UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DEL CERRO CRUZ DE SHALLAPA DISTRITO DE CHAVÍN DE HUÁNTAR, PROVINCIA DEHUARI ÁNCASH - 2022

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

BACH.: LEON FLORES VICTOR RONALDO

ASESOR:

Dr. SOTELO MONTES JAVIER ENRRIQUE

HUARAZ – PERÚ

2023

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las once horas con quince minutos de la mañana (11:15 a.m.) del día 03 de Febrero del dos mil Veintitres (03/02/23), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 234-2022-FIMGM/D, de fecha 01 de Diciembre del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA, como Presidente; M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA, como Secretario y el Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulada: **"CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DEL CERRO CRUZ DE SHALLAPA DISTRITO DE CHAVIN DE HUANTAR PROVINCIA DE HUARI ANCASH - 2022" presentado por el Bachiller VICTOR RONALDO LEON FLORES,** para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 234-2022-FIMGM/D de fecha 01 de Diciembre del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditórium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO:** ***APROBAR*** **CON EL CALIFICATIVO** (*)de: **DIECISEIS (16)**. ***Siendo las once horas y cincuentaicinco minutos (11:55 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.***

En consecuencia, queda en condición de ser calificado ***APTO*** *por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de* ***INGENIERO DE MINAS*** *de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.*

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA
Presidente

M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA
Secretario

Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Vocal

Dr. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA** (19-20), **APROBADO CON DISTINCIÓN** (17-18), **APROBADO** (14-16), **DESAPROBADO** (00-13).

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO DEL CERRO CRUZ DE SHALLAPA DISTRITO DE CHAVIN DE HUANTAR PROVINCIA DE HUARI ANCASH - 2022"** presentado por el Bachiller VICTOR RONALDO LEON FLORES y sustentada el día 03 de Febrero del 2023, por Resolución Decanatural Nº 234-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 03 Febrero del 2023

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA
Presidente

M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA
Secretario

Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Vocal

Dr. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES
Asesor

DEDICATORIA

De manera especial a mis padres Juan y Justina; mis hermanos por ser los pilares fundamentales en mi formación profesional; docentes, tanto de educación básica regular y de la universidad quienes me formaron para ser una persona de bien.

Víctor Ronaldo

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, al divino creador por haber permitido cumplir con mis objetivos y nunca abandonarme.

Alumnos, docentes y personal administrativo de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por formar parte de mi segundo hogar en la etapa universitaria.

A mis padres, hermanos, tíos, primos, sobrinos por ser mi fortaleza, soporte y apoyo en cada decisión o proyecto que me propongo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: "Caracterización Geotécnica para Determinar la Calidad del Macizo Rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari -Áncash - 2022", tiene por objetivo general realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari -Áncash – 2022. Se justifica porque las investigaciones y ensayos geotécnicos en el macizo rocoso servirán para realizar la caracterización geotécnica para un posterior análisis de riesgo, peligro sísmico, análisis de estabilidad de taludes. El tipo de investigación es Aplicada. El resultado más importante fue que el área de estudio se encuentra en la Formación Chimú del grupo Goyllarisquizga, está conformado por areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas gris oscuras y carbón. Estas areniscas sobreyacen a la formación Oyón concordantemente e infrayace en igual relación a las calizas de la formación Santa. El proyecto está ubicado al oeste del distrito de Chavín de Huántar donde se puede apreciar la formación de un Anticlinal bien definido. La conclusión más importante fue que las propiedades resistentes de la cohesión y ángulo de fricción obtenida para la roca de arenisca cuarzosa es 44 kPa y 35. 95º respectivamente. El valor del RQD roca de arenisca cuarzosa es igual a 33. El RMR de la roca de arenisca cuarzosa es 52 por lo tanto es de tipo III y de calidad REGULAR y la resistencia de la comprensión uniaxial es 66 Mpa.

Palabras claves: Caracterización geotécnica, determinar la calidad del macizo rocoso, Cerro Cruz de Shallapa, Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari-Áncash-2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ABSTRACT

The present research work entitled: "Geotechnical Characterization to Determine the Quality of the Rock Massif of Cerro Cruz de Shallapa District of Chavín de Huántar, Province of Huari -Áncash - 2022", has as general objective to carry out the geotechnical characterization to determine the quality of the rock massif of Cerro Cruz de Shallapa District of Chavín de Huántar, Province of Huari -Áncash - 2022. It is justified because the geotechnical investigations and tests in the rock massif will be used to perform the geotechnical characterization for a subsequent risk analysis, seismic hazard, slope stability analysis. The type of research is applied. The most important result was that the study area is located in the Chimú Formation of the Goyllarisquizga group, which is formed by quartz sandstones with intercalations of dark gray shales and coal. These sandstones overlie the Oyón formation concordantly and underlie the limestones of the Santa formation. The project is located west of the Chavín de Huántar district where the formation of a well defined Anticline can be appreciated. The most important conclusion was that the resistant properties of cohesion and friction angle obtained for the quartz sandstone rock are 44 kPa and 35. 95º respectively. The value of RQD of quartz sandstone rock is equal to 33. The RMR of quartz sandstone rock is 52 so it is of type III and REGULAR quality and the uniaxial compressive strength is 66 Mpa.

Keywords: Geotechnical characterization, determine the quality of the rock massif, Cerro Cruz de Shallapa, Chavín of Huántar District, Huari Province, Áncash, 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTO iii
RESUMEN iv
ÍNDICE DE FIGURAS ix
ÍNDICE DE TABLAS x
INTRODUCCIÓN xii
CAPITULO I 14
GENERALIDADES 14
1.1. Entorno Físico 14
1.1.1. Ubicación y acceso 14
1.1.2. Geomorfología 14
1.1.3. Relieve 16
1.1.4. Topografía 16
1.1.1. Clima y Meteorología 16
1.2. Entorno Geológico 17
1.2.1. Geología regional 17
1.2.2. Geología local 20
1.2.3. Geología estructural 21
CAPITULO II 24
FUNDAMENTACIÓN 24
2.1. Marco Teórico 24
2.1. Antecedentes de la investigación 24
2.2. Definición de Términos 33
2.3. Fundamentación teórica 38
2.1.1. Las rocas 38
2.1.2. Calidad del macizo 38
2.1.3. Tipos de rocas 39
2.1.4. Macizos en roca blanda 40

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.1.5. Factores del comportamiento mecánico de los macizos rocosos (objetivos del estudio) 41

2.1.6. Aplicaciones geotécnicas de la descripción y caracterización de macizos rocosos 42

2.1.7. Descripción de macizos rocosos en afloramientos: metodología ... 43

2.1.8. Caracterización de la roca matriz 48

2.1.9. Caracterización global del macizo 58

2.1.10. Clasificaciones geomecánicas 67

2.1.11. El sistema Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index) 69

CAPITULO III 72

METODOLOGÍA 72

3.1. El Problema 72

3.1.1. Descripción de la realidad problemática 73

3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema 74

3.1.2.1. Formulación del problema General 74

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos 74

3.1.3. Objetivos de la investigación 74

3.1.3.1. Objetivo General 74

3.1.3.2. Objetivos Específicos 75

3.1.4. Justificación e importancia 75

3.1.5. Alcances 75

3.1.6. Delimitación de la Investigación 75

3.1.7. Limitación de la Investigación 76

3.2. Hipótesis 76

3.3. Variables 76

3.3.1. Operacionalización de variables. 77

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4. Diseño de la investigación 77
3.4.1. Tipo de investigación 77
3.4.2. Nivel de la investigación 78
3.4.3. Método 78
3.4.4. Diseño de investigación 78
3.4.5. Población y muestra 78
3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 79
CAPI TULO IV 81
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN 81
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos 81
4.2. Recopilación, validación y análisis de la información existente para hacer el estudio 82
4.2.1. Geomorfología del cerro Cruz de Shallapa. 83
4.2.2. Investigaciones geotécnicas 84
4.2.3. Ensayo índice de mecánica de rocas 85
4.3. Clasificación geomecánica del macizo rocoso 85
4.4. Discusión de resultados 90
4.5. Aporte del tesista 90
CONCLUSIONES. 91
RECOMENDACIONES 92
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 93
ANEXO 96
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS 97

