4	100	7	20	10	6	4	5	4	3	10	72	TIPO II			
36.30	39.10	2.80	SS	100	2.80	E	4	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
39.10	42.00	2.90	SS	100	2.90	E	5	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
42.00	45.00	3.00	SS	100	3.00	E	6	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
45.00	47.85	2.85	SS	100	2.85	E	7	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
47.85	50.80	2.95	SS	100	2.95	E	5	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
50.80	53.55	2.75	SS	100	2.75	E	6	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
53.55	54.40	0.85	SS	100	0.85	E	6	RS	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
54.40	56.25	1.85	SHL	100	1.85	D	7	R4	97	7	20	8	6	4	5	4	3	10	74	TIPO II			
56.25	57.80	1.55	SHL	100	1.55	D	8	R4	97	7	20	8	6	4	5	4	3	10	70	TIPO II			
57.80	59.60	1.80	SHL	100	1.80	D	9	R4	100	7	20	8	6	4	5	4	3	10	70	TIPO II			
59.60	61.25	1.65	SS	100	1.65	D	5	R4	100	7	20	10	6	4	5	4	3	10	72	TIPO II			
61.25	62.80	1.55	SS	100	1.55	D	5	R4	100	7	20	10	6	4	5	4	3	10	72	TIPO II			
62.80	64.20	1.40	SHL	100	1.25	C	11	R3	89	4	3	8	6	5	3	6	1	10	47	TIPO IIB			
64.20	66.10	1.90	SHL	98	1.72	C	14	R3	92	4	3	8	6	5	3	6	1	10	64	TIPO IIB			
66.10	68.45	2.35	SS	99	2.32	C	15	R4	100	7	20	8	6	1	3	2	1	10	59	TIPO IIIA			
68.45	71.25	2.80	SS	99	2.77	C	18	R3	97	4	20	8	6	1	3	2	1	10	56	TIPO IIIA			
71.25	73.90	2.65	SS	100	2.60	C	14	R3	100	4	20	8	6	1	3	2	1	10	56	TIPO IIIA			
73.90	76.35	2.45	SS	100	2.32	C	14	R3	95	4	20	8	6	1	3	2	1	10	56	TIPO IIIA			
76.35	78.90	2.55	SS	100	2.55	C	13	R4	100	7	20	8	6	1	3	2	1	10	59	TIPO IIIA			
78.90	81.80	2.90	SS	100	2.90	D	6	R4	100	7	20	15	4	1	5	4	5	10	76	TIPO II			
81.80	84.65	2.85	SS	100	2.85	D	5	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
84.65	87.60	2.95	SS	100	2.85	E	6	R5	97	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
87.60	90.60	3.00	SS	100	3.00	E	7	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
90.60	93.60	3.00	SS	100	3.00	E	5	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
93.60	96.25	2.65	SS	100	2.65	E	6	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
96.25	99.10	2.85	SS	100	2.85	E	8	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
99.10	101.80	2.70	SS	100	2.70	E	7	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
101.80	104.60	2.80	SS	100	2.80	E	6	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
104.60	107.60	3.00	SS	100	3.00	E	7	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
107.60	110.35	2.75	SS	100	2.75	E	6	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	84	TIPO I			
110.35	113.00	2.65	SS	100	2.65	E	5	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	84	TIPO I			
113.00	115.70	2.70	SS	100	2.70	E	6	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
115.70	118.20	2.50	SS	100	2.50	E	5	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
118.20	121.05	2.85	SS	100	2.85	E	7	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
121.05	123.70	2.65	SS	100	2.65	E	8	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	81	TIPO I			
123.70	126.50	2.80	SS	100	2.80	E	9	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	84	TIPO I			
126.50	129.30	2.80	SS	100	2.80	E	10	R5	100	12	20	15	4	1	5	4	5	10	84	TIPO I			
129.30	130.00	0.70	SS	97	0.70	E	2	R2	100	12	20	15	4	4	5	4	5	10	84	TIPO I			
130.00	131.80	1.80	SV	97	1.75	D	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	33	TIPO IVA			
131.80	133.95	2.15	SV	99	2.12	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	33	TIPO IVA			
133.95	135.80	1.85	SV	100	0.00	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	33	TIPO IVA			
135.80	138.10	2.30	SV	99	2.28	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	33	TIPO IVA			
138.10	140.05	1.95	SV	100	1.95	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	29	TIPO IIB			
140.05	142.55	2.50	SV	99	2.46	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	33	TIPO IIB			
142.55	144.60	2.05	SV	100	2.02	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	29	TIPO IIB			
144.60	146.80	2.20	FIN	100	2.20	C	0	R2	0	2	3	5	0	1	0	6	3	10	33	TIPO IVA			

