

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTIMACION DE LOS VALORES DE LA COHESION Y FRICCION DEL
MACIZO ROCOSO DE BAJA RESISTENCIA A PARTIR DE ENSAYOS DE
CORTE DIRECTO IN-SITU”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCION EN INGENIERIA GEOTECNICA**

ELABORADO POR

ING. LUIS SERAFIN GONZALES HIJAR

ASESOR

MSc.Ing. JOSE WILFREDO, GUTIERREZ LAZARES

LIMA, PERU

2012

A mis queridos padres

Serafín y Florencia

Por su Amor y Ejemplo

A mis Hermanos

Adolfina, Carlos, Susana, Isabel, Josselin

A mi Esposa

María Luz

Que es la razón de mis esfuerzos

Con todo mi amor

A mi querida Hija

Anna

AGRADECIMIENTOS

Mi mejor cariño y estima especial a la Sra. María Antonieta Luperdi de Alva y Esposo

A mis amigos los Señores trabajadores de la UNI Gilberto Escalante Velásquez (+) y Miguel Senén Timoteo (+)

Gracias por el apoyo a las familias Ruiz Góngora

Un agradecimiento especial a mí asesor Mg. Ing. José Wilfredo Gutiérrez Lazares, quien desde un principio me brindo su apoyo desinteresado.

Al Jefe de Post-Grado de la FIC-UNI Mg. Ing. Francisco Coronado del Águila por su contante apoyo, al jefe del DAMS Mg. Ing. Cesar Atala Abad, al M.I Ing. Alberto Martínez Vargas por confiar y darme su apoyo incondicional para la conclusión de la tesis, al Mg. Ing. Carlos Huamán Egoavil, por sus conocimientos y experiencia, al Ing. Luis Chang y al alumno Pablo Torres por su apoyo.

A las Señoras Julia, Flavia Quispe y al Personal del Laboratorio N°2 Mecánica de Suelos por su apoyo desinteresado e incondicional.

A la Señora Marisol Muñoz y Señor Saúl Pinedo de Postgrado FIC-UNI

Al señor Jaime Soria Agreda por su comprensión.

Al Ing. Carlos Barzola Gastelú jefe de la Oficina de Bienestar de la UNI y a la ARUNI por el apoyo para utilizar el área de terreno para realizar los ensayos respectivos.

Al Señor Jorge Talaverano Yñigo por su apoyo y su aliento constante

Al Señor Montes y al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales FIC-UNI

Al Señor Salvador Rosario y al personal del área de Mantenimiento de la FIC-UNI

Al tallador Ayacuchano Sr. Humberto Anaya por su apoyo

A los trabajadores de construcción Civil de la UNI, por su apoyo desinteresado

A todas las personas amigas, que de una u otra forma me ayudaron a la culminación de esta Tesis.

RESUMEN

El tema desarrollado en el presente trabajo de investigación, está referido a la estimación de los parámetros de cohesión y fricción a partir de ensayos de corte directo in-situ en un macizo rocoso de baja resistencia.

En la evaluación realizada, se ha considerado un macizo rocoso de naturaleza pétreo pseudometamorfica del tipo Lutita pizarrosa, altamente fracturada, con una distancia tan próxima entre las discontinuidades, que los planos de debilidad dividen al conjunto en elementos interconectados entre sí por dichas discontinuidades las cuales en forma predominante favorecen la rotura, siendo lo más razonable suponer que se tratara realmente de un suelo en este caso del tipo grava angulosa semicompacta, por lo que se utiliza los índices de calidad que se puedan asegurar al macizo rocoso y valorar la resistencia del conjunto en base a los criterios de Mohr - Coulumb. En general se puede decir que el conjunto se ha analizado como si se tratase de un medio homogéneo.

La obtención de la estimación de los parámetros de cohesión y fricción se realizó mediante ensayos de corte directo in-situ, que consistieron en medir la resistencia al corte de un macizo rocoso de mala calidad en superficie, mediante el tallado de nueve especímenes (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9) de muestra-bloque de roca de tipo Lutita pizarrosa, realizándose en total 3 ensayos de corte directo in-situ.

El resultado se presentó en un gráfico esfuerzo tangencial – esfuerzo normal, $\tau - \sigma_n$ en el que los resultados de cada muestra ensayada representan un punto; uniendo los 3 puntos obtenidos se dibuja la recta que define la cohesión y el ángulo de fricción de los macizos ensayados; según los criterios de falla de Mohr-Coulumb.

La investigación in-situ realizada nos permitirá llenar un vacío, en el diseño de construcciones en macizos rocosos de baja resistencia, a la fecha no se tienen datos de los parámetros referidos, es importante recalcar que este es el inicio de investigaciones de este tipo que condiciona a que otros profesionales incrementen y/o modifiquen lo realizado.

SUMMARY

The theme developed in this research refers to the estimation of the parameters of cohesion and friction from direct shear tests in-situ in the rock mass of poor quality.

In the evaluation we have considered a highly fractured rock mass, with a distance so close between the discontinuities, the planes of weakness divide the set of elements interconnected by such discontinuities which do not favor predominantly slip to be the most reasonable assume that they were really a floor, so you use quality indices that can be secured to the rock mass and to assess the strength of the assembly based on the criteria of Mohr-Columb. In general we can say that the set has been analyzed as if it were a homogeneous medium.

Obtaining estimates of the cohesion and friction parameters was performed by direct shear tests on-site that consisted of measuring the shear strength of a poor quality rock mass on the surface, using carved 9 blocks of rock specimens (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9) by carving the block of Shale-type rock making a total of 3 slate direct shear tests on site.

The result is displayed in a graph tangential - Normal stress, in which each test sample represents a point, joining the 3 points obtained draw the line that defines the cohesion and angle of friction of tested solid. The results are described below:

Research conducted in-situ will allow us to fill a gap in the design of buildings in poor quality rock masses, to date no data of related parameters in major stresses that this is the beginning of research of this type that conditions other professionals to increase and / or modify it done.

The investigation in-situ realized will allow us to fill an emptiness, in the design of constructions in rocky clumps of low resistance, to the date there is not had information of the above-mentioned parameters, it is important to stress that this one is the beginning of investigations of this type that it determines to that other professionals increase and / or modify the realized.

INDICE

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Summary	IV
Índice	V
Lista de símbolos	VIII
Lista de cuadros	IX
CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE	
1.1 Estado del Arte	1
CAPITULO II: MARCO TEORICO	
2.1 Generalidades	4
2.2 Influencia de los Procesos Geológicos	5
2.3 Influencia de la Litología	5
2.4 Estructuras Geológicas	6
2.5 Propiedades Físicas y Mecánicas de los Materiales Rocosos	6
2.6 Las Esfuerzos Naturales	6
CAPITULO III: DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO	
3.1 Caracterización de la Matriz Rocosa	8
3.1.1 Identificación	8
3.2.1 Meteorización	8
3.3.1 Resistencia a la compresión	9
3.2 Descripción de las Discontinuidades	10
3.2.1 Orientación	10
3.2.2 Espaciado	11
3.2.3 Continuidad o Persistencia	11
3.2.4 Rugosidad	12
3.2.5 Resistencia de las Paredes	12
3.2.6 Abertura	13
3.2.7 Relleno	13
3.2.8 Filtraciones	13
3.3 Parámetros que caracterizan al macizo rocoso	14
3.3.1 Numero de Familias de Discontinuidades	14
3.3.2 Tamaño de Bloque y Grado de Fracturación	15
3.3.3 Grado de meteorización	16

3.4	Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosó aplicada al Afloramiento rocosó en estudio	17
3.4.1	Consideraciones Básicas	17
3.4.2	Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosó	18
3.4.3	Clasificación RMR: Valuación del Macizo Rocosos	20
3.4.4	Análisis de la Proyección Estereográfica	24
3.4.5	Índice Geológico de Resistencia, GSI (Geological strengthindex)	25
CAPITULO IV: CRITERIO DE ROTURA PARA EL ANALISIS DEL MACIZO ROCOSO		
4.1	Criterio de Mohr-Coulomb	29
4.2	Perturbación de la Roca Causada por la Excavación	31
CAPITULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION		
5.1	Antecedentes	32
5.2	Caracterización Ingeniero-Geológico del Macizo Rocosó	33
5.2.1	Características Geomorfológicas	33
5.2.2	Litológicas - Estratigráficas	33
5.2.3	Litológicos – Estructurales	34
5.3	Ubicación, Equipo, Preparación de la Muestra Bloque, Procedimiento y Ejecución de los Ensayo de corte Directo In-Situ realizado	35
5.3.1	Ubicación	35
5.3.2	Equipo	35
5.3.3	Preparación de la Muestra Bloque	37
5.3.4	Procedimiento	37
5.3.5	Ejecución	39
5.4	Resultados de los Ensayos de Corte Directo In-Situ	40
5.5	Otros resultados	43
CAPITULO VI: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS		
6.1	Análisis de los resultados	46
6.2	Discusión de resultados	47

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

Anexo 1.- Registro de Mapeo Geológico Superficial.

Anexo 2.- Resultados de los Ensayos de Corte Directo In-Situ realizados.

Anexo 3.- Consideraciones Ingeniero Geológica de las muestras-bloque ensayadas.