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del derrumbe del Cerro Cruz de Shallapa……...15

Figura 2. Sección E-W mirando al N…….....22

Figura 3. Imágenes del lado sur del deslizamiento……..33

Figura 4. Fallas de un talud de roca: A. Falla circular. B. Falla planar, C. Falla en cuña, D. Falla por volcamiento, E. Fallas por flexión y Falla por pateo. Según Hoek and Bray, Rock Slope Engineering 49

Figura 5. Zona de la falla..... 70

Figura 6. Datos tomados y obtenidos in situ……...80

Figura 7. Imagen satelital de la geomorfología……....83

Figura 8. Ensayo de resistencia con esclerómetro……..…..84

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Itinerario de Cerro Cruz de Shallapa. 145

Tabla 2. Clasificación del tamaño medio de grano. 50

Tabla 3. Grado de meteorización (ISRM, BS 5930:1981). 39

Tabla 4. Resistencia a partir de índices de campo (ISRM). 42

Tabla 5. Clasificación de la resistencia de la roca matriz (ISRM, 1981; Bieniawski, 1973)……...……..45

Tabla 6. Clasificación de macizos rocosos por las discontinuidades (ISRM, 1981)..... 46

Tabla 7. Descripción del tamaño de bloque en función del nº de discontinuidades (ISRM, 19819)..... 47

Tabla 8. Clasificación del macizo rocoso según del tamaño y la forma del bloque (ISRM, 1981). 48

Tabla 9. Clasificación de la calidad del macizo según el índice RQD. 49

Tabla 10. Clasificación del grado de meteorización de un macizo rocoso (ISRM,1981; UNE-ENV 1997-3)..... 50

Tabla 11. Parámetros de clasificación. 55

Tabla 12. Corrección por la orientación de las diaclasas: 56

Tabla 13. Clasificación: obtención del índice de calidad RMR (rock mass rating). 56

Tabla 14. Clasificación según GSI. 57

Tabla 15. Determinación del GSI de Hoek. (Hoek y Marinos, 2000). 58

Tabla 16. Operacionalización de variables. 64

Tabla 17. Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas. 70

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 18. Tabla de clasificación geomecánica 71

Tabla 19. Valores de RQD y RMR de la estación geomecánica……..... **¡Error! Marcador no definido.**2

Tabla 20. Resistencia mediante esclerómetro arenisca cuarzosa. 74

Tabla 21. Resultado del ensayo de compresión uniaxial. 75

Tabla 22. Resultados del ensayo de compresión Tri axial. 75

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

INTRODUCCIÓN

El 30 de junio del presente año ocurrió un derrumbe de la ladera noreste del cerro Cruz de Shallapa, la pendiente escarpada de la ladera noreste del cerro Cruz de Shallapa, favoreció la ocurrencia del derrumbe que afecto un área aproximada de 2.5 Ha, la cual presenta un ancho promedio de 106 m y una distancia entre la zona de arranque y pie del derrumbe de 215 m. Dejando 57 viviendas inhabitables, pérdida de 1.5 Ha de cultivo y 500 m de canal de riego. El evento continua activo y latente, muestra de ello son las constantes caídas de rocas (bloques de hasta 1.0 m) y material suelto. En la parte alta del derrumbe se observó, material suelto inestable, el cual podría caer y afectar las viviendas asentadas entre la calle Wiracocha y Jr. 17 de enero. Del mismo modo, en el flanco izquierdo, se observó desplazamientos de hasta 2.6 m con respecto a su posición natural, en depósitos de deslizamientos antiguos, compuesto por bloques angulosos de hasta 0.5 m, gravas, arenas, limos y arcillas de color marrón oscuro; de continuar el avance (retrogresivo) del derrumbe, cabe la posibilidad de producirse otro evento parecido. En la zona media del derrumbe, una protuberancia rocosa, desvió el depósito hacia el sureste, generando un cono de detritos y por el cual continúa desplazando bloques con diámetros de hasta 2.0 m. Por otro lado, adyacente al derrumbe, se observó otro evento antiguo (deslizamiento), con saltos de hasta 1.0 m, este se encuentra en proceso de reactivación, evidencia de ello son los múltiples agrietamientos longitudinales y transversales, con aperturas de hasta 60 cm., producidos en el camino de herradura (ancho 1.5 m). Es importante mencionar que, en la zona posterior del derrumbe, con dirección a la quebrada Huachecsa, las laderas presentan ligeros movimientos, que se evidencian por la inclinación de los árboles, típicos de zonas de movimientos activos de laderas. Del mismo modo, los árboles ubicados en la parte bajan de la ladera, de cierta manera se comportaron como un “colchón” que amortiguo los materiales del derrumbe, evitando que afecte más viviendas e infraestructura. (Ingemmet, 2022, pp. 2-3).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia, es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. La resistencia a la compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas; las rocas rompen a favor de superficies de fractura que se generan al superarse su resistencia de pico. (González y otros, 2002, p. 158). La obligación de realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari Áncash – 2022, hace que se realice este este trabajo de investigación que servirá de base para determinar y realizar el análisis de estabilidad del cerro. La tesis ha sido estructura en cuatro capítulos:

CAPÍTULO I: GENERALIDADES, en la que se describe el entorno físico y el entorno geológico.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN, Se trata del marco teórico, los antecedentes de la investigación, la definición de términos y las bases teóricas.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN, se presentan los resultados obtenidos en la investigación.

Finalmente se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

El Cerro Cruz de Shallapa, se encuentra ubicado al lado sur oeste de la plaza de armas del distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari, en la región Ancash a una altitud promedio de 3,310 m.s.n.m. (ver Figura 1).

Accesibilidad.

Tabla 1. Itinerario de Cerro Cruz de Shallapa.

Tramo	Tipo	Distancia Aprox. (Km.)
Lima – Pativilca	Asfaltada	203.00
Pativilca – Chavín de Huántar	Asfaltada	231.00
Plaza de Chavín de Huántar –Cerro Cruz de Shallapa.	Calles y camino de herradura	00.80
Total		434.80