**Código Empleado Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. COMARSA –
Proyecto Capilla**

UCS Roca Intacta			Resistencia de la Roca Intacta (MPa)	
>250 Mpa	Roca extremadamente resistente	15	La muestra es rasgado por la picota.	R6
100 - 250 Mpa	Roca muy resistente	12	La muestra requiere muchos golpes de la picota para ser fracturada (5 golpes).	R5
50 - 100 Mpa	Roca resistente	7	La muestra requiere mas de un golpe para ser fracturada (3 golpes).	R4
25 - 50 Mpa	Roca moderadamente resistente	4	No puede ser rasgado o pelado con una navaja, la muestra se puede fracturar con un simple golpe de la picota (1 golpe).	R3
5 - 25 Mpa	Roca débil	2	Puede rasgarse con dificultad con una navaja, se indenta superficialmente con la punta de la picota.	R2
1 - 5 Mpa	Roca muy débil	1	Se desmorona con un simple golpe con la punta de la picota, puede rasgarse con una navaja.	R1
0.25 - 1 Mpa	Roca extremadamente débil	0	Se indenta con la uña.	R0

Grado de Intemperismo / Alteración	
Suelo Residual/Zona de Falla.	A
Completamente intemperizada/alterada.	B
Altamente intemperizada/alterada.	C
Moderadamente intemperizada/alterada.	D
Débilmente intemperizada/alterada.	E
Débilmente intemperizada/alterada.	F

Valoración del Macizo Rocoso Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A.

COMARSA – Proyecto Capilla

Espaciado	
> 2 m	20
0.6 - 2 m	15
20 - 60 cm	10
6 - 20 cm	8
< 6 cm	5

Persistencia	
< 1 m	6
1 - 3 m	4
3 - 10 m	2
10 - 20 m	1
> 20 m	0

Apertura	
Ninguno	6
< 0.1 mm	5
0.1 - 1.0 mm	4
1 - 5 mm	1
> 5 mm	0

Rugosidad	
Muy. Rugoso	6
Rugoso	5
Lig. Rugoso	3
Lisa	1
Pulida	0

Agua	
Seco	15
Lig. Humedo	10
Humedo	7
Goteo	4
Flujo Agua	0

Tipo de Relleno	
Sin relleno	NF
Óxido	Ox
Panizo	Go
Arena	Sd
Carbonatos	Carb
Arcilla	Arg
Sericita	Ser
Clorita	Chl
Sulfuros	Sul
Cuarzo	Qz

Relleno	
Ninguno	6
Duro < 5 mm	4
Duro > 5 mm	2
Suave < 5 mm	1
Suave > 5 mm	0

Alteración	
Fresca	6
Lig. Alterada	5
Mod. Alterada	3
Alt. Alterada	1
Descompuesta	0

RQD (%)	
90% - 100%	20
75% - 90%	17
50% - 75%	13
25% - 50%	8
<25%	3

Descripción	RMR
Muy Mala - V	0 - 20
Mala B - IVB	21 - 30
Mala A - IVA	31 - 40
Regular B - IIIB	41 - 50
Regular A - IIIA	51 - 60
Buena - II	61 - 80
Muy Buena - I	81 - 100

*Códigos, Litología – Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. COMARSA –
Proyecto Capilla*