Anexo 4.-

- Reportes de Datos de Campo de GSI
- Ensayos de Laboratorio
- Verificación del funcionamiento de las gatas hidráulicas de 20 Tn.
- Clasificación Geomecánica de Bieniawsky e Índice RMR

Anexo 5.- Fotografías

GRAFICOS

- Proyección Estereográfica
- Histogramas Espaciamento y Abertura

PLANOS

- Plano UB-1 Ubicación del área de estudio
- Plano GE-1 Mapa Geológico Regional
- Plano GE-2 Geología del área de Estudio y Alrededores
- Plano UE-1 Ubicación de la Estación Geomecánica (E-1)

LISTA DE SIMBOLOS

C : Cohesión del macizo rocoso

D : Factor de alteración del macizo rocoso

E : Módulo de Young o módulo de elasticidad

GSI : Geological Strength Index

m_b : Valor reducido de la constante del material m_i

m_i : Parámetros de la roca intacta obtenida de ensayos triaxiales

σ : Esfuerzo normal

σ_c : Resistencia a la compresión simple del macizo rocoso

σ'_1 : Esfuerzo efectivo principal mayor en el momento de la rotura

σ'_3 : Esfuerzo principal menor en el momento de la rotura

σ_f : Esfuerzo normal de rotura

τ : Resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento

τ_f : Resistencia al corte, movilizada en la superficie de deslizamiento

γ : Peso específico de macizo rocoso

ϕ : Angulo de fricción del macizo rocoso

LISTA DE CUADROS

- 3.1 Descripción del grado de meteorización
- 3.2 Clasificación en base a la resistencia de la roca
- 3.3 Descripción del espaciado
- 3.4 Descripción de la continuidad
- 3.5 Descripción de la abertura
- 3.6 Descripción de las filtraciones en discontinuidades
- 3.7 Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades
- 3.8 Clasificación de macizos rocosos en función del tamaño y forma de los bloques
- 3.9 Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso
- 3.10 Índice “RMR” (1989)
- 5.1 Ensayo de Corte Directo In Situ CD-1
- 5.2 Ensayo de Corte Directo In Situ CD-2
- 5.3 Ensayo de Corte Directo In Situ CD-3

CAPITULO I

ESTADO DEL ARTE

1.1 Estado del Arte

Los primeros ensayos de corte se efectuaron en el conglomerado de Lima en el año 1972 por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNI, con ocasión del Estudio de Factibilidad del Metro de Lima. A continuación describiremos los resultados de los ensayos de Corte Directo In-Situ que se han realizado:

- En terrenos del Hospital del Seguro Social Ex empleado (1972), en la cuadra 14 de la avenida Arenales a una profundidad de 8m. en el material tipo GP. Los resultados han sido desestimados debido a deficiencias en el ajuste del equipo, dimensiones del espécimen y punto de aplicación de la fuerza tangencial. Esta era la primera experiencia que se realizaba en nuestro medio y no había mayor información sobre el ensayo, pero con los ensayos posteriores se logró corregir estas deficiencias.

- En terrenos del Banco de la Vivienda, ubicado en el cruce de la Avenida Emancipación y el Jr. Camaná – Cercado de Lima, a una profundidad de 8.60m (1972) y en material tipo GP, se obtuvo:

Esfuerzos Normales aplicados

Muestra I = 1.0 Kg/cm²

Muestra II = 2.0 Kg/cm²

Muestra III = 3.0 Kg/cm²

Obteniendo los siguientes parámetros de resistencia cortante del conglomerado, $C= 0.425 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi= 40^\circ$

- En terrenos de la Beneficencia de Lima, ubicado entre la Av. Abancay y Nicolás de Piérola, en el Cercado de Lima, a una profundidad de 6.20m. (1972), en material tipo GP-GC, se obtuvo:

Esfuerzos Normales aplicados

Muestra I = 1.0 Kg/cm²

Muestra II = 2.0 Kg/cm²

Muestra III = 3.0 Kg/cm²

Obteniendo los siguientes parámetros de resistencia cortante del conglomerado, $C= 0.60 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi= 37^\circ$

- En el Intercambio vial, cruce Av. Universitaria y Venezuela en el Cercado de Lima.

Muestra I = 1.13 Kg/cm²

Muestra II = 2.18 Kg/cm²

Muestra III = 3.32 Kg/cm²

Obteniendo los siguientes parámetros de resistencia cortante del conglomerado, $C= 0.15 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi= 34^\circ$

- En 1997, el Dr. Ing. Jorge Alva efectuó un ensayo de corte en el conglomerado de los acantilados de la Costa Verde Malecón de la Marina – Miraflores y en Playa de Agua Dulce Chorrillos.

Ensayo en Miraflores

Para cada muestra, las especificaciones dadas para las presiones axiales fueron:

Muestra I = 0.50 Kg/cm²

Muestra II = 1.0 Kg/cm²

Muestra III = 1.5 Kg/cm²

Obteniendo los siguientes parámetros de resistencia cortante del conglomerado, $C= 0.55 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi= 39.9^\circ$

Ensayo en Chorrillos

Para cada muestra, las especificaciones dadas para las presiones axiales fueron:

Muestra I = 2.0 Kg/cm²

Muestra II = 4.00 Kg/cm²

Muestra III = 5.90 gr/cm²

Obteniendo los siguientes parámetros de resistencia cortante del conglomerado, $C= 0.9 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi= 28.5^\circ$

Como se puede apreciar, las experiencias que se tienen con respecto a los Ensayos de Corte Directo In-Situ, se han realizado en el conglomerado de Lima, que es el Suelo o depósito aluvial-aluvional del valle del río Rímac, mas no en roca. De acuerdo a la Ingeniería Geotécnica realizada en la Tesis de este documento en mención, se puede decir que el macizo rocoso de naturaleza pétreo pseudometamorfizada del tipo Lutita Pizarrosa es equivalente en resistencia a un suelo gravoso semicompacto.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES

En el comportamiento mecánico de los macizos rocosos, influyen las características geológicas como la litología, estratigrafía, estructura geológica y los estados de esfuerzos.

El estado y comportamiento mecánico de los macizos rocosos es el resultado de todos ellos, con diferente grado de importancia para cada situación; así en medios superficiales, las discontinuidades y procesos de meteorización, juegan un papel muy importante en el comportamiento mecánico de los macizos rocosos, mientras que en profundidad, será el estado tensional preexistente el mayor condicionante de la respuesta mecánica.

2.2 INFLUENCIA DE LOS PROCESOS GEOLOGICOS

Todos los procesos geológicos, desde su formación hasta su condición actual, han proporcionado a los macizos rocosos características y propiedades que los diferencian unos de otros y que controlan su comportamiento cuando son excavados.

Las características o parámetros más significativos de su comportamiento son las condiciones de fractura y las condiciones de resistencia.

Las condiciones de fractura se miden utilizando un flexómetro o una cinta métrica y se determina midiendo a lo largo de un metro, cuántas fracturas se presentan en la roca, para observarse mejor la pared rocosa de la labor debe estar bien lavada. No se consideran las fracturas por disparo, ni las fracturas muy pequeñas, menores de 1.0 m de longitud.

De acuerdo al número de fracturas por metro lineal los macizos rocosos se clasifican, según la mecánica de rocas en:

Masiva (menos de 2 fracturas/metro)

Levemente fracturada (2 a 5 fracturas/metro)

Moderadamente fracturada (6 a 12 fracturas/metro)

Muy fracturada (13 a 20 fracturas/metro)

Intensamente fracturada (más de 20 fracturas/metro)

Triturada (solamente se obtienen fragmentos)

2.3 INFLUENCIA DE LA LITOLOGIA

El tipo de roca y su grado de alteración determinan las propiedades resistentes de la matriz rocosa, en macizos rocosos formados por bloques de rocas duras, con propiedades resistentes elevadas, serán las discontinuidades las que controlen los procesos de rotura y deformación, mientras que en macizos diaclasados con matriz rocosa blanda las diferencias en el comportamiento de ambos no serán muy

relevantes. Para evaluar estos aspectos con vistas al diseño a una obra o estructura, habrá que considerar las dimensiones de la misma con respecto a las estructura del macizo rocoso y a la separación entre discontinuidades.

2.4 ESTRUCTURAS GEOLOGICAS

La estructura geológica del macizo rocoso define zonas y planos de debilidad, concentración de tensiones, zonas proclives a la meteorización, camino de flujos de agua, planos de debilidad preexistentes controlan los procesos de deformación y rotura en los macizos a cotas superficiales, donde se realizan la gran mayoría de obras de ingeniería.

2.5 PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Las propiedades físicas y mecánicas controlan las características resistentes y deformacionales de la matriz rocosa (composición mineralógica, densidad, estructura, porosidad, permeabilidad, alterabilidad, dureza, etc.), incluyendo procesos de alteración y meteorización de las rocas; la gran variabilidad de estas propiedades se reflejan en el comportamiento mecánico diferente frente a las fuerzas que se aplica sobre las rocas, comportamientos que quedan definidos por la resistencia del material y por su modelo de deformación que algunas veces es elástica y frágil frente a elevadas cargas y otras dúctil ante esfuerzos moderados o bajos.

Las propiedades físicas y las mecánicas son el resultado de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia.

2.6 LOS ESFUERZOS NATURALES

El conocimiento de las tensiones que puede llegar a soportar el material rocoso ante unas determinadas condiciones a que están sometidos en la naturaleza permite evaluar su comportamiento mecánico y abordar el diseño de estructuras y obras de ingeniería.