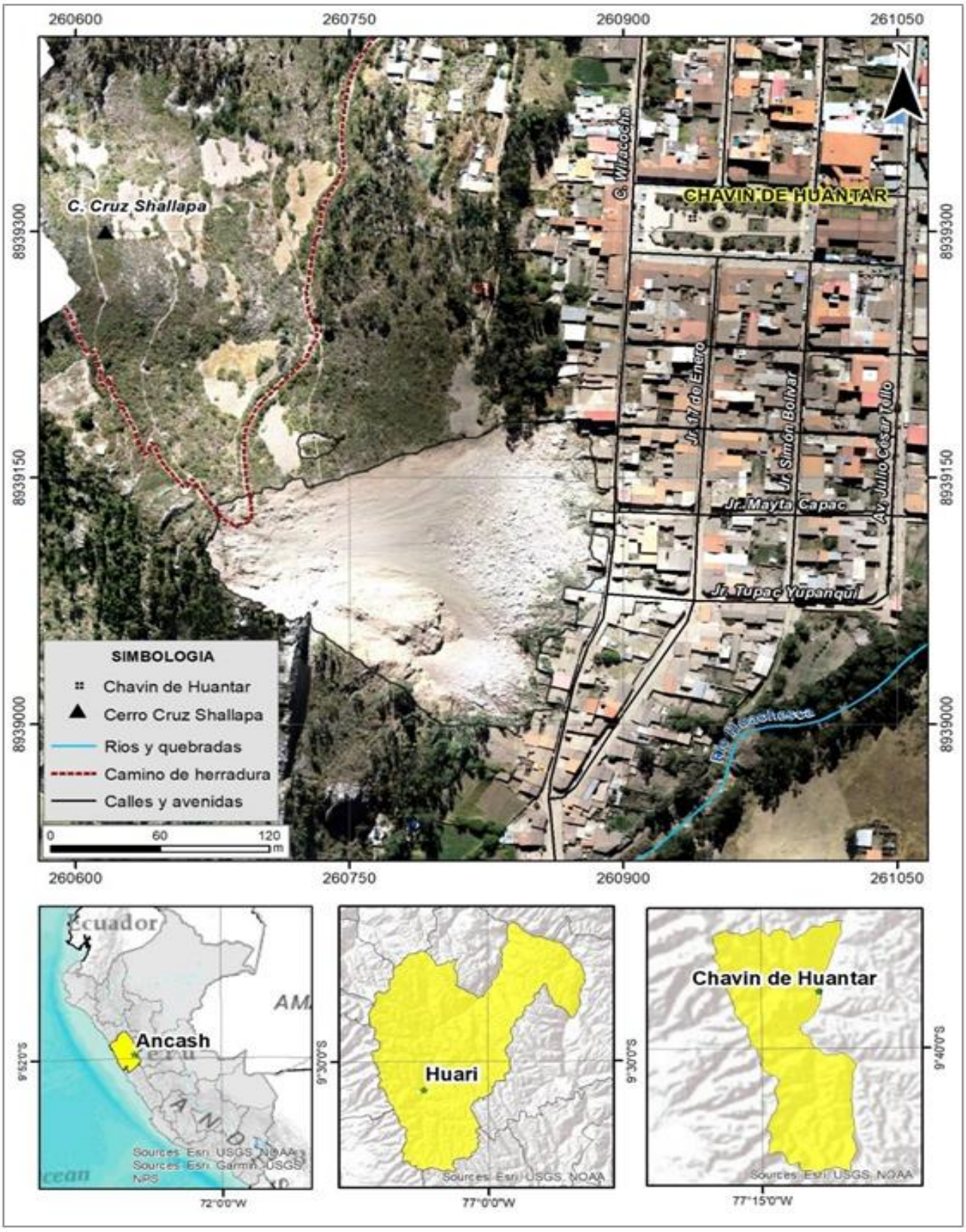
Fuente: Elaboración Propia.

1.1.2. Geomorfología

El contexto geomorfológico, el área posee una topografía accidentada, definido por relieves modelados en rocas sedimentarias, con laderas de pendiente entre 35° a 89° (muy fuerte a muy escarpada), lo que coadyuvó en la ocurrencia del derrumbe.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 1. Ubicación del derrumbe del Cerro Cruz de Shallapa.



Fuente: Ingemmet, 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.1.3. Relieve

Regionalmente Ancash se ha individualizado en cuatro tipos generales y específicos del relieve en función de su altura relativa, diferenciándose como planicies, colinas y lomeríos, pie de montes y montañas. Estas diferenciaciones también están influidas por la pendiente, control estructural de sus laderas y las diferentes unidades litológicas que existen. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 19).

1.1.4. Topografía

La topografía de las laderas del valle se forma a partir de los deslizamientos en conjunto con la resistencia variable de la roca madre, la cuarcita forma aletas prominentes mientras las lutitas de fácil erosión forman pendientes moderadas. Deslizamientos poco profundos, áreas de roca caída y taludes acumulados se asocian con las fuertes pendientes formadas por la roca madre endurecida. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 19).

1.1.1. Clima y Meteorología

El Clima del Distrito de Chavín de Huántar, se distribuye entre los 3,000 y 4,000 m.s.n.m., en las laderas de las estribaciones de la Cordillera Occidental, en la región de sierra. Posee un clima árido-Templado Cálido, con temperatura promedio que va desde 6°C en invierno y 21.5°C en verano; siendo su precipitación pluvial media anual de 718 mm/m2 en estación lluviosa y en la estación de verano es mínima y esporádica. La humedad relativa varía desde 61% durante el invierno y del 72% para el verano siendo:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Época de avenidas (meses) : Octubre al mes de abril.
- Época de estiaje (meses) : Mayo al mes de Setiembre. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 19).

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

La zona del derrumbe se encuentra en el cuadrángulo de Recuay (20 i). Encontrándose la zona de estudio en la zona de miogeosinclinal (Cuenca Chavín) comprendiendo unidades estratigráficas paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas. El área de estudio se encuentra en la Formación Chimú del grupo Goyllarisquizga, está conformado por areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas gris oscuras y carbón. Estas areniscas sobreyacen a la formación Oyón concordantemente e infrayace en igual relación a las calizas de la formación Santa. El proyecto está ubicado al oeste del distrito de Chavín de Huántar donde se puede apreciar la formación de un Anticlinal bien definido.

Grupo Goyllarisquizga. - Este Grupo está conformado por 3 formaciones: Fm. Chimú, Fm. Santa, Fm. Carhuaz. Los depósitos del Grupo Goyllarisquizga (Berrisiano - Aptiano), caracterizadas por Areniscas intercaladas con lodositas, lutitas y calizas de la formación Santa, desarrollando areniscas ricas en cuarzo y grauvacas, intercaladas con lodositas-lutitas gris- rojo - verde de la formación Carhuaz, finalizando en areniscas blancas ricas en cuarzo de la formación Farrat.

a. **Formacion Chimu. -** Está conformado por areniscas cuarzosas, presentándose afloramientos más occidentales al NNO de Pariacoto

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

(Huaraz), donde han sido cortados por intrusiones del Batolito de la Costa. Los afloramientos constituyen núcleos de anticlinales con rumbo NO-SE. El contacto en el sector oriental es concordante sobre la Formación Oyon (Chicama) e infrayace a la Formación Santa en contacto similar a la anterior. No obstante los afloramientos más occidentales del flanco del pacifico no se observa su base, aunque se nota que infrayace a las rocas sedimentarias de las formaciones Santa y Carhuaz. La morfología de la formación chimú se caracteriza por ser conspicua y coloración blanquecina blanco rojiza que en conjunto se observa algo rojizo cloro, destacando las capas de areniscas resistentes a la erosión. La Formación Chimú consiste principalmente de estratos comunes de areniscas blancas y macizas en capas de 1 a 3 m de espesor y en total la secuencia completa de la unidad puede variar entre 600 m en la parte Sur a 100 m en la parte Norte. La sección inferior de la Formación Chimú, en la zona de mayor grosor contiene intercalaciones de lutitas gris oscuras y carbón. Similares ocurrencias de carbón en la base de la unidad han sido notadas por WILSON (1967) al Oeste del Callejón de Huaylas, cerca de Caraz y al Este de la Cordillera Blanca cerca a Sihuas. Las areniscas cuarzosas sobreyacen a la Formación Oyón concordantemente e infrayace en igual relación a las calizas Santa en el sector central del área de estudio, esta formación está delimitada al Este por la línea definida por la falla Chanta que separa el miogeosinclinal del Bloque del Marañón (geoanticlinal). A diferencia de la unidad infrayacente. la Formación Chimú aflora a una gran distancia hacia el Oeste de la falla de la Cordillera Blanca. llegando

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

hasta el Batolito de la Costa en Pariacoto. Edad y correlación. - Formación Oyón del neocomiano; infrayace a las calizas Santa de edad Valanginiano superior. De acuerdo a ello se considera que la Formación Chimú es de edad Valanginiano inferior a medio. Parte del Grupo Yura del sur del Perú es equivalente a la Formación Chimú.