Litho Type	Description	RGB	Colour	Code	Unit
OVB	Cobertura	217, 217, 217		999	Dep. Cuaternario
SS	Arenisca	255, 255, 0		100	Sedimentario
CZT	Cuarcita	0, 255, 0		115	Metamórfico
SHL	Lutita	153, 102, 0		110	Sedimentario
LS	Caliza	0, 169, 230		120	Sedimentario
EVA	Manto Evaporita	0, 153, 153		130	Sedimentario
COAL	Horizonte Carbón	0, 0, 0		135	Sedimentario
LV	Lava	255, 102, 0		150	Volcánico
TB	Toba	191, 143, 0		155	Volcánico
SV	Sub-Volcánico	255, 51, 204		160	Intrusivo
VN	Veta	153, 0, 255		170	Estructura
QV	Veta Cuarzo	255, 0, 0		175	Estructura
FLT	Falla	0, 0, 255		180	Estructura
IBX	Inyección de Brecha	255, 204, 153		190	Brecha

*Códigos, Alteración – Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. COMARSA –
Proyecto Capilla*

Alt. Type	Description	RGB	Colour	Code
NA	Roca no alterada			299
SIL	Silicificación	255, 0, 0		200
ARG	Argílica	255, 255, 0		211
IARG	Argílica Intermedia	255, 204, 0		212
AARG	Argílico Avanzado	255, 102, 0		213
PROP	Propilítica	0, 255, 0		221
CLO	Cloritización	0, 128, 0		222
PHY	Fílica	204, 0, 255		241
SER	Sericita	255, 124, 128		242