Los esfuerzos que actúan sobre las rocas determinan el modelo de deformación y el comportamiento mecánico del conjunto del macizo; el estado de esfuerzos es consecuencia de la historia geológica, aunque el conocimiento de ésta no es suficiente para su evaluación cuantitativa.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO

3.1 CARACTERIZACION DE LA MATRIZ ROCOSA

Los aspectos que deben describirse en campo son la identificación, meteorización o alteración y resistencia a la compresión.

3.1.1 Identificación

Se reconocerán los minerales constituyentes de la roca, identificándolas y clasificándolas; se completara la identificación de las rocas definiendo la forma y tamaño de los granos, color, transparencia y dureza.

3.1.2 Meteorización

El grado de meteorización es una observación importante en la caracterización de la matriz rocosa, ya que en función del mismo, se modifican sus propiedades mecánicas.

Según avanza la meteorización aumentara la porosidad, permeabilidad y deformabilidad, al tiempo que disminuye la resistencia del material. Para la identificación del estado de meteorización se ha considerado las descripciones del cuadro N°1.

CUADRO N°3.1

Descripción del grado de meteorización	
Termino	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el Grado de cambio.
Desintegrada	La roca esta alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fabrica original. La roca es friable, pero los granos de los minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca esta alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están Descompuestos.
(ISRM, 1981).	

De acuerdo a lo evaluado en campo y al cuadro en mención se puede decir que las muestras-bloque tienen un grado de meteorización con término equivalente a desintegrada.

3.1.3 Resistencia a la compresión

La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo, como el ensayo de carga puntual PLT o el martillo Schmidt.

CUADRO N° 3.2

Clasificación en base a la resistencia de la roca	
Resistencia a compresión simple (Mpa)	Descripción
1 a 5	Muy blanda
5 a 25	Blanda
25 a 50	Moderadamente dura
50 a 100	Dura
100 a 250	Muy dura
> 250	Extremadamente dura
(ISRM, 1981).	

De la evaluación de campo realizada y tomando en consideración el cuadro respectivo se puede decir que la resistencia a la compresión de las rocas de la muestra bloque esta de 1 a 5 Mpa, con una descripción equivalente a muy blanda.

3.2 DESCRIPCION DE LAS DISCONTINUIDADES

3.2.1 Orientación

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea); Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro.

La importancia de la orientación aumenta si se dan características propias del macizo rocoso como un número importante de juntas, espaciados pequeños, bajos ángulos de rozamiento, etc.

La presencia de diversas familias de discontinuidades con diferente orientación define la forma y el tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso.

3.2.2 Espaciado

Es la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia medida en la dirección perpendicular a dichos planos.

El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de la matriz rocosa, ya que si este es pequeño, es decir que la red de fracturación es muy densa, la resistencia del macizo rocoso disminuye en forma considerable.

CUADRO N°3.3

Descripción del espaciado	
Descripción del espaciado	Espaciado (mm)
Muy junto	20 - 60
Junto	60 - 200
Moderadamente	200 - 600
Separado	600 - 2.000
Muy separado	2.000 - 6.000
Extremadamente separado	> 6.000
(ISRM, 1981).	

De la evaluación realizada en las muestras-bloque y tomando en consideración el cuadro adjunto, se ha descrito el espaciado como de junto y tiene espaciados entre 60 y 200 mm.

3.2.3 Continuidad o Persistencia

En un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. La continuidad de las discontinuidades define si la matriz rocosa va estar involucrada o no en los procesos de rotura del macizo rocoso y en que grado va a condicionar los parámetros de resistencias globales del mismo. (Ver cuadro N°4).

CUADRO N°3.4

Descripción de la continuidad	
Continuidad	Longitud (m)
Muy baja continuidad	< 1
Baja continuidad	1 a 3
Continuidad media	3 a 10
Alta continuidad	10 a 20
Muy alta continuidad	> 20
(ISRM, 1981).	

Tomando en consideración el cuadro respectivo y la evaluación realizada en el campo en las muestras-bloque, se puede decir que la diaclasas son de muy baja continuidad, con longitud equivalente a <1 m.

3.2.4 Rugosidad

Hace referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades. La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos.

La influencia de la rugosidad decrece con el aumento de la abertura, con el espesor de relleno y con el desplazamiento experimentado entre las paredes.

3.2.5 Resistencia de las Paredes de las Discontinuidades

Depende del tipo de matriz rocosa, del grado de alteración y la existencia o no de relleno. En discontinuidades sanas y limpias la resistencia sería la misma de la matriz rocosa, pero generalmente es menor debido a la meteorización alteración de las paredes.

3.2.6 Abertura

Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. La abertura generalmente se cierra a medida que se profundiza.

CUADRO N°3.5

Descripción de la abertura	
Abertura	Descripción
0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
➤ 10 mm	Ancha
0,1-0,25 mm	Muy ancha
0,1-0,25 mm	Extremadamente ancha
➤ 1 m	Cavernosa
(ISRM, 1981).	

La aberturas preponderantes de las diaclasas de las muestras – bloque ensayadas son las que se encuentran entre 0.5-2.5 mm que es equivalente a una descripción consideradas como abierta.

3.2.7 Relleno

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de distinta naturaleza de la roca o de las paredes y de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables, que gobiernan el comportamiento de la discontinuidad.

3.2.8 Filtraciones

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades, aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones se producen a través de la matriz rocosa.

CUADRO N°3.6

Descripción de las filtraciones en discontinuidades		
Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidades con relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca	Relleno muy consolidado y seco.
II	Junta seca sin evidencia del flujo de agua	Relleno húmedo pero sin agua libre
III	Junta seca pero con evidencia que ha circulado agua.	Relleno mojado con goteo ocasional
IV	Junta húmeda pero sin agua libre	Relleno que muestra señales de lavado, caudal en un l/min)
V	Junta con rezume, ocasionalmente	Relleno localmente lavado, flujo
VI	Junta con flujo continuo de agua	Rellenos completamente lavados,
(ISRM, 1981)		

En las muestras-bloque se ha considerado que estas se encuentran en estado seco.

3.3 PARAMETROS QUE CARACTERIZAN EL MACIZO ROCOSO

3.3.1 Número y orientación de familias de discontinuidades

El comportamiento de mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados por el número de familias de discontinuidades. La orientación medida de una familia de discontinuidades se evalúa mediante la proyección estereográfica o la construcción de diagramas de rosetas con los datos de las orientaciones medidas para cada discontinuidad. Actualmente existen programas informáticos para realizar estos trabajos de una forma rápida y exacta.

CUADRO N°3.7

Clasificación de macizos rocosos por el numero de familias de discontinuidades	
Tipo de macizo rocoso	Numero de familias
I	Masivos, discontinuidades ocasionales.
II	Una familia de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades mas otras ocasionales
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familias de discontinuidades mas otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades mas otras ocasionales
VIII	Cuatro o mas familias de discontinuidades
IX	Brechificado
(ISRM, 1981)	

De las muestras –bloque evaluada se puede decir que el tipo de macizo rocoso de acuerdo a la familia de discontinuidades es de VIII con cuatro o mas familias de discontinuidades.

3.3.2 Tamaño de Bloque y Grado de Fracturación

La dimensión y forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad; que condiciona el comportamiento de los macizos rocosos en cuanto a su comportamiento, propiedades resistentes y deformacionales. El grado de fracturación se expresa habitualmente por el índice RQD(Rock Quality Designation).

CUADRO N°3.8

Clasificación de macizos rocosos en función del tamaño y forma de los bloques		
Clase	Tipo	Descripción
I	Masivo	Pocas discontinuidades o con espaciado muy grande.
II	Cubico	Bloque aproximadamente equidimensionales.
III	Tabular	Bloques con una dimensión considerablemente menor que las otras dos.
IV	Columnar	Bloques con una dimensión considerablemente mayor que las otras dos.
V	Irregular	Grandes variaciones en el tamaño y forma de los bloques
VI	Triturado	Macizo rocoso muy fracturado
(ISRM, 1981)		

Tomando en consideración el cuadro en mención y la evaluación realizada en campo de las muestras –bloque ensayadas, se puede decir que en función del tamaño y la forma de los bloques de roca esta es de clase VI, del tipo triturado, que tiene como descripción equivalente a un macizo rocoso muy fracturado.

3.3.3 Grado de meteorización

La evaluación del grado de meteorización se realiza por observación directa del afloramiento y en ocasiones puede ser necesario fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización de la matriz rocosa.

CUADRO N°3.9

Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso		
Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las Superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso esta decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizada	Menos 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
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha Destruído la estructura del macizo y la fabrica del material.
(ISRM, 1981)		

De acuerdo a este cuadro y a lo evaluado a las muestras-bloque se puede decir que el grado de meteorización es IV del tipo altamente meteorizado.

3.4 CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO APLICADA AL AFLORAMIENTO ROCOSO EN ESTUDIO

3.4.1 Consideraciones básicas

El comportamiento geomecanico de la masa rocosa depende de tres aspectos fundamentales e interrelacionados entre si.

La resistencia de la roca intacta; es decir del comportamiento de un espécimen de roca exenta de discontinuidades y fisuras, cuya resistencia corresponde a las propiedades coligativas de las moléculas de los minerales que la conforman, así como el material cementante que los une.