b. **Formación Santa. -** La Formación Santa yace concordantemente sobre la Formación Chimú y se encuentra casi en todos los lugares de los cuadrángulos adyacentes a la zona del derrumbe. Consiste de calizas de color azul grisáceo con meteorización característica de corteza azulina. Sus estratos tienen grosores de l0 cm a l.0 m: puede presentar concreciones de chert de color gris oscuro a blanco. No es una unidad fosilífera, pero contiene fragmentos de conchas. En el área de estudio consta de un grosor regularmente constante de l00 a 150 m. Constituye un horizonte marcador útil que se encuentra entre las areniscas Chimú y las lutitas Carhuaz. La Formación Santa mayormente se le encuentra en la cuenca Chavín (miogeosinclinal). Edad y correlación, Pertenece a la Valanginiano superior, debido a que fósiles similares han sido encontrados en la parte inferior de las lutitas de Carhuaz que sobreyacen inmediatamente a las calizas. La Formación Santa se correlaciona con la parte superior del Grupo Morro Solar del área de Lima y tal vez con la parte inferior de las calizas de la Formación Pamplona de la misma área.

c. **Formación Carhuaz. -** La Formación Carhuaz, así como las otras unidades que conforman el Grupo Goyllarisquizga se encuentran en las

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

llamadas Cuencas Chavín, Santa y parte de la cuenca Huarmey. La morfología que caracteriza a la Formación Carhuaz es más suave en relación con las unidades adyacentes. La formación yace concordantemente sobre la Formación Santa y es seguida en igual relación por la Formación Farra hacia las áreas vecinas ubicadas al Norte y Noroeste del cuadrángulo de Huaraz. Consiste principalmente de limoarcillitas, aunque pueden estar presentes capas de arenisca cuarcífera en la parte central de la unidad. Las limoarcillitas son principalmente de color gris a gris-verde y pueden encontrarse, además, delgadas capas de yeso en la parte inferior de la formación. En algunos lugares como en Conococha, se observan areniscas ferruginosas algo friable de grano fino en capas de 10 m de grosor, separado por limo litas, areniscas limo líticas lajosas y limoarcillitas con meteorización. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, pp. 22-27) (ver anexo 1)

1.2.2. Geología local

En el contexto geológico, la gran deformación tectónica - estructural del área, con la presencia de plegamientos (anticlinales y sinclinales), buzamientos casi verticales, lineamientos, fallas y la posible zona de contacto entre las areniscas cuarzosas de color blanquecino de la F. Chimú, (Ki-Chi) y las areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas y lutitas de la F. Oyón (Ki-Oy); han condicionado el intenso fracturamiento de las rocas. En este caso, areniscas cuarzosas de color blanquecinas, intercaladas con lutitas negras, en paquetes de hasta 1.00 m formando parte, localmente, de un anticlinal. En el área afectada, los estratos buzan a favor de la pendiente (entre

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

80° y 85°), hacia la cabecera del derrumbe, se encuentra dispuestos de forma sub horizontal. (Ingemmet, 2022, p. 2) (ver anexo 2)

1.2.3. Geología estructural

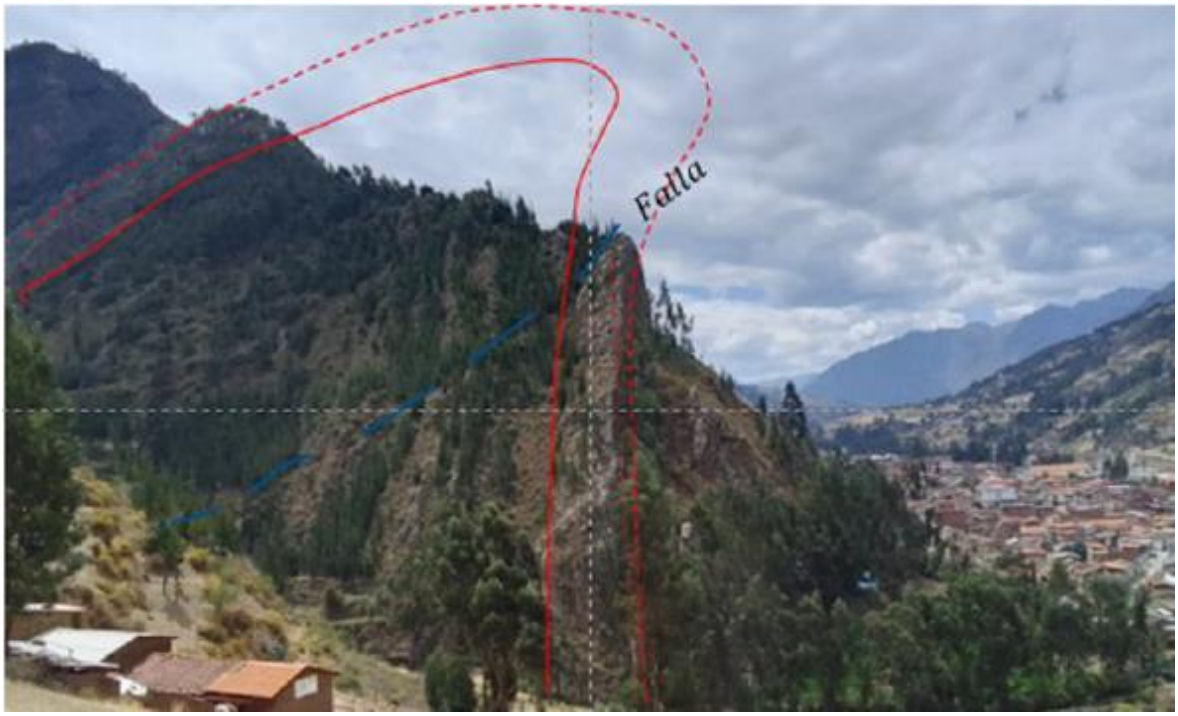
En la zona del derrumbe el afloramiento rocoso va de mediana a muy fracturadas. En ciertas partes del cerro Cruz de Shallapa, hacia el núcleo del anticlinal el substrato rocoso se encuentra muy fracturado y flexurado, en el flanco derecho del derrumbe, donde el afloramiento rocoso se encuentra deformado, y fracturado a muy fracturado, formando bloques de hasta 1.0 m; en la zona de arranque del derrumbe (rocas muy fracturadas y alteradas), es notoria la presencia de material suelto inestable, el cual podría ceder cuesta abajo; además, los agrietamientos en el camino de herradura que corta depósito de deslizamiento antiguo, presentan aperturas de hasta 60 cm. (Ingemmet, 2022, pp. 6-8).

Estructuralmente la ladera del cerro Cruz de Shállapa forma parte del flanco Este, de un anticlinal regional (figura 2), donde convergen esfuerzos a nivel tectónico y como consecuencia se ha identificado:

- Un fallamiento longitudinal, subparalelo al eje de pliegue y transversal debido al esfuerzo diferencial de compresión, la Formación Oyón en su conjunto está caracterizada como rocas de mala calidad geomecánica, en la zona del derrumbe, el afloramiento de areniscas se presenta moderadamente meteorizada y de mediana a muy fracturada, los sistemas de fracturamiento con abertura del orden milimétrico a centimétrico, generando bloques sueltos entre 0.2 m a 3.0 m de diámetro (figura 3).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 2. Sección E-W mirando al N.