TRABAJOS DE CAMPO
RECOLECCIÓN DE DATOS

Cores ubicados en la mesa para realizar el Logueo



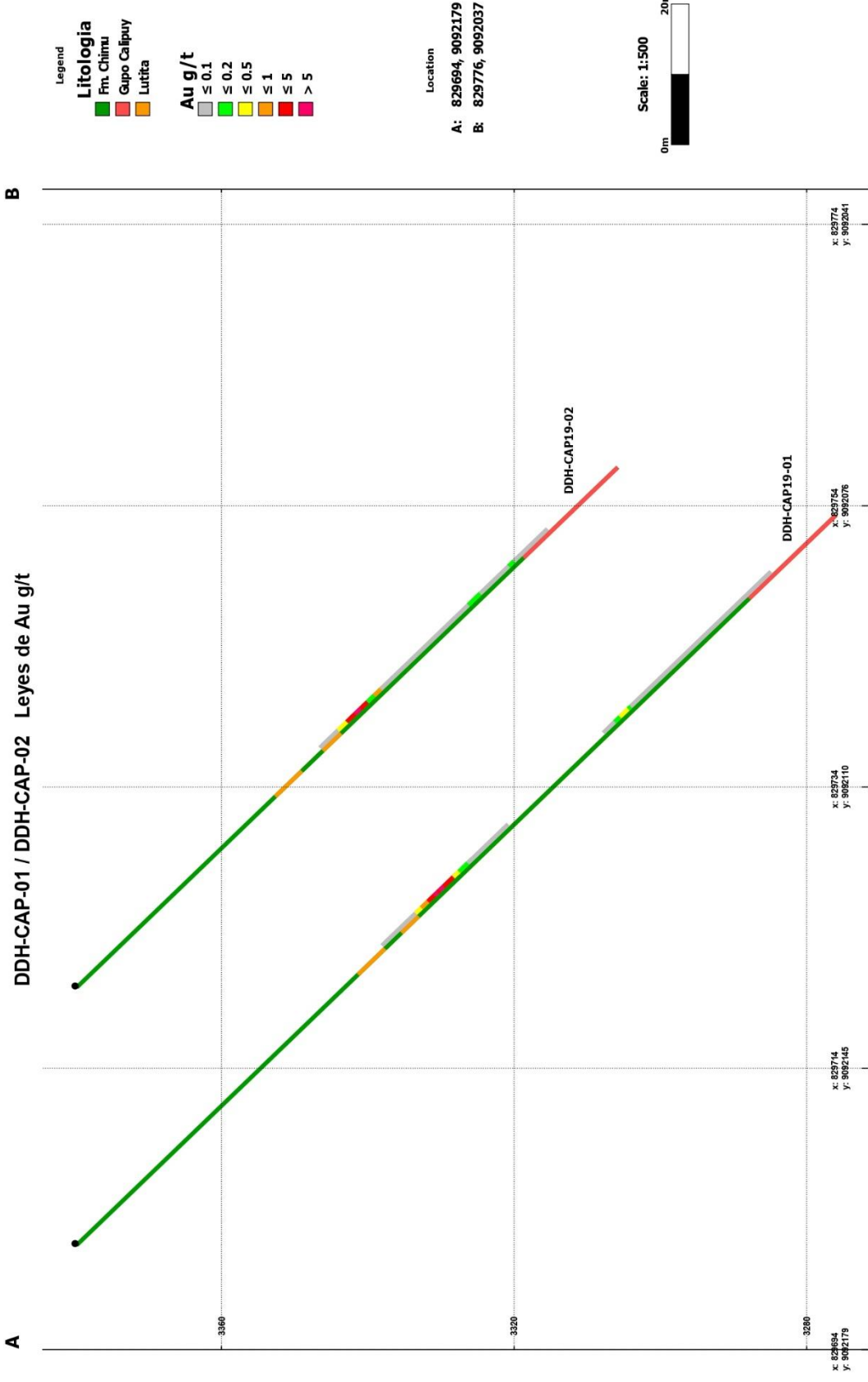
Logueo de Cores



Cores terminados de logear ubicados para la toma de fotografía



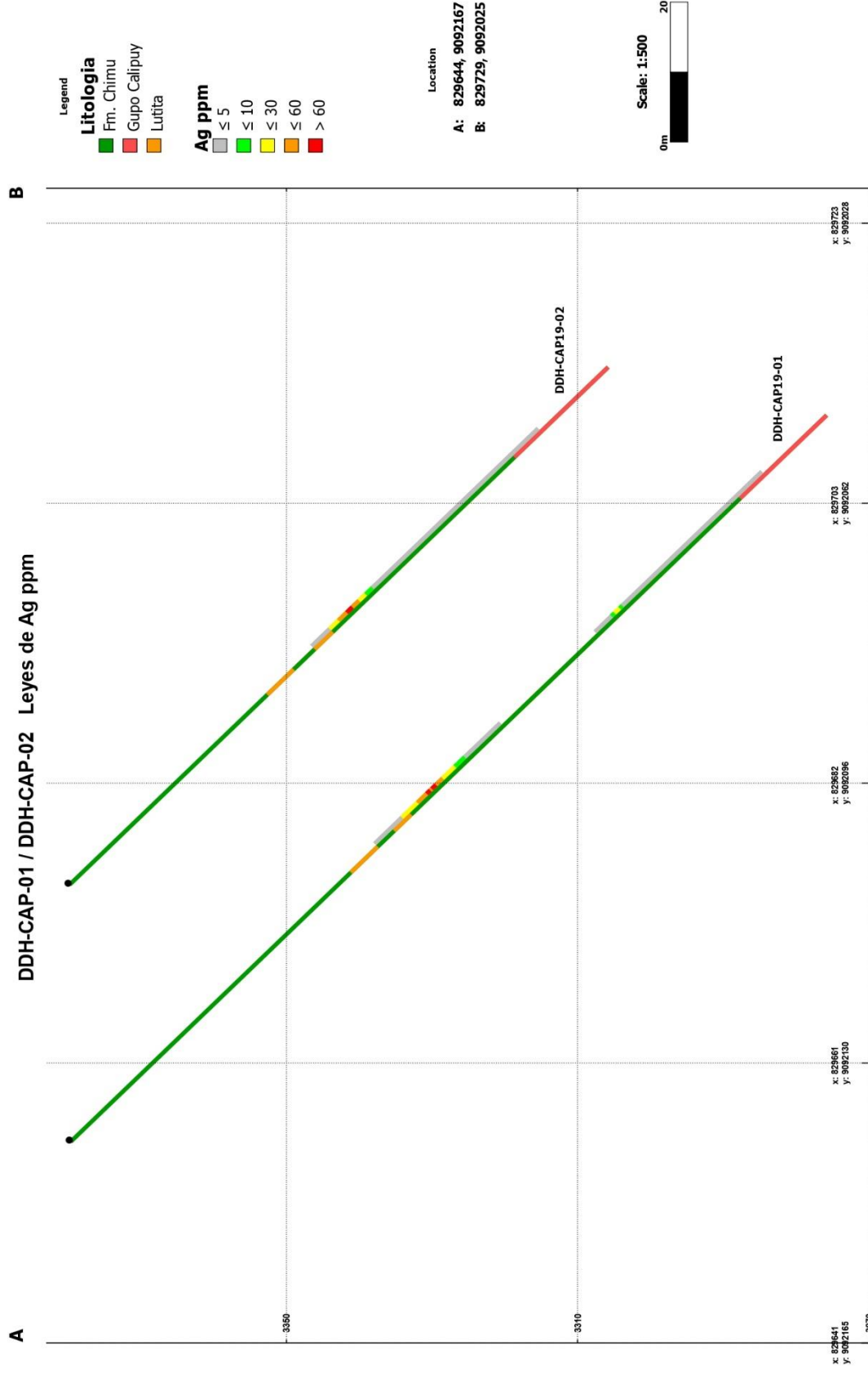
PLANOS



UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA

SONDAJES CON LEYES DE AU

DIBUJO: B. HUAMALI N.	REVISADO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - COMARSA
ESCALA: 1:500	FECHA: AGOSTO 2019
PLANO N°: 01	