El segundo aspecto está referido al grado de fracturamiento o al número y distribución de las discontinuidades que afectan a la

masa rocosa. Un macizo rocoso puede abarcar a una masa solida continua o bien llegar hasta el extremo de tener tantas fisuras que en conjunto se comportara como si estuviera compuesto de partículas íntimamente embonadas, sin resistencia alguna en condiciones de no confinamiento. Los planos de las discontinuidades ofrecerán diferentes grados de resistencia según estén cerradas, según la rugosidad que tengan , si estando abiertas poseen material de relleno o no, y del tipo de material de relleno; así tendremos que fisuras cerradas, con propagaciones irregulares y superficiales muy rigurosas ofrecerán mayor resistencia a los esfuerzos de corte que interesan a la estabilidad interbloques, que si se tratara de fracturas planas, de superficies lisas y rellena de arcillas sensitivas.

El tercer aspecto esta referido a esfuerzos activos que actúan en el macizo rocoso. Por uno lado están los esfuerzos tensionales que transmiten las presiones hidrostáticas de las aguas subterráneas en las discontinuidades y por otro los esfuerzos debido a las cargas litostáticas con las subsecuentes deformaciones y esfuerzos horizontales y los procesos de descompresión que pueden darse en las excavaciones y afloramientos.

3.4.2 Clasificaciones Geomecánicas de Macizos Rocosos

Las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos son métodos simplificados para definir y controlar la estabilidad de las obras que se ejecuten en el, mediante la evaluación de ciertos elementos y procesos que interactúan entre si.

La sistematización de datos que interesan al comportamiento de los macizos , la integración y verificación de las predicciones en experiencias practicas, tiene sus inicios en 1946, con el Método Rock Load Classification, del Profesor Terzagui, cuyo propósito fue el de dimensionar las cargas activas que se generan al excavar un túnel y definir los soportes necesarios con marcos de acero. A este primer intento de clasificación han seguido muchos otros, siendo los más importantes los que se indican a continuación:

<u>Nombre de la Clasificación</u>	<u>Autor, fecha</u>	<u>Aplicación</u>
Clasificación de cargas De roca (Rock Load Classification)	Terzagui, K-1946	Tunelería
Clasificación de Tiempo De Autosoporte (Stand-Up Time Classification)	Lauffer, H-1958	Tunelería
Designación de Calidad De Roca-RQD (Rock Quality Designation)	Deere et-al-1967	Registro de perforación tunelera
Valuacion de Macizos Fisurados-RSR (Rock Structure Rating)	Wckham et-al-1972	Tunelería
Valuacion de Macizos Rocosos-RMR (Rock Mass Rating)	Bieniawsky Z.T.- 1973	Tunelería, taludes, cimentación – Nes.
Sistema Q (Q-System)	Barton-et-al-1974	Tunelería y Cámaras Subterráneas

3.4.3 Clasificación RMR: Valuación de Macizos Rocosos

Esta clasificación fue desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones

En 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso que ha sido completado mediante el ajuste en la evaluación por orientación de las discontinuidades.

El sistema RMR, (ver tabla 4), Cuenta con cinco parámetros básicos que a continuación se describen:

- 1) Resistencia a la Roca Intacta Bieniawski basa sus evaluaciones en rangos de resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta o de acuerdo al índice de la carga puntual (PLT). La resistencia a la compresión uniaxial ha sido estimada de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1.
- 2) Designación de la calidad de la roca (RQD).- El RQD, propuesto por Deere D (1967), es de uso frecuente como una medida de la calidad de testigos de perforación en función

del fracturamiento del macizo rocoso:

$$RQD = \frac{\sum \text{long de testigos} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud perforada}} \times 100$$

Cuando no se cuenta con testigos de perforación es posible estimar el RQD en un afloramiento rocoso, haciendo uso de la siguiente relación propuesta por Bartón (1974)

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

J_v = No de fracturas /m³ de roca.

- 3) Espaciamiento de discontinuidades: Para esta característica del macizo rocoso, Bieniawski en su clasificación RMR, modificada de 1979, considera los rangos recomendados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Tabla 2).
- 4) Estado de las discontinuidades: Para la evaluación de este parámetro se tomó en cuenta la separación o abertura,

extensión, rugosidad y grado de alteración de las paredes y el tipo de material de relleno.

- 5) Condiciones de agua subterránea: Toma en consideración la influencia del flujo de agua subterránea en rangos de flujo o la relación de presión del agua en las discontinuidades con el esfuerzo principal mayor o por alguna observación cualitativa general de las aguas subterráneas. En nuestro caso, para los efectos de evaluación de este parámetro, se ha considerado que no existen presiones hidrostáticas (seco)
- 6) Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación. Esta considerado con respecto a los factores de reducción que dependen de la interrelación de los elementos de las discontinuidades.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100. Para calcular el índice RMR correspondiente se sigue el procedimiento señalado en el cuadro siguiente:

CUADRO N°3.10

INDICE "RMR" (1989)

1	Resistencia De la matriz Rocosa (MPa)	Ensayo de Carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Clasificación

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

Características geotécnicas

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15m de vano	6 meses con 8m de vano	1 semana con 5m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 min. con 1m de vano
Cohesión	>4Kg/cm ²	3-4Kg/cm ²	2-3 Kg/cm ²	1-2 Kg/cm ²	<1Kg/cm ²
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

Orientación de las discontinuidades en el túnel

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz.45-90	Buz.20-45	Buz.45-90	Buz.20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los cinco parámetros de clasificación, se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades y se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso. Esta clasificación distingue cinco clases, cuyo significado geotécnico que se expresa en el cuadro siguiente:

Calidad de macizos rocoso en relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/cm ²	15°-25°
V	Muy Mala	<20	<1 Kg/cm ²	<15°

Las clasificaciones geomecánicas nos proporcionan una estimación inicial de los parámetros mecánicos del macizo rocoso. La clasificación en mención presenta una excesiva simplificación, a la hora de trabajar con macizos rocosos blandos, tectonizados y alterados, que por lo general, sobrevaloran las propiedades mecánicas y resistentes, sin tener en cuenta aspectos importantes como la deformabilidad de los macizos. Estas limitaciones deben ser consideradas al aplicar las clasificaciones, por lo que se deberá interpretar con criterio y en base al conocimiento de las propiedades y el comportamiento geomecánico de los diferentes tipos de macizos rocosos.

3.4.4 Análisis de la Proyección Estereográfica

Se ha realizado un mapeo geomecánico superficial ver gráficos, donde se han tomado datos de las discontinuidades existentes y se han graficado en proyecciones estereográficas.

Los elementos de orientación de cada una de las discontinuidades obtenidos en cada zona han sido analizados mediante su representación polar en un estereograma equiareal (Schmidt, 1925) para determinar los sistemas de discontinuidades representativos por concentración de polos. Para esta actividad se empleó el software DIPS. Los resultados de los análisis efectuados se presentan a continuación (ver Gráficos):

Las familias de discontinuidades principales obtenidas, tomando en consideración su Dirección de Buzamiento y buzamiento en el macizo rocoso con longitud que va de 0 a 18.8 m. fue de DB 329° BUZ 73°, DB 91° BUZ 33°, DB 40° BUZ 83°, DB 257° BUZ 38°, DB 328° BUZ 45°.

3.4.5 Índice geológico de resistencia, GSI (Geological strength index)

Esta clasificación toma en consideración, la estructura del macizo rocoso y las condiciones de la misma o también se puede decir que toma en cuenta la forma y volumen del bloque, así como la condición de las fracturas, pero no su resistencia.

Con el fin de ampliar al rango de aplicación del criterio generalizado, sobre a todo a macizos rocosos de mala calidad, y emplear parámetros mas geológicos para la evaluación de su resistencia, Hoek (1994) y Hoek et al, (1995) han propuesto un **índice geológico de resistencia**, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades (figuras 3.1 y 3.2).

Para $GSI > 25$ (macizos de media a buena calidad) este índice puede obtenerse a partir del RMR, mediante la correlación siguiente, en cuyo caso debe asignarse un valor de 15 para las condiciones de agua del macizo rocoso y un valor de 0 al parámetro de ajuste para la orientación de las discontinuidades:

$$GSI = RMR (89) - 5$$

El criterio es valido únicamente para macizos rocosos con comportamiento isotrópico, el índice GSI se basa en estimaciones cualitativas y en modelos simples que rara vez coinciden con las condiciones reales, los resultados deben ser cotejados con otros métodos y siempre que sea posible con datos de campo y análisis a posteriori (back analysis).

En macizos rocosos de mala calidad, es difícil obtener con precisión el valor del índice RMR. Con la intención de obtener un índice basado en observaciones geológicas y que además cubriese el rango de las rocas de mala calidad, surge el índice GSI, "Geolical Streght Index" (Hoek, Kaiser y Bwden, 1995).

Este índice evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento y las características de discontinuidades. También tiene en cuenta la estructura

geológica, el tamaño de los bloques y la alteración de las discontinuidades.

Las relaciones entre el índice GSI y el índice RMR , dependiendo de la versión del índice RMR utilizado (1976 o 1989), se detallan a continuación:

Si el RMR (76) >18, $GSI=RMR(76)$

Si RMR (76) <18, no se puede utilizar el RMR(76) para la obtención del GSI.

Si RMR (89) >23, $GSI=RMR(89)-5$

RMR (89) <23, no se puede utilizar el RMR(89) para la obtención del GSI.

En ambos casos se deben considerar condiciones de macizo rocoso seco, lo que supone un a puntuación de 10 en el RMR(76) y una puntuación de 15 en el RMR (89), para el concepto de cada sistema de clasificación. Además no se deben hacer ajustes por la orientación de las juntas.