Fuente: Ing. Raúl D. Caballero Bedriñana

Sobre el macizo rocoso del Cerro Cruz de Shállapa, fuera de la influencia del área del derrumbe es común encontrar apilamiento de bloques sueltos, indicadores de una dinámica activa. (ver figura 3a)

Sobre el farallón, del lado izquierdo del derrumbe, se observa bloques desprendidos, producto del relajamiento del macizo rocoso, es determinante el monitoreo de todo el macizo rocoso desde una estación geodésica. (ver figura 3b)

En la parte baja del farallón, en una cavidad del macizo, se observa abertura entre los estratos y sistemas de fractura, indicando un relajamiento del macizo rocoso. (ver figura 3c)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 3. Imágenes del lado sur del deslizamiento

(a) (b) (c)

Fuente: Ing. Raúl D. Caballero Bedriñana

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales:

Según Villarreal (2020) en la tesis titulada “Caracterización geotécnica de macizos rocosos, a nivel de prefactibilidad, en el área de implantación de presas de laminación de crecidas extraordinarias actuales y proyectadas sitas en la Hoja Tandil 3760-IV”, sustentada el año 2020, por María Cristina Villarreal en la Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. En la tesis se denota que el conocimiento de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos resulta fundamental para asegurar la estabilidad de una obra y mitigar los posibles riesgos geológicos. Para ello, existen diferentes metodologías que cuantifican la calidad de los mismos y permiten predecir su comportamiento geomecánico e hidráulico. El Trabajo Final de Licenciatura se realizó con el fin de caracterizar geomecánicamente, a nivel de prefactibilidad, los macizos rocosos presentes en las áreas de implantación de las presas existentes en la Hoja Tandil 3760-IV, ubicadas en la ciudad de Tandil denominadas Dique del Fuerte y Presa del Ramal H y de una tercera presa proyectada hacia el SO de dicha ciudad cuya identificación es Presa del Arroyo Blanco. Basada en información de estudios precedentes, se llevó a cabo una caracterización de los materiales de fundación en campo. Para ello,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

se analizaron las propiedades de las rocas superficiales y las discontinuidades en cada sector. Este análisis se realizó según metodologías indicadas y homologadas por la International Society of Rocks Mechanics. Posteriormente se aplicó la clasificación RMR de Bieniawski (1989) para determinar la parametrización geotécnica del macizo rocoso en cada sitio. Cabe destacar que, desde el análisis geomecánico, los aspectos de mayor importancia se centran en el análisis de las discontinuidades de los macizos rocosos por tener las mismas directa implicancia en la estabilidad mecánica de las fundaciones en roca. En las rocas de estudio, que forman parte del Basamento ígneo-metamórfico de Tandilia, se reconocieron cuatro familias de discontinuidades presentes en todos los sectores analizados, cuyos rumbos e inclinaciones respondían a las orientaciones de los tres dominios tectónicos definidos para el sistema de Tandilia bajo estudio. Asimismo, se diferenciaron cinco zonas, de acuerdo a variaciones en las características litoestructurales de los materiales. Se determinó que dichas zonas constituyen, a grandes rasgos, dos macizos rocosos con propiedades contrastantes: por un lado, el macizo rocoso de la zona geotécnica 1, y por el otro el macizo conformado por las zonas restantes. El primero de ellos comprende las rocas con descomposición textural, cizalladas y altamente meteorizadas, y presentó valores RMR que lo ubican en la clase VI cuya calidad de roca es mala a muy mala. A partir de esta clasificación se estimaron los parámetros de resistencia y deformabilidad de dicho macizo, definiendo para el mismo una baja resistencia y alta deformación, por lo que debería ser excavado en el caso de ser objeto de fundación. Las zonas restantes, que abarcan rocas frescas diaclasadas a levemente meteorizadas, presentaron valores RMR tales que

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

todas fueron ubicadas en la clase II, constituyendo un macizo rocoso de buenas características geotécnicas con alta a media capacidad portante. El trabajo demuestra concluyentemente en la práctica, la viabilidad de la metodología desarrollada y aquí explicitada, para el nivel de prefactibilidad establecido. (Villarreal, 2020, p. 2).

Según Sequeira (2019) en el Trabajo de investigación titulado "Caracterización geomecánica del macizo rocoso Cerro Coyotes, Escazú, Costa Rica", publicado el año 2019, por José Sequeira-Arguedas, por el Laboratorio de Geomecánica, Escuela Centroamericana de Geología Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. En el trabajo se precisa que un trazado hipotético para un túnel vial de 9 m de diámetro atravesando el Cerro Coyotes, permitió caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso del sector SE por medio de las clasificaciones RMR y Q. Asimismo, se estimaron los parámetros de resistencia al corte por medio para la matriz rocosa y discontinuidades aplicando los criterios de Hoek & Brown (1980) y Barton & Choubey (1977), respectivamente. Levantamientos, pruebas in situ y de laboratorio estiman una cohesión de 380 a 660 kPa y un ángulo de fricción de 48° a 51.5° para la matriz rocosa mientras que las discontinuidades poseen valores de 10 kPa y 20.9°. Por medio del método de Morelli (2017), se encontraron variaciones de GSI entre 43 y 51, las cuales se asocian a las cuatro familias principales de discontinuidades encontradas que generan variaciones del RQD del macizo. Este macizo se clasifica de calidad media según el RMR y como pobre a muy pobre según el índice Q, con ausencia de agua subterránea a nivel de afloramiento. Debido a regímenes de esfuerzos superficiales (cercanos a 1.37 MPa), la mejor combinación de soportes para

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

revestir el portal y en general las secciones del túnel, es la combinación de concreto lanzado reforzado con malla y pernos equidistantes, con cargas de soporte puntual entre 71 y 251 kPa, siendo recomendable excavación tipo top heading and bench. La caracterización geomecánica de macizos rocosos con métodologías estadísticas y prácticas es imprescindible para que en Costa Rica se inicie con el aprovechamiento del espacio subterráneo y se desarrolle la investigación en mecánica de rocas. (Sequeira, 2019, p. 1).

Según Rincón (2016) en la monografía titulada "Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del Contrato 01-068-96 "Cooperativa Cooprocarbon Sugamuxi" Municipio de Gámeza Boyacá", sustentada el año 2016, por Bertha Cecilia Rincón Silva, en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. Facultad Seccional Sogamoso. Escuela de Ingeniería Geológica. Sogamoso, Colombia. El trabajo fue hecho con el fin de desarrollar un estudio de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes de la formación Guaduas que aflora en el área de concesión de la Cooperativa Cooprocarbón Sugamuxi Municipio de Gámeza Boyacá. El método utilizado para determinar la clasificación Geomecánica del macizo rocoso es el propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR y tuvo como objetivo general realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01068-96 "Cooperativa Cooprocarbon Sugamuxi" Municipio de Gámeza Boyacá. (Rincón, 2016).

Antecedentes Nacionales:

Según Hizarra, Lopez y Navarro (2021) en la tesis titulada "Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el ángulo de reposo del talud,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

carretera tramo San Antonio puente Chiquiacc, Huancavelica-2021", sustentada el año 2021, por Jorge Manuel Hizarra Samaniego, Jorge Eduardo López Camargo y Jearly Francis Navarro Romo, en la Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. El trabajo de investigación planteó como objetivo general: establecer el resultado de la evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el ángulo de reposo del talud, carretera tramo San Antonio - Puente Chiquiacc, Huancavelica 2021. La hipótesis general fue que el resultado de la evaluación geomecánica del macizo rocoso es heterogéneo para cada zona, para las cuales se determinaron diferentes ángulos de reposo de los taludes de la carretera tramo San Antonio- puente Chiquiacc. El método de investigación fue el científico, tipo aplicada, nivel descriptivo de diseño causal; la población estuvo conformada por todos los taludes de macizo rocoso dentro de los 10 km de carretera desde el distrito San Antonio hasta el Puente Chiquiacc, Tayacaja – Huancavelica. y la muestra está conformada por el talud de macizo rocoso de las progresivas 10+430 - 10+440 de la carretera desde el distrito San Antonio hasta el puente Chiquiacc. Producto de la investigación se concluye que según la evaluación geomecánica mediante la clasificación de Bieniawski, el macizo rocoso obtuvo una puntuación de 69, estableciéndose como Buena – IIb, posteriormente se realizó la clasificación de Romana tomando en cuenta la condición más desfavorable, siendo evaluado con una pendiente de talud de 10/1 (V/H), o su equivalente a 84.3°, el cual obtuvo un valor de 55.48 clasificándose como roca normal o parcialmente inestable; por lo tanto, puede presentar algunas o varias roturas de tipo cuña, donde se recomienda un

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

sostenimiento de refuerzo, que puede constar de bulones o anclajes en mejor de los casos, y de gunita u hormigón proyectado en el peor de los escenarios. (Hizarra et al., 2019, P. 9).