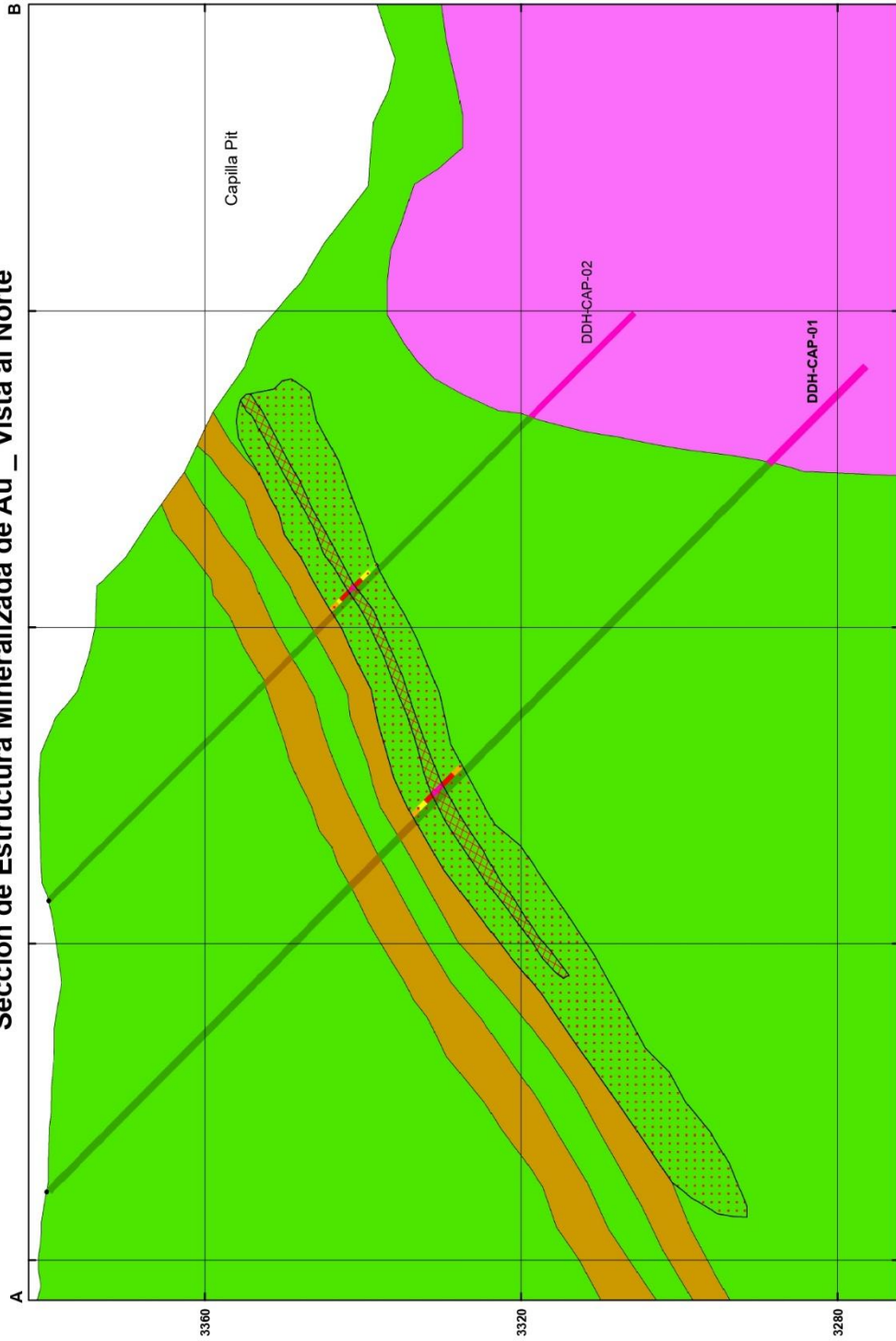


UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA

SONDAJES CON LEYES DE AG

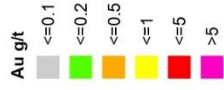
DIBUJO: B. HUAMALI N.	REVISADO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - COMARSA
ESCALA: 1:500	FECHA: AGOSTO 2019
PLANO N°: 02	