De acuerdo al reporte de Geomecánica realizado, el macizo rocoso donde se efectuó los cortes directos in-situ en roca con 21 fracturas por metro lineal, ligeramente rugosas, ligeramente abiertas, de baja resistencia a la compresión se rompe con un golpe de picota de geólogo, se encuentra con manchas de óxidos y presencia de sales.

De acuerdo a la descripción de campo primeramente se identifica en la tabla GSI, la clasificación cualitativa y su valoración en la tabla GSI cuantitativa, de esta evaluación se obtuvo los siguientes resultados:

Tomando en consideración la Figura N°3.1, La estructura se encuentra como de Bloques y Capas (BC) es equivalente a un macizo rocoso alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.

La condición del macizo rocoso es equivalente a Pobre (P) son superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos.

Al considerar la Figura N°3.2, y con los resultados de la Figura N°3.1, se tiene que el valor medio del GSI es equivalente a 25.


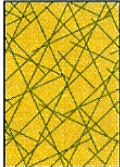


CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Figura N°3.1

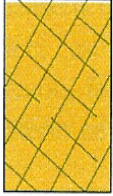
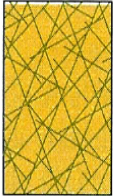
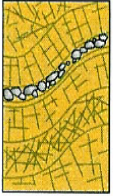

<p>ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>)</p> <p>A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice GSI.</p>		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	<p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	80	70			
	<p>BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.</p>		60	50		
	<p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.</p>			40	30	
	<p>FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.</p>				20	10

Figura N°3.2

CAPITULO IV

CRITERIO DE ROTURA PARA EL ANALISIS DEL MACIZO ROCOSO

4.1 CRITERIO DE MOHR-COULOMB

El criterio en mención expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática:

Donde:

τ y σ Son los esfuerzos tangencial y normal del plano de rotura

C y ϕ Son la cohesión y ángulo de rozamiento de la matriz rocosa

El criterio de MORH-COULOMB, impuesto por vez primer a por Culomb en el año 1773 en el estudio de suelos, este criterio de de rotura lineal y se sigue utilizando por ser un método sencillo.

El criterio de Morh-Coulomb, está en función del esfuerzo tangencial y el esfuerzo normal a un plano. En este caso la superficie de fluencia es de la forma $\tau=f(\sigma)$. La expresión matemática de la ecuación mencionada es:

$$T = c + \tau \phi$$

Donde:

C la cohesión considerando esfuerzos efectivos

Φ el ángulo de fricción considerando esfuerzos efectivos

T, es el esfuerzo de corte que actúa en el plano de rotura

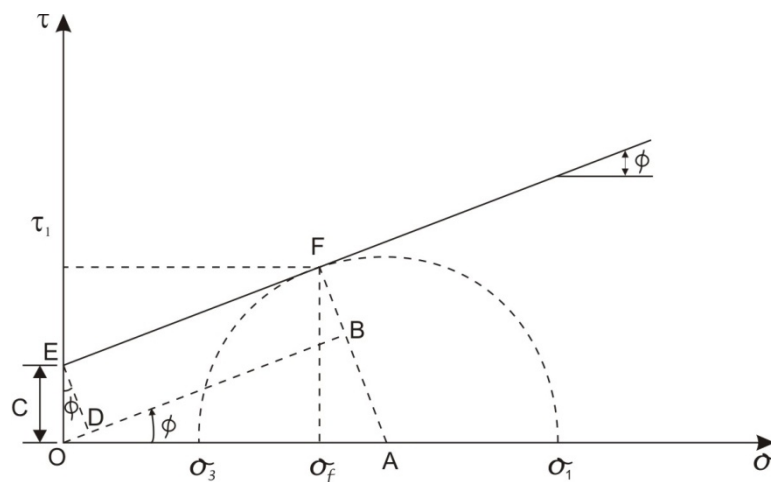


Figura 4.1 Presentación de la envolvente de rotura de Mohr - Coulomb en el campo de esfuerzos normal y tangencial.

En la figura 4.1, se presenta el criterio de rotura de Mohr-Coulomb en el campo de esfuerzos tangencial y normal. Se puede apreciar que la ecuación de la superficie de rotura es la ecuación de la recta tangente a todos los círculos de falla.

Del gráfico se puede decir que el dominio elástico viene representado por la envolvente de Mohr y los puntos del macizo rocoso con estado de esfuerzos por debajo de dicha envolvente se encuentran en un estado elástico mientras que los que están por encima de esta se encuentran en rotura. La zona de estado de esfuerzos inaccesibles para el macizo rocoso son las que se encuentran por encima de la envolvente de Mohr.

La superficie de rotura no solo es el mecanismo de corte a lo largo de un plano preexistente, si no puede estar compuesta de varias discontinuidades, formándose la superficie de roturas por la propagación de estas juntas y produciéndose la falla.

Otro de los factores que pueden influir para la posible rotura, es la disminución de la resistencia del macizo rocoso, debido a la presencia de agua subterránea, fuerzas de origen sísmica y concentración de esfuerzos inducidos debido a la erosión de la superficie o relieve, llamados esfuerzos residuales.

Para una buena evaluación de la rotura, es necesario conocer las condiciones para la ocurrencia de las diferentes roturas, conocer las condiciones para la propagación de la rotura y conocer la forma y localización de la rotura.

4.2 Perturbación de la roca causada por la excavación

El factor de alteración D , es un factor reductor de la resistencia que depende del grado de alteración que haya sufrido el macizo rocoso por efecto de voladuras o por descompresión. Varía entre $D=0$, para aquellos macizos no alterados por las anteriores razones, hasta $D=1$ para los muy afectados.

CAPITULO V

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

5.1 ANTECEDENTES

El ensayo de corte directo in-situ, es una alternativa importante para la evaluación de los parámetros de resistencia de los macizos rocosos, como son la cohesión C y fricción ϕ ; aunque no existen especificaciones precisas sobre los ensayos, la idea es efectuar de acuerdo a las características del macizo rocoso que en nuestro caso esta representado por una roca tipo lutita pizarrosa; la forma y la dimensión de los especímenes.

El desarrollo de los ensayos de corte directo in-situ, dependerá básicamente de lo recomendado por los especialistas en este tipo de ensayos de rocas; así como sugieren los ensayos realizados en algunos estudios geotécnicos de nuestro medio (De la Rosa, 1974; Humala, 1988; Shuan, 1997, Alva, 2008, entre otros). Es importante decir que en

el Perú no se tiene referencia que se hayan realizado ensayos de corte directo in-situ en rocas tipo lutitas pizarrosas.

5.2 CARACTERIZACION INGENIERO-GEOLOGICO DEL MACIZO ROCOSO

El área de estudio motivo de la investigación, esta conformado por un macizo rocoso de naturaleza pétrea pseudometamorfizada del tipo lutita pizarrosa, con particularidades morfológicas, litológicas-estratigráficas, litológicas – estructurales que se describe en el ítem siguiente.

5.2.1 Características Geomorfológicas

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio y alrededores, son el resultado del proceso tectónico y plutónico, sobre impuesto por los procesos de geodinámica externa, que esta enmarcada como la unidad geomorfológica denominada como de lomas y cerros testigos; que se describe a continuación:

Lomas y cerros testigos

Se puede decir que en el área de estudio, la topografía esta subordinada por la litología de las unidades geológicas correspondientes, que en el caso de nuestra área de investigación está compuesta por lutitas pizarrosas y en los alrededores presentan rocas intrusivas del tipo gabro-dioritas y areniscas silicificadas, de relieve abrupto, estos cerros testigos presentan diferente resistencia al intemperismo por lo que sus rasgos son de pendientes empinadas en cuanto a las rocas intrusivas y areniscas silicificadas y de relieves regularmente suaves para el caso de las lutitas pizarrosas.

5.2.2 Litológicas- estratigráficas

Las secuencias estratigráficas de nuestra área de estudio se enmarcan en la cuenca de Lima, la cual se ubica en el sector

occidental y central del Perú. A continuación se describen las unidades estratigráficas con edades geológicas que van desde el cretáceo inferior hasta el cuaternario reciente:

Formación Marcavilca

En el área de estudio y alrededores esta unidad estratigráfica esta conformada por el miembro Morro solar con unidad litológica constituida por rocas del tipo lutitas pizarrosas que es la que corresponde al área de estudio y del miembro Marcavilca de litología del tipo arenisca silicificada. La edad de esta formación equivalente al cretáceo inferior.

Rocas intrusivas

Se ubican a los alrededores de nuestra área de estudio y están compuestas por rocas del tipo gabro-dioritas pertenecientes a la superunidad patap, está emplazado en forma de stock, que al no ser intrusiones de grandes extensiones (mayores a 100 km cuadrados), solo han seumetamorfizado a las rocas circundantes, estas intrusiones están compuestas por gradación un gabro a una diorita de color oscuro, la textura de la roca varía de grano medio a grueso, de alto peso específico, horblenda y biotitas de color oscuro (debido a los magnesianos que contiene). La edad de estas intrusiones equivale al cretáceo superior.