Según Aguilar y Robles (2020) en la tesis titulada "Caracterización geotécnica del macizo rocoso para uso como lastre, Alto Perú, Cajamarca – 2020", sustentada el año 2020, por Jorge Arturo Aguilar Asca y Rolando Homer Robles Maquera, en la Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Cajamarca – Perú. La investigación tiene por objetivo realizar la Caracterización Geotécnica del Macizo Rocoso del Alto Perú - Cajamarca y evaluación para el uso de lastre. La metodología comprende un tipo investigación aplicada - descriptivo, el diseño de investigación es descriptiva de corte transversal. La población se compone la masa rocosa y el material de cantera del sector Alto Perú – Cajamarca; la muestra lo constituyen diez (10) muestras de masa rocosa y diez (10) muestras de agregado o material de cantera del sector Alto Perú. Los resultados revelan que el macizo rocoso del sector Alto Perú-Cajamarca, presenta una valoración de RMR promedio de 70, pertenecientes a una calidad del macizo rocoso buena. , los análisis granulométricos cumplen con la norma ASTM -147 con excepción del tamiz de 1"; además, el porcentaje de desgaste o abrasión obtenido está entre 27. 8 % y 30.8%, lo cual cumple con las normas ASTM C 131 y MTC E 110. En conclusión, la calidad del macizo rocoso del sector Alto Perú es buena y la calidad del material de cantera cumple con la normatividad, la cual garantiza su uso para el lastrado de carreteras no pavimentadas y para estabilizado de vías. (Aguilar y Robles, 2020, p. 8).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Según Huayra (2019) en la tesis titulada “Modelamiento de macizo rocoso para prevención de mecanismos de falla en la subestación eléctrica Mirador”, sustentada el año 2019, por Grecia Geraldine Huayra Mena en la Universidad nacional Federico Villarreal. Facultad De Ingeniería Civil. Lima, Perú. En la tesis se precisa que los proyectos de baja envergadura que comprenden un estudio de macizo rocoso son frecuentemente analizados mediante metodologías empíricas, o se consideran los parámetros referenciales que se mencionan en el Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014; eludiendo así el desarrollo de un estudio completo de proyecto. Esto sucede debido al presupuesto limitado que un proyecto de baja envergadura presenta en comparación de un proyecto de gran envergadura, realizándose así limitados ensayos in-situ y laboratorio, y estudios de evaluación del macizo rocoso como prevención de mecanismos de falla. En la presente investigación se desarrolla una metodología analítica, basado en métodos propuestos por diferentes autores, que permita analizar la estabilidad de taludes del macizo rocoso del proyecto Subestación Eléctrica Mirador, con la finalidad de obtener el modelamiento mediante software computacional y los factores de seguridad como prevención de mecanismos de fallas del macizo rocoso. De igual modo, la presente investigación verificó si los taludes de corte mencionados en el Manual de Carreteras- Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014, los cuales fueron aplicados en la Subestación Eléctrica Mirador, son convenientes para taludes menores a diez metros. Finalmente, el análisis de estabilidad de taludes permitió comprobar si las grietas encontradas en la edificación construida sobre el macizo rocoso

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

cortado fueron generadas por la inestabilidad del talud generado en el macizo rocoso. (Huayra, 2019, p. 6).

Antecedentes Locales:

Según Cáceres (2019) en la tesis titulada "Geomecánica aplicada al diseño de la malla de perforación de la GA-475E del nivel 2050 en la unidad Alpacay, MYSAC AÑO 2016", sustentada el año 2019, por Carlos Martín Cáceres Montaña en la Universidad Nacional. Santiago Antúnez De Mayolo. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. En la tesis se señala que MYSAC es una empresa que está enfocada básicamente en la exploración, extracción, procesamiento y venta de oro, con amplia experiencia en minería subterránea. La Unidad Alpacay trabaja con un diseño de malla de perforación y voladura basado en conocimientos empíricos, sin ninguna ecuación matemática que involucre la calidad de la roca y otros parámetros cuantificados como variables. Los efectos que conlleva son sobre roturas, la demanda de explosivos, falta de paralelismo de los taladros, longitud incompleta de los mismos, variaciones en la inclinación de los taladros, inadecuada cara libre o insuficientes taladros de alivio, inadecuados espaciamiento y burden. La tesis tiene como fin reducir las incidencias de voladuras debido a los deficientes diseños de malla que se realiza. En la U. Alpacay se desarrollaron proyectos de profundización y preparación de diferentes vetas, labores que abrieron acceso para explotar recursos minerales. Se realizaron estudios técnicos referentes a las incidencias de voladuras deficientes en las distintas labores y secciones, se evaluó los

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

diseños de perforación y voladura anteriores al presente trabajo. El objetivo principal del estudio es diseñar la malla, para la GA 475 E según el tipo de roca (calidad de roca y RMR), para cumplir con dicho objetivo se llevó a cabo las siguientes tareas:

- Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR).
- Mapeo gemecánico.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación fueron mediante el método de causa efecto, los diseños de perforación han sido implementados en la unidad como estándares de trabajo. (Cáceres, 2019, p.III).

Según Rodriguez (2018) en la tesis titulada "Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. Agregados S.A. - año 2018", sustentada el año 2018, por Arturo Daniel Esteban Rodriguez Lucas en la Universidad Nacional. Santiago Antúnez De Mayolo. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. La tesis tuvo como objetivo fundamental la de Aplicar la Geomecánica para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. Agregados S.A. - año 2018. Se justifica porque con la aplicación de la Geomecánica y con la determinación los parámetros Geomecánicos RMR de Bieniawski y RQD podemos determinar el sostenimiento adecuado en la unidad minera Arequipa M, con esto mejoraremos la estabilidad de las labores mineras subterráneas.Se concluyó que de acuerdo al levantamiento litológico estructural de caracterización del macizo rocoso determinado, a través del programa

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

computacional del DIPS, la determinación del RQD que es 68%, la calidad y el valor del macizo rocoso es según el RMR de 57, clasificándola como de Clase III. Sin embargo, para la selección de un sistema de reforzamiento (bolting) para el caso específico de minería, se ha tenido que usar las correcciones de Laubscher And Taylor para obtener el MRMR (Mining Rock Mass Rating). En este trabajo consideramos un ajuste del orden 70%, es decir trabajaremos con un RMR de 40. Recomendándose para este caso que corresponden a un tipo de refuerzo: el empleo de Mallas electro soldadas, Split Set de 5 y 7 pies y cuadros de madera, con espaciamiento de 1.20 a 1.20 metros. (Rodriguez, 2018, p. 4).

2.2. Definición de Términos

- **Roca:** se define roca como un agregado sólido, formado por uno o varios minerales, que se encuentra ocupando grandes extensiones de la corteza terrestre. (Ramírez y Alejano, 2016, citado por Hizarra et al., 2019, P. 53).

- **Roca:** agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables. (Alonso, 2007, p. 1).

- **Suelo:** agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas, separables por medios mecánicos de baja energía o por agitación en agua. (Alonso, 2007, p. 1).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Roca intacta:** elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no presenta discontinuidades observables. (Ramírez y Alejano, 2016, citado por Hizarra et al., 2019, P. 53).

- **Macizo rocoso:** conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico. (Alonso, 2007, p. 1).

- **Macizo rocoso:** se define macizo rocoso como la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural y está definido por la roca y la estructura, que a su vez contiene planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales, por lo tanto, son discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas. (Ramírez y Alejano, 2016, citado por Hizarra et al., 2019, P. 53).

- **Matriz rocosa = Roca matriz = Roca intacta:** material rocoso sin discontinuidades, o bloques de roca entre discontinuidades. (Se caracteriza por su densidad, deformabilidad y resistencia; por su localización geográfica; y por su litología, ya sea ésta única o variada). (Alonso, 2007, p. 1).

- **Discontinuidad:** son las discontinuidades geológicas (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) las que cambian la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, lo que confiere al macizo rocoso un comportamiento geomecánico e

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

hidráulico discontinuo. (Ramírez y Alejano, 2016, citado por Hizarra et al., 2019, P. 53).