Sección de Estructura Mineralizada de Au _ Vista al Norte



Leyenda

- Grupo Calipuy
- Fm. Chimu
- Lutita



Ocurrencias

- Masivo
- Diseminado

Location

A: 829695, 9092178
 B: 829776, 9092038

x: 829757
y: 9092072

x: 829737
y: 9092106

x: 829717
y: 9092141

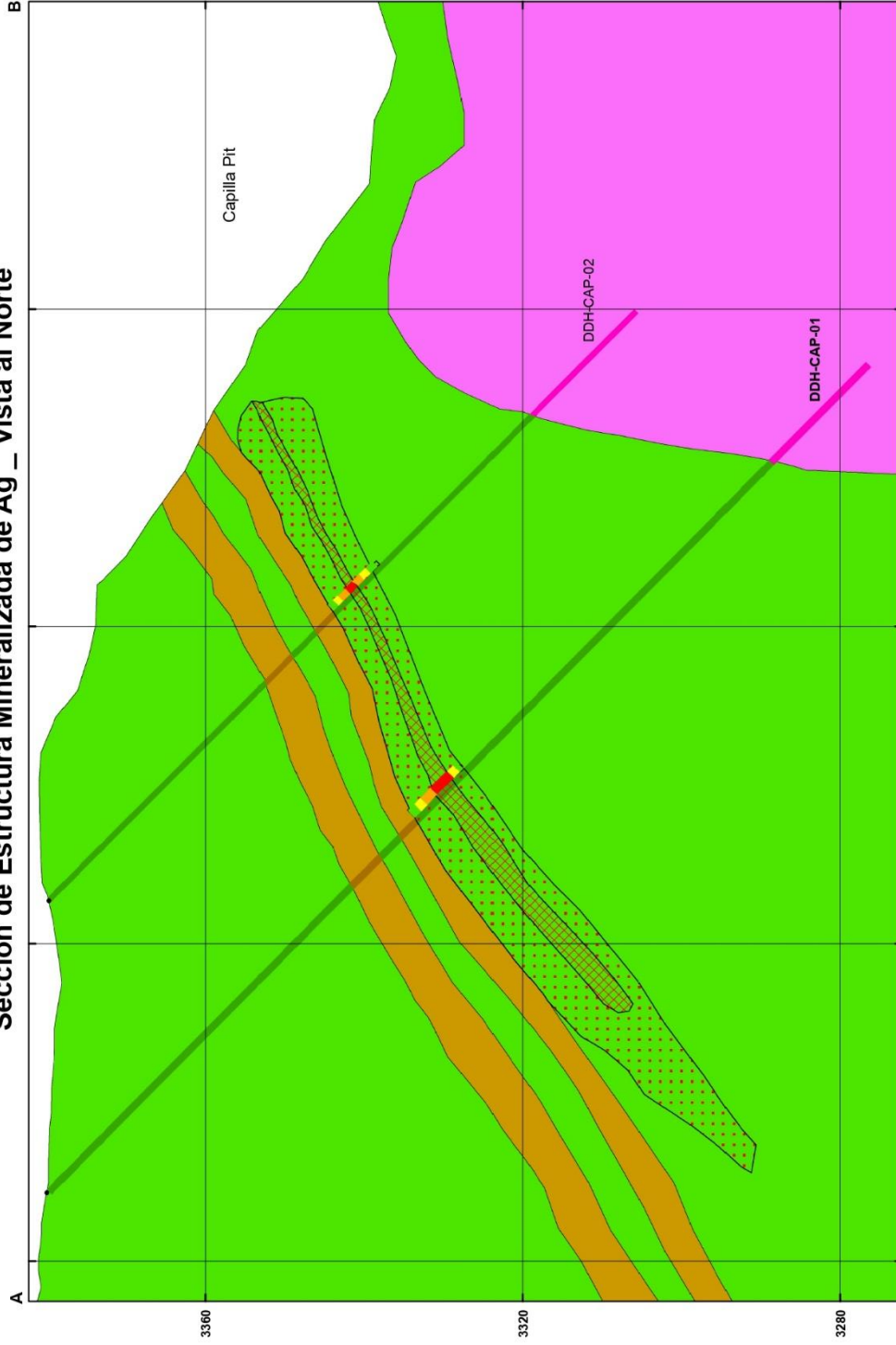
x: 829697
y: 9092175

Escala: 1/500



 UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN" FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA	
SECCIÓN - ESTRUCTURA MINERALIZADA DE AU CON VISTA HACIA EL NORTE	
DIBUJO: B. HUAMALI N.	REVISADO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - COMARSA
ESCALA: 1:500	FECHA: AGOSTO 2019
	PLANO N°: 03