5.2.3 Litológicas- Estructurales

En nuestra área de estudio la geología estructural está representada por los fracturamientos y diaclasas, existentes en las rocas pseudometamorfizadas del tipo lutitas pizarrosas, pertenecientes al miembro morro solar, cuyo macizo rocoso va de 0 a 18.80 m, que presenta cuatro discontinuidades principales con Dirección de Buzamiento y Buzamiento DB 329° BUZ 73°, DB 91° BUZ 33°, DB 40° BUZ 83°, DB 257° BUZ 38°, con baja resistencia a la compresión que equivale de 0 a 5 Mpa, la calidad de la roca es equivalente a 10%, con espaciamiento aproximado de 0.04, persistencia aproximada de 0.07 m, con abertura que van de 1 mm hasta cerradas y en estado seco.

De acuerdo a lo evaluado se puede decir que la cuarta familia de discontinuidades presenta dirección de buzamiento casi paralelo a la dirección de buzamiento del murete DB 253°, lo que indica que los especímenes ensayados son favorables al corte.

5.4 UBICACIÓN, EQUIPO, PREPARACION DE LA MUESTRA-BLOQUE, PROCEDIMIENTO Y EJECUCION DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO IN-SITU

5.4.1 Ubicación del ensayo de Corte Directo

El área en estudio está ubicada en la Universidad Nacional de Ingeniería, a espada de la Capilla de la UNI, en el distrito del Rímac, provincia y departamento de Lima. La ubicación se presenta en el Plano de Ubicación 01 (U-01).

El ensayo de Corte Directo “in-situ” se efectuó a una profundidad de 4.0 m, para tal efecto se excavo una trinchera empleando dos martillos hidráulicos con su respectiva compresora y excavación manual para eliminar el material excavado así como para perfilar las esquinas y el fondo. Las dimensiones de la trinchera se definieron considerando primeramente el tallado de los nueve especímenes cuadrados de 70 cm de lado y con espaciamento mínimo entre ellos, suficiente para la colocación del equipo y ejecución de los ensayos.

5.4.2 Equipo de Corte Directo In-Situ

El equipo de corte directo In Situ ASTM D 4554 – 95, esta constituido por las siguientes partes:

Caja Metálica de Confinamiento

- Dos planchas metálicas de 0.80 m x 0.50 m x 1” de espesor.
- Dos planchas metálicas de 0.70 m x 0.50 m x 5/16” de espesor.
- Pernos soldados de 4” x 3/8” de diámetro.

Transmisión de Carga Axial

Es un sistema que puede ser ideado según los equipos y materiales disponibles y que sea capaz de conformar una sobrecarga suficiente que transmita las presiones normales requeridas para cada uno de los especímenes del ensayo.

- Cajón Metálico de Reacción

Medidas: 2.05 m x 2.05 x 1.50 m de altura.

Capacidad máxima: 20 Ton

Peso del cajón Metálico: 1100 Kg

- Gata Hidráulica para Carga Axial

Capacidad: 20 Ton.

- Plancha de Transmisión de la Carga Axial

Medidas: 0.70 m x 0.70 m x 1" de espesor.

- Rodillos Intermedios de Presión de Alma Llena

Se emplea los rodillos de alma llena Medidas: 0.60 m x 1 1/2" de espesor y en numero de 4 piezas; perfectamente pulidos colocados entre dos planchas metálicas en la parte superior del espécimen previamente confinado para recibir la carga normal; su objeto es el de evitar que durante la aplicación de la fuerza tangencial se desestabilice el sistema de carga. Los rodillos giraran sobre si mismos durante la aplicación de la fuerza tangencial y el sistema de carga axial se mantendrá estable.

- Plancha de Presión

Medidas: 0.50 m x 0.50 m x 1" de espesor.

Transmisión de Fuerza Tangencial

- Gata Hidráulica para Fuerza Tangencial

Capacidad: 20 Ton.

- Reacción Horizontal

- Murete de Concreto Armado

- Plancha de apoyo del sistema

Medidas: 0.25 x 0.25 x 1" de espesor

- Equipos de Extensión

- Suplex y Planchas

5.4.2 Preparación de la Muestra-Bloque

El afloramiento rocoso en estudio compuesto por rocas de naturaleza pétrea pseudometamórfica del tipo Lutita pizarrosa, con medidas iniciales de de 18.50 m x 4.50 m, con una pendiente promedio antes del corte de 18°.

Para la obtención de los bloques de rocas a ensayar, se realizó la excavación mediante dos martillos hidráulicos con sus respectivas mangueras y compresora, obteniendo un talud de corte de 3 m de altura y 88° de pendiente; dejando los bloques a ensayar (9 muestras) con dimensiones aproximadas de 0.70 m x 0.70 m x 0.35 m.

El tallado de las muestras fue realizado por un tallador ayacuchano, utilizando herramientas manuales asociado a la experiencia que tenía el tallador; una vez talladas las muestras – bloques, se optó por colocar

Las planchas metálicas que deberían confinar la muestra, para lo cual se alisaron las caras laterales de la muestra mediante la utilización de un mortero compuesto por yeso-cemento; esto se hizo con el propósito de que la cara superior de la muestra-bloque quede uniforme, se utilizó arena de construcción, de esta manera se logró que la cara superior de la muestra –bloque distribuya uniformemente la carga axial aplicada a través de las dos planchas gruesas metálicas y los rodillos intermedios.

5.4.3 Procedimiento del Ensayo

Como se requieren por lo menos tres especímenes los cuales deben estar espaciados por lo menos dos veces el lado de la caja de confinamiento usada. Se debe excavar cuidadosamente el área donde se tallara los especímenes, de modo que el arte de corte sea una roca no disturbada.

Los trabajos realizados en el área de estudio tuvieron la siguiente secuencia:

- Tallado de los especímenes de 0.70 x 0.70 m. de base por 0.35 m. de altura, se efectuó mediante la colaboración del tallador ayacuchano con herramientas manuales.
- Aislamiento de las caras de la muestra utilizando un mortero de yeso-cemento para cubrir las irregularidades del tallado.
- Confinamiento de las muestras con planchas metálicas unidas con pernos.
- Nivelación de la cara superior de la muestra –bloque con una capa delgada de arena fina, de tal manera que al colocar la plancha de transmisión de esfuerzo normal queda perfectamente nivelada.
- Colocación de cuatro rodillos de acero de 1 1/2" de diámetro y 0.60 m de longitud, sobre la plancha de transmisión de esfuerzo normal, que al girar sobre si mismos en el momento de la aplicación de la fuerza tangencial, no permite que se desequilibre el sistema de transmisión de la fuerza normal.
- Colocación de otra plancha metálica sobre los rodillos, con el objeto de recibir la carga normal mediante un a gata hidráulica.

- Instalación del sistema de transmisión de la fuerza tangencial, constituido por los siguientes elementos:

Gata hidráulica para fuerza tangencial, capacidad de 20 Tn.

Sistema de reacción horizontal, consistente en un murete de concreto.

- Plancha de apoyo del sistema.
- Equipos de extensión suplex y planchas.
- Instalación del equipo de medición, conformado por cuatro extensómetros de los cuales se empleo dos para las lecturas del asentamiento y dos para el registro de los desplazamientos.
- Estando ya la muestra-bloque confinada y todo el equipo debidamente montado, se procedió a ejecutar los ensayos respetivos.

Colocación de extensómetros: Se debe de disponer de 04 diales indicadores para medir el asentamiento vertical y el desplazamiento horizontal del espécimen, con una precisión de por los menos el 0.01 mm.

Carga de reacción: Para la vertical, colocar el sobrepeso dentro del cajón metálico, ubicada encima del bloque –muestra a ser ensayado para ser transmitida mediante la gata hidráulica, la

carga total requerida deberá estar disponible en el sitio antes de iniciar el ensayo Viga de referencia: La carga axial se aplica a una viga de sección T y esta a su vez la trasmite a cinco vigas transversales que distribuyen la carga del cajón metálico.

5.4.4 Ejecución de Ensayos de Corte Directo

Aplicación del esfuerzo normal

Aplice la carga vertical al espécimen, manteniendo la carga constante hasta que el asentamiento cese o hasta que la razón de asentamiento, tan pronto que sea posible antes y después de la aplicación de la carga.

Se efectuó mediante el uso de la gata hidráulica colocada sobre la plancha de presión y en contacto con la viga central que sostiene el cajón metálico con la carga de reacción normal.

La carga axial se aplica por incremento, esperándose luego un tiempo para que ocurra el asentamiento total. Las presiones ejercidas para cada uno de los especímenes E-1, E-2 y E-3 fueron 10, 12.5 y 07 Tn; para E-4, E-5 y E-6 fueron 05, 10 y 15 Tn; E-7, E-8 y E-9 fueron 6.5, 12.0 y 14 Tn; respectivamente.

Aplicación del esfuerzo tangencial

Se inicia su aplicación cuando disminuye los asentamientos producidos por la carga normal, las lecturas de los extensómetros continúan durante la aplicación de la fuerza tangencial.

Esta fuerza tangencial es la producida mediante la gata que actúa sobre el área de la plancha y que se coloca en posición horizontal, apoyado en gran disco metálico y esta sobre un muro de reacción de concreto prepara de antemano.

Cuando el proceso de asentamiento del espécimen ha cesado bajo la acción de la presión axial impuesta, se aplica el esfuerzo tangencial de corte en forma continua mediante una gata

hidráulica instalada en una posición horizontal y apoyada en el murete de concreto, registrándose el desplazamiento horizontal del espécimen hasta producirse la ruptura.