- **Discontinuidad:** cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción nula o muy baja. (Genera comportamiento no continuo de la matriz rocosa, y normalmente anisótropo). (Alonso, 2007,

- **Talud:** superficie inclinada respecto a la horizontal que adoptan permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería. (Turpo, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 54).

- **Estabilidad física:** es el comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o frente a factores exógenos y endógenos, que evita el desplazamiento de materiales, con el propósito de no generar riesgos de accidentes o contingencias para el ambiente y para la integridad física de personas y poblaciones y de las actividades que éstas desarrollan. (FONAM, 2019, citado por Hizarra et al., 2019, P. 54).

- **Orientación:** la orientación de las discontinuidades se mide o define por su rumbo y buzamiento y corresponde a la posición espacial de los planos de debilidad (juntas, diaclasas, fallas, estratificación, etc.), es así que cuando un grupo de discontinuidades presentan similitudes o son paralelas entre sí se dice que son familias de discontinuidades. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 54).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Rock Mass Rating (RMR):** es un sistema de clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque para estimar las propiedades del macizo rocoso a gran escala. Este sistema de clasificación geomecánica es un intento de representar con un solo valor las propiedades de resistencia de un macizo rocoso ya que este es usualmente un material altamente anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación. (Hizarra et al., 2019, P. 54).

- **Resistencia a la compresión:** es una propiedad mecánica de la roca intacta la cual se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo. (Hizarra et al., 2019, P. 54).

- **Rock Quality Designation (RQD):** índice de calidad de la roca es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso desarrollado por Deere en1964. (Hizarra et al., 2019, P. 54).

- **Espaciamiento de las discontinuidades:** el espaciado corresponde a la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, es así que, entre menos espaciado los bloques de matriz rocosa (roca intacta) serán más pequeños y entre más espaciado, los bloques de matriz rocosa serán más grandes. ((Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 54).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Persistencia:** la persistencia o continuidad corresponde a la extensión en área o tamaño de una discontinuidad en el macizo rocoso, es así que cuanto menor sea la persistencia, la estabilidad de la masa rocosa es mayor y si la persistencia es mayor, la estabilidad del macizo rocoso es menor. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 55).

- **Apertura:** la abertura o apertura corresponde a la separación que existe entre las paredes o superficies rocosas de una discontinuidad, es así que, a menor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será mayor y a mayor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será menor. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 55).

- **Rugosidad:** la rugosidad corresponde a la aspereza o irregularidad que ocurre en la superficie de las discontinuidades, es así que, entre menor rugosidad tenga una discontinuidad, la competencia del macizo rocoso es menor y entre mayor rugosidad tenga la discontinuidad, la competencia del macizo rocoso es mayor. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 55).

- **Relleno:** el relleno corresponde a los materiales que se alojan en los espacios de las discontinuidades, es así que, cuando los materiales de relleno son suaves (arcillas), la competencia del macizo rocoso es menor y cuando el relleno consiste de materiales duros (sílice), la competencia del macizo rocoso es mayor. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 55).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Grado de meteorización:** el grado de meteorización responde a factores medioambientales y procesos físicos, químicos y biológicos que descomponen la masa rocosa in situ, la evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se lo puede hacer directamente sobre el afloramiento. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 55).

- Slope Mass Rating (SMR): es una clasificación geomecánica desarrollado por Romana (1985) para evaluar la estabilidad de los taludes rocosos. (Maldonado, 2018, citado por Hizarra et al., 2019, P. 55).

2.3. Fundamentación teórica

2.1.1. Las rocas

Las rocas pueden ser duras o blandas y las fallas de los macizos se pueden presentar por zonas de debilidad o de discontinuidad estructural. Las rocas blandas fallan a través del cuerpo de la masa rocosa y también a través de sus defectos estructurales. (Duque, 2016, p. 266).

2.1.2. Calidad del macizo

Se considera que un suelo o roca es blando o duro, según su resistencia a la compresión esté en los siguientes rangos:

- Suelo blando menos de 4 Kg/cm2
- Suelo duro entre 4 - 10 Kg/cm2

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Roca blanda de 10 a 375 Kg/cm2
- Roca intermedia de 375 a 700 Kg/cm2
- Roca dura más de 700 Kg/cm2
- El concreto corriente es de sólo 210 Kg/cm2,

Las rocas blandas son aquellas que pueden fallar a través de material intacto a los niveles de esfuerzos existentes que se pueden dar en el área de influencia de una excavación, sin que tenga sentido un valor numérico para definir la resistencia de dichas rocas, máximo aún si se tiene en cuenta que los macizos de roca más dura pueden fallar y fallan en las excavaciones más profundas. (Duque, 2016, p. 267).

2.1.3. Tipos de rocas

- **Las rocas ígneas.** - Son muy resistentes, isotrópicas, rígidas, frágiles, densas y de textura entrabada. Su inconveniente se da por presencia de materiales alterables y diaclasamiento.
- **Las rocas ígneas plutónicas. -** Tienen minerales resistentes, entrabados, se da fallamiento en escalonado de minerales porque son diferentes.
- **Las rocas ígneas volcánicas. -** Muestran heterogeneidad de minerales; hay falla en poros que afectan la roca, la porosidad le da plasticidad a la masa que si es de rocas masivas resulta poco porosa.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Las rocas sedimentarias. -** Tienen resistencia media a baja son ortotrópicas, poco rígidas, dúctiles, porosas y presentan textura cementada-laminada. Su inconveniente es la ortotropía que hace difíciles los cálculos de estabilidad y comportamiento del macizo. En las rocas sedimentarias la resistencia depende del grado de cementación y de su densidad. Ella aumenta cuando los granos son finos; si hay disolución en la masa hay porosidad. Los planos de estratificación son zonas de debilidad.

- **Las rocas metamórficas. -** Se caracterizan por una resistencia medio alta, su ortotropía, tenacidad, textura entrabada y baja porosidad. Hay rigidez en el sentido paralelo y plasticidad en el perpendicular, con relación a los planos de clivaje. Su ortotropía dificulta los cálculos. Las rocas metamórficas resultan elásticas por la cristalización de la masa. Son densas por el empaquetamiento. Si hay minerales laminados hay debilidad. Si hay esquistosidad hay zonas de debilidad. Los gneises son como los granitos, aunque el bandeamiento les da debilidad. (Duque, 2016, pp. 268-269).

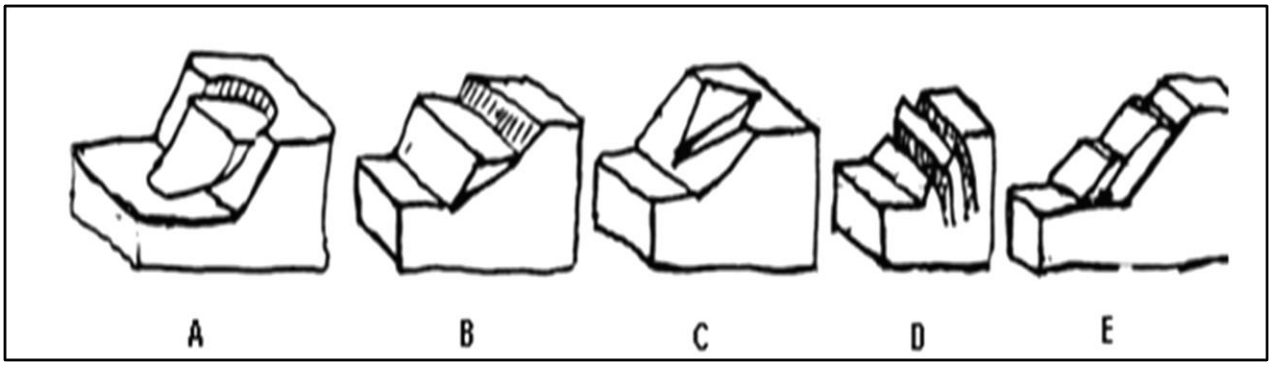
2.1.4. Macizos en roca blanda

Macizos en roca blanda. Los macizos de roca blanda están constituidos por materiales generalmente sedimentarios de grano fino, como arcillolitas, lodolitas, limolitas, tobas y margas, y también areniscas o conglomerados, pobremente cementadas, o por rocas metamórficas con orientación esquistosa desfavorable (filitas,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

esquistos), cuyo comportamiento geomecánica está controlado por la roca intacta y también por fracturas, diaclasas y fallas. (Duque, 2016, p. 269) (ver figura 2).

Figura 4. Fallas de un talud de roca: A. Falla circular. B. Falla planar, C. Falla en cuña, D. Falla por volcamiento, E. Fallas por flexión y Falla por pateo. Según Hoek and Bray, Rock Slope Engineering



Fuente: Gonzalo Duque Escobar, 2016.

Los macizos de roca meteorizada también pueden ser considerados como masa de roca blanda cuyas discontinuidades son rellenos de materiales tipo suelo; dichos macizos a menudo muestran una transición hacia suelos residuales donde los saprolitos tienen estructuras relictas, heredadas de la roca sana, las que sirven de zona de falla. (Duque, 2016, p. 270).

2.1.5. Factores del comportamiento mecánico de los macizos rocosos (objetivos del estudio)

- **Matriz rocosa:** litología (características petrográficas y propiedades)
- **Discontinuidades:** fracturación (tipo y frecuencia)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Estructuras geológicas no discontinuas:** (sedimentarias, téctonicas, pliegues).
- **Tensiones naturales:** (estado tensional o de esfuerzos, sismicidad, movimientos).
- Factores geoambientales.
- Grado de meteorización, susceptibilidad a la meteorización.
- **Condiciones hidrogeológicas:** (nivel freático y sus variaciones, contenido en humedad, circulación de agua). (Alonso, 2007, p. 1).

2.1.6. Aplicaciones geotécnicas de la descripción y caracterización de macizos rocosos

- Cimentación de edificios.
- Estabilidad de taludes: escavados o naturales.
- Construcción de muros y anclajes, escolleras.
- Terraplenes, pedraplenes y presas de tierra.
- Excavaciones a cielo abierto o superficiales.
- Excavaciones subterráneas y túneles.
- Obtención de materiales de construcción (balasto, macadam, áridos, piedra natural).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Mejora geotécnica de terrenos.
- Control de filtraciones y drenajes. (Alonso, 2007, p. 1).

2.1.7. Descripción de macizos rocosos en afloramientos: metodología

Las descripciones en general son subjetivas, procurar evitarlo con descripciones objetivas:

- Utilizar nomenclatura y clasificación normalizada.
- Realizar observaciones y toma de datos sistemáticas. Condiciones, procedimiento o requisitos de una buena descripción.
- Examinar todos los factores según una secuencia lógica.
- No omitir ningún tipo de información básica.
- La descripción debe comunicar una imagen mental precisa.
- Un usuario debe obtener la información relevante que precise.

El objetivo es que distintos observadores lleguen a la misma descripción.

1. **Características generales del macizo: Descripción del afloramiento y división en zonas**

   Presentar en forma de ficha: tipo de trabajo, fase de estudio, elemento, observador, fecha.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Identificación del macizo rocoso:**

  - ✓ Denominación: litología.
  - ✓ Localización geográfica: localidad, topónimo.
  - ✓ Localización geológica: edad, formación.
  - ✓ Rasgos estructurales generales: estratificación, fallas, fracturas.

- **División en zonas homogéneas, según distintos criterios:**

  - ✓ Litológicos, estructurales, hidrológicos, meteorización, fallas, brechas.

- Registro gráfico de afloramiento (fotografías, dibujos, esquemas), incluyendo:

  - ✓ Descripción geológica general (geomorfología, litología…) y grandes estructuras.
  - ✓ Diferenciación y características básicas de cada zona.

- **Descripción general de cada zona, incluyendo:**

  - ✓ Litología, edad, meteorización, fracturas, presencia de agua.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ Una visión general del macizo y justificar su división en zonas (sin detalles respecto a la matriz rocosa o discontinuidades).

- **Identificación de zonas singulares o estructuras lineales (fallas, diques).**

  - ✓ Afectan mucho al comportamiento geomecánico.

  - ✓ Precisan tratamiento individual, incluyendo: su problemática específica y su influencia en el comportamiento del macizo.

2. **Descripción detallada de cada zona: Matriz rocosa y discontinuidades:**

   - La toma de datos requiere una sistemática precisa y su presentación en forma de ficha: proyecto, autor, fecha, localización, estación, planos, fotos.

   - En zonas extensas tomar datos en varios puntos o estaciones de medida, para que los datos sean representativos del macizo.

   - A partir de los datos, obtener parámetros relativos a la matriz rocosa y a las discontinuidades (número de familias de discontinuidades, su orientación y sus características).

     - ✓ Matriz rocosa:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Identificación:

  - Litología: naturaleza, potencia, localización geológica (formación, edad).

  - Formaciones superficiales: naturaleza, textura, morfología, espesor.

  - Estructura: pliegues, fallas, otros.

  - Fracturación: parámetro Jv, juntas por m3 (6 clases).

- Meteorización: grados de meteorización (6 clases).

- Resistencia: índices de campo (7 clases + valores R del esclerómetro).

- Hidrogeología: grados de humedad (5 clases, valor del caudal).

✓ Discontinuidades:

- Identificación: tipo de plano (estratificación: S0, esquistosidad: S1, juntas: J1, J2, fallas: F1, F2,).

- Características (para cada tipo o familia de discontinuidades).

  - Orientación: dirección y buzamiento (valores).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Espaciado, en mm (7 clases).
- Continuidad según dirección y buzamiento, en m (5 clases).
- Rugosidad, establecer tipos y clases en cada tipo (3 x 3 clases).
- Apertura, en mm (9 clases).
- Relleno: - composición (8 tipos).
- Espesor, en mm.
- Grado de meteorización (6 clases).
- Filtraciones, discontinuidades con o sin relleno (4 clases).
- Resistencia a la compresión de las paredes (discontinuidades con o sin relleno).
- Índices de campo (6 clases).
- Valor del penetrómetro de bolsillo.

▪ Resistencia al corte (parámetro cuantitativo).

3. Caracterización global: Parámetros del macizo rocoso y clasificación geomecánica:

- En la descripción del macizo rocoso se toman datos cualitativos y si es posible cuantitativos.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Por ello, los métodos de caracterización tienden normalmente a obtener valores numéricos.

- En este sentido, existen tablas donde se establecen clases (escalas con valores de referencia, criterios) que permiten cuantificar dichas características y obtener parámetros.

- Dichos parámetros son necesarios en la clasificación geomecánica de los macizos rocosos.

- Parámetros del macizo rocoso (elementos que proporcionan los parámetros utilizados para definir y caracterizar el macizo en su conjunto o sus diferentes zonas):

  ✓ Número de familias de discontinuidades.

  ✓ Tamaño de bloque.

  ✓ Intensidad de fracturación.

  ✓ Meteorización.

  ✓ Resistencia. (Alonso, 2007, pp. 2-3).

2.1.8. Caracterización de la roca matriz

(Trabajo de campo y de laboratorio): La descripción de rocas con fines ingenieriles, requiere seleccionar propiedades básicas y obtener parámetros ("propiedades índices") para su clasificación geomecánica.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Las “propiedades índices” pueden ser obtenidas mediante ensayos de campo o de laboratorio, sobre muestras o probetas de roca matriz (roca intacta).

1. Litología: identificación y descripción:

- Identificación: clasificación: Clasificación petrológica o petrográfica.
- Geometría, estructura y relaciones de campo.
  - ✓ Geometría (forma del cuerpo rocoso