Seccion de Estructura Mineralizada de Ag_ Vista al Norte



Leyenda

- Grupo Calipuy
- Fm. Chimú
- Lutita

Ag ppm

- <=5
- <=10
- <=30
- <=60
- >60

Ocurrencias

- Masivo
- Diseminado

Location

A: 829695, 9092178
 B: 829776, 9092038

x: 829697
 y: 9092175

x: 829737
 y: 9092106

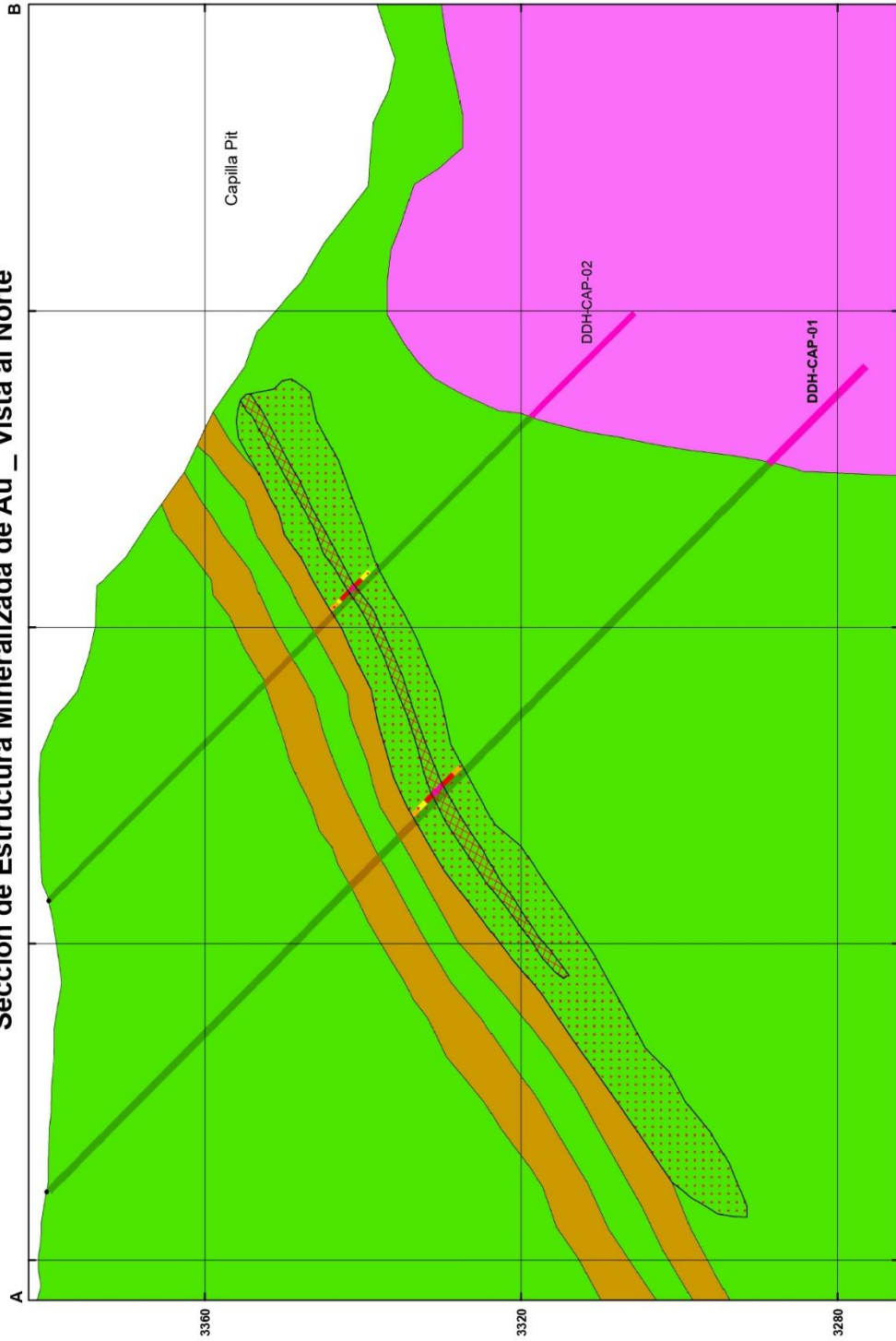
x: 829757
 y: 9092072

Escala: 1/500



 UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN" FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA	
SECCIÓN, ESTRUCTURA MINERALIZADA DE AG CON VISTA HACIA EL NORTE	
DIBUJO: B. HUAMALI N.	REVISADO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - COMARSA
ESCALA: 1:500	FECHA: AGOSTO 2019
PLANO N°: 04	

Sección de Estructura Mineralizada de Au _ Vista al Norte



Leyenda

- Grupo Calipuy
- Fm. Chimu
- Lutita

- Au g/t**
- <=0.1
 - <=0.2
 - <=0.5
 - <=1
 - <=5
 - >5

Ocurrencias

- Masivo
- Diseminado

Location

A: 829695, 9092178
 B: 829776, 9092038

x: 829757
 y: 9092072

x: 829737
 y: 9092106

x: 829717
 y: 9092141

x: 829697
 y: 9092175

Escala: 1/500



 UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN" FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA	
SECCIÓN - ESTRUCTURA MINERALIZADA DE AU CON VISTA HACIA EL NORTE	
DIBUJO: B. HUAMALI N.	REVISADO: DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - COMARSA
ESCALA: 1:500	FECHA: AGOSTO 2019 PLANO N°: 03