Termino del ensayo: Continuar cada ensayo hasta que la carga pico sea alcanzada o hasta que la reacción o hasta que el incremento y asentamiento resulte un mínimo. Si existe suficiente carga disponible, continuar el ensayo hasta que el asentamiento global alcance por lo meno el 10% del diámetro de la placa, a menos que una falla bien definida sea observada.

Después de terminar las observaciones para el ultimo incremento de carga, libere la carga aplicada en aproximadamente tres decremento iguales. Continuar registrando la recuperación de la roca hasta que la deformación cese, por un periodo no menor que el tiempo seleccionado para la carga.

5.5 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO IN-SITU

Con la finalidad de obtener los parámetros de resistencia cortante de la roca tipo Lutita pizarrosa se ejecutó nueve Ensayos de Corte Directo In Situ. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 2.

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 2, en los cuales se hace una tabulación de los registros de la fuerza tangencial y desplazamiento de cada espécimen para la fuerza normal aplicada.

Para la determinación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, se han considerado los valores del esfuerzo tangencial máximo de falla, para cada una de las presiones normales en cada muestra de bloque, obteniéndose los siguientes valores:

CORTE DIRECTO IN SITU CD-1

Fricción $\phi = 35.28^\circ$
Cohesión $C = 0.5118 \text{ Kg/cm}^2$

CORTE DIRECTO IN SITU CD-2

Fricción $\phi = 34.92^\circ$
Cohesión $C = 0.465 \text{ Kg/cm}^2$

CORTE DIRECTO IN SITU CD-3

Fricción $\phi = 36.63^\circ$
Cohesión $C = 0.499 \text{ Kg/cm}^2$

A continuación, mediante los cuadros N° 1, 2 y 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

CUADRO N°5.1

Ensayo de Corte Directo In Situ CD-1

Espécimen	E1	E2	E3
Área del Plano de Falla (cm ²)	4900	4900	4900
Máxima Fuerza Axial (Kg)	9651,6	15081,6	4734,6
Máxima Fuerza Tangencial (Kg)	1064427	126018	52175
Esfuerzo Normal, σ (Kg/cm ²)	1,96971429	3,07785714	0,9660449
Esfuerzo Cortante, τ (Kg/cm ²)	2,17197959	2,57179592	1,06479592
Desplazamiento promedio (mm)	7,48	13,14	5,0
Angulo de Fricción Interna (ϕ)	35.28°		
Cohesión (Kg/cm ²)	0.518		

CUADRO N°5.2

Ensayo de Corte Directo In Situ CD-2

Espécimen	E4	E5	E6
Área del Plano de Falla (cm ²)	4900	4900	4900
Máxima Fuerza Axial (Kg)	5,2263	12,6018	14,5686
Máxima Fuerza Tangencial (Kg)	5,7107	12,1223	11,6291
Esfuerzo Normal, σ (Kg/cm ²)	1,06659184	2,57179592	2,97318367
Esfuerzo Cortante, τ (Kg/cm ²)	1,16544898	2,47393878	2,373228571
Desplazamiento promedio (mm)	1,90	3,49	15,72
Angulo de Fricción Interna	34.92°		
Cohesión (Kg/cm ²)	0.4656		

CUADRO N°5.3

Ensayo de Corte Directo In Situ CD-3

Espécimen	E7	E8	E9
Área del Plano de Falla (cm ²)	4900	4900	4900
Máxima Fuerza Axial (Kg)	6,7014	12,6018	15,0815
Máxima Fuerza Tangencial (Kg)	7,1903	12,6155	13,0935
Esfuerzo Normal, σ (Kg/cm ²)	1,36763265	2,57179592	3,07785714
Esfuerzo Cortante, τ (Kg/cm ²)	1,46740816	2,57459184	2,67214286
Desplazamiento promedio (mm)	5,75	6,84	15,30
Angulo de Fricción Interna	36.63°		
Cohesión (Kg/cm ²)	0.499		

5.6 Otros Resultados Obtenidos

Tomando en consideración la Figura N°3.1, La estructura se encuentra como de Bloques y Capas (BC) es equivalente a un macizo rocoso alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.

La condición del macizo rocoso es equivalente a Pobre (P) son superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos.

Al considerar el Figura N°3.2, y con los resultados de la Figura anterior, se tiene que el valor medio del GSI es equivalente a 25.

De acuerdo a lo evaluado en campo y al Cuadro 3.1 se puede decir que las muestras-bloque tienen un grado de meteorización con término equivalente a desintegrada.

De la evaluación de campo realizada y tomando en consideración el Cuadro 3.2 se puede decir que la resistencia a la compresión de las rocas de la muestra bloque esta de 1 a 5 Mpa, con una descripción equivalente a muy blanda.

De la evaluación realizada en las muestras-bloque y tomando en consideración el cuadro 3.3, se ha descrito el espaciado como de junto y tiene espaciados entre 60 y 200 mm.

Tomando en consideración el cuadro 3.4 y la evaluación realizada en el campo en las muestras-bloque, se puede decir que la diaclasas son de muy baja continuidad, con longitud equivalente a <1 m.

La aberturas preponderantes de las diaclasas de las muestras –bloque ensayadas y el cuadro 3.5, son las que se encuentran entre 0.5-2.5 mm que es equivalente a una descripción consideradas como abierta.

De acuerdo al cuadro 3.6 y a las muestras-bloque se ha considerado que estas se encuentran en estado seco.

De las muestras –bloque evaluada y considerando el cuadro 3.7, se puede decir que el tipo de macizo rocoso de acuerdo a la familia de discontinuidades es de VIII con cuatro o mas familias de discontinuidades.

Tomando en consideración el cuadro 3.8 y la evaluación realizada en campo de las muestras –bloque ensayadas, se puede decir que en función del tamaño y la forma de los bloques de roca esta es de clase VI, del tipo triturado, que tiene como descripción equivalente a un macizo rocoso muy fracturado.

De acuerdo a este cuadro 3.9 y a lo evaluado a las muestras-bloque se puede decir que el grado de meteorización es IV del tipo altamente meteorizado.

Las familias de discontinuidades principales obtenidas, en el macizo rocoso en estudio, mediante el software DIPS, tomando en consideración su Dirección de Buzamiento y buzamiento fue de DB 329° BUZ 73°, DB 91° BUZ 33°, DB 40° BUZ 83°, DB 257° BUZ 38°, DB 328° BUZ 45°.

De las consideraciones ingeniero geológico de la muestra-bloque se puede decir lo siguiente:

Corte Directo CD-1 (especímenes E1, E2 y E3) se encuentran de moderadamente resistentes, muy fracturadas y con presencia de óxidos.

Corte Directo CD-2 (especímenes E4 E5 y E6) se encuentran de moderadamente resistentes, muy fracturadas, muy alteradas y con presencia de sales y óxidos.

Corte Directo CD-3 (especímenes E7, E8 y E9) se encuentran de poco a moderadamente resistente, muy fracturadas a extremadamente fracturadas y con presencia de sales y óxidos.

CAPITULO VI

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Análisis de Resultados

En el macizo rocoso en estudio se ha determinado que en este se presento 4 o mas familias utilizando la proyección estereográfica o semiesférica de Schmidt para analizar los datos de campo, tomado en la Estación Geomecánica E-1, tales como la dirección de buzamiento y buzamiento de las discontinuidades. Los resultados del mapeo de discontinuidades se presentan en el anexo 1.

Para un macizo rocoso con un numero suficiente de discontinuidades, puede asumirse un comportamiento isotrópico, Hoek y Brown (1980) considerando un macizo rocosos isotrópico, si aparecen 4 o mas familias de discontinuidades. En este caso debe aplicarse los criterios de rotura para macizos rocosos isotrópicos.

En la Estación Geomecánica E-1, se aprecia un macizo rocoso, conformado por una roca de naturaleza pétreo pseudometamórfica, del tipo Lutita pizarrosa, con espaciado aproximado de 0.04 m, de baja resistencia de 0 a 5 Mpa, con aberturas de 1 mm hasta cerradas y en estado seco., aquí se realizó el conteo de discontinuidades y según se aprecia en los resultados en los Gráficos, obteniéndose cuatro discontinuidades principales, esto es debido a la dispersión en el rumbo y buzamiento de las discontinuidades. La cuarta familia predominante tiene una dirección de buzamiento DB 257° y buzamiento Buz 73°, que es casi paralelo a la dirección del murete, la cual es favorable al corte de la muestra-bloque, que tiene una dirección de buzamiento de 253° lo que implica que la muestra-bloque presenta condiciones favorables al corte. El valor del RMR= 18 concluye que se trata de una clase de roca equivalente a muy mala.

6.2 Discusión de Resultados

De los resultados obtenidos en el programa de investigación se puede decir que todas las muestras ensayadas han cumplido con el objetivo de corte ya que si esto no hubiera sucedido, la tesis no tendría sentido.

En el comportamiento mecánico de los macizos rocosos influyen las características geológicas como la Litología, Estratigrafía, Estructura geológica y estados de esfuerzos. El estado y comportamiento mecánico de los macizos rocosos son los resultados de todos ellos, con diferente grado de importancia para cada situación; así en medios superficiales, las discontinuidades y procesos de meteorización juegan un papel muy importante en el comportamiento mecánico de los macizos, mientras que en profundidad, será el estado tensional preexistente el mayor condicionante de la respuesta mecánica.

Los resultados de rotura obtenidos están condicionados a la intensidad o grado de fracturación y el tamaño de los bloques de matriz que vienen dados por el número y orientación de las familias de discontinuidades y por espaciado de cada familia. Cada una de las familias queda caracterizada por su orientación en el espacio y por las propiedades y características de los planos.

En la evaluación realizada en el macizo rocoso del tipo lutita pizarrosa intensamente fracturado, se registraron todas las familias principales y/o secundarios de discontinuidades presentes, mediante la asignación de números correlativos para las familias de mayor a menor importancia; dando como resultado cuatro familias cuya orientación media de cada familia, se evaluó mediante la proyección estereográfica o la construcción de la diagrama de rosetas con los datos de la orientaciones mediadas por cada discontinuidad. Los resultados obtenidos se realizaron mediante el programa informático Dips (ver gráficos).

CONCLUSIONES

- Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio y alrededores, son el resultado del proceso tectónico y plutónico, sobre impuesto por los procesos de geodinámica externa; la unidad es denominada como de lomas y cerros testigos.
- Las secuencias estratigráficas de nuestra área de estudio se enmarcan en la cuenca de Lima, la cual se ubica en el sector occidental y central del Perú. Las rocas intrusivas, se ubican a los alrededores de nuestra área de estudio, están compuestas por rocas del tipo gabro-dioritas pertenecientes a la superunidad patap.
- La unidad estratigráfica Formación Marcavilca esta conformada por el miembro Morro solar con unidad litológica constituida por rocas del tipo lutitas pizarrosas que es la que corresponde al área de estudio y del miembro Marcavilca de litología del tipo arenisca silicificada. La edad de esta formación equivalente al cretáceo inferior.
- El macizo rocosos evaluado corresponde a una roca de naturaleza pétreo pseudometamorfizada del tipo lutita pizarrosa es un material que se encuentra intensamente fracturada, con una distancia próxima entre las discontinuidades, que los planos de debilidad dividen al conjunto en elementos interconectados entre si, por dichas discontinuidades, los cuales en forma predominante favorecen a la rotura, por lo que se le puede considerar en forma equivalente a un suelo tipo grava angulosa semiconpacta.
- En la Estación Geomecánica E-1, se aprecia un macizo rocoso, conformado por una roca de naturaleza pétreo pseudometamorfica, del tipo Lutita pizarrosa, con espaciamiento aproximado de 0.04 m, de baja resistencia de 0 a 5 Mpa, con aberturas de 1 mm hasta cerradas y en estado seco.

- Las familias de discontinuidades principales obtenidas, mediante el software DIPS, tomando en consideración su Dirección de Buzamiento y buzamiento en el macizo rocoso se tuvo lo siguiente:
- Área de estudio.- Macizo rocoso con longitud que va de 0 a 18.8 m. fue de DB 329° BUZ 73°, DB 91° BUZ 33°, DB 40° BUZ 83°, DB 257° BUZ 38°.
- La cuarta familia predominante tiene una dirección de buzamiento DB 257° y buzamiento Buz 73°, que es casi paralelo a la dirección del murete, la cual es favorable al corte de la muestra-bloque, que tiene una dirección de buzamiento de 253° lo que implica que la muestra-bloque presenta condiciones favorables al corte.
- El valor del RMR= 18 concluye que se trata de una clase de roca equivalente a muy mala.
- Tomando en consideración la Figura N°3.1, La estructura se encuentra como de Bloques y Capas (BC) es equivalente a un macizo rocoso alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.
- La condición del macizo rocoso es equivalente a Pobre (P) son superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos.
- Al considerar el Figura N°3.2, y con los resultados de la Figura anterior, se tiene que el valor medio del GSI es equivalente a 25.
- De acuerdo a lo evaluado en campo y a los Cuadros 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 se puede decir que las muestras-bloque presentan las siguientes condiciones geológicas:

- Tienen un grado de meteorización con término equivalente a desintegrada.
 - Resistencia a la compresión de las rocas de la muestra bloque esta de 1 a 5 Mpa, con una descripción equivalente a muy blanda.
 - Se ha descrito el espaciado como de junto y tiene espaciados entre 60 y 200 mm.
 - Se puede decir que la diaclasas son de muy baja continuidad, con longitud equivalente a <1 m.
 - Se encuentran entre 0.5-2.5 mm que es equivalente a una descripción consideradas como abierta.
 - Se encuentran en estado seco.
 - El tipo de macizo rocoso de acuerdo a la familia de discontinuidades es de VIII con cuatro o más familias de discontinuidades.
 - En función del tamaño y la forma de los bloques de roca esta es de clase VI, del tipo triturado, que tiene como descripción equivalente a un macizo rocoso muy fracturado.
 - Se puede decir que el grado de meteorización es IV del tipo altamente meteorizado.
- De las consideraciones ingeniero geológico de la muestra-bloque se puede decir lo siguiente:

Corte Directo CD-1 (especímenes E1, E2 y E3) se encuentran de moderadamente resistentes, muy fracturadas y con presencia de óxidos.

Corte Directo CD-2 (especímenes E4 E5 y E6) se encuentran de moderadamente resistentes, muy fracturadas, muy alteradas y con presencia de sales y óxidos.

Corte Directo CD-3 (especímenes E7, E8 y E9) se encuentran de poco a moderadamente resistente, muy fracturadas a extremadamente fracturadas y con presencia de sales y óxidos.

- Los Ensayos de corte directo in-situ corresponden a 3 especímenes de bloque de roca, para cada espécimen el ensayo se realiza en dos partes, en la primera parte se aplica una carga normal sobre el bloque tallado, controlándose los desplazamientos producidos, esta carga permanece constante a lo largo del ensayo, en la segunda parte se aplica la carga tangencial hasta alcanzar la rotura del bloque, midiendo la magnitud de la carga y los desplazamientos tangenciales y normales.
- Los resultados obtenidos de la estimación de los parámetros de cohesión y fricción realizados mediante los ensayos de corte directo in-situ fueron los siguientes:

CORTE DIRECTO IN SITU CD-1

Fricción $\phi = 35.28^\circ$
Cohesión $C = 0.5118 \text{ Kg/cm}^2$

CORTE DIRECTO IN SITU CD-2

Fricción $\phi = 34.92^\circ$
Cohesión $C = 0.465 \text{ Kg/cm}^2$

CORTE DIRECTO IN SITU CD-3

Fricción $\phi = 36.63^\circ$
Cohesión $C = 0.499 \text{ Kg/cm}^2$

RECOMENDACIONES

- El trabajo realizado, que se encuentra descrito en este documento como toda investigación que no tiene antecedentes está sujeto a interrogantes que a medida que otros profesionales se interesen, la obtención de los resultados mejorará.
- El equipo de Corte Directo es susceptible a mejorar, como la implementación de un sistema de registro de datos automatizados, que permitiría la visualización de los resultados durante el ensayo, lo cual es una ayuda muy importante para el seguimiento de las trayectorias de las curvas de esfuerzo de corte y la obtención de los parámetros de resistencia al corte.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Balmer, G. A General Analytic Solution for Mohr's Envelope., Am. Soc Test. Mat., 52, pp. 1260-1271, 1952
2. Grujic, N. Ultrasonic Testing of Foundation Rock, Proc. 4th ISRM Int. Congress Denver, 1974.
3. Priest, S.D. Hudson, J.A. Discontinuity Spacing in Rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining, 1976.
4. Hoek, E. and Brown, E.T. (1980). Underground Excavation in Rock. Stephen Austin and Sons Ltd. Hertford England.
5. Jimenez Salas, J.A. y de Justo, J.L. Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y de las rocas Ed. Rueda, España. 1985.
6. Bieniawski Z.T. , Engineering Rock Mass Classifications. John Willey & Sons Goodman Ry G Shi, Block Theory and its application to rock engineering. Prentice Hall New York 1985.
7. Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications, Ed. John Willey & Sons Nueva York 1989.
8. Goodman R y E (1989) Introduction to Rock Mechanics. 2nd Edition. John Willey & Sons.

9. Kramer S.L. (1996) "Geotechnical Earthquake engineering ", University of Washington, Prentice Hall International Series.
10. Galera, J. M. Caracterización Geotécnica de Macizos Rocosos. Entorno Grafico, S.L. Madrid, 1996.
11. Barton N., Lien R., Lunde J., 1974, "Analysis of Rock Mass Quality and Support Practice in Tunnel", Norwegian Geotechnical Institute.
12. Bieniawski Z. T. 1976, "Rock Mass Classification in Rock Engineering", Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg.
13. Bieniawski Z.T. 1989, "Engineering Rock Mass Classification", Willey Interscience Publication, USA.
14. De Simons G.A. 1982, "Clasificaciones Geomecánicas Aplicadas a los taludes de Roca Tecniterrae S-308".
15. Geología del cuadrángulo de Huancavelica, Boletín No.73, INGEMMET, 1996.
16. Goddman, Richard E. "Introduction to Rock Mecanics" John Willey & Sons, 1989.
17. Gonzalez de Vallejo, Luis "Ingeniería Geológica" Prentice may, 2002.
18. Hoek E., Bray J.W. 1977, "Rock Slope Engineering", London, 2da. Edición.
19. Hoek E., Brown E.T. 1985, "Excavaciones Subterráneas en Rocas ", McGraw Hill, México.

20. International Society for Rock Mechanics. Commission on Standardization of Laboratory and Field Test, 1978, "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses", Mech. Min. Sci. G. Geomech, Vol. 15.

21. Robles Espinoza, Neri H. "Excavación y Sostenimiento en túneles" CONCYTEC, Lima 1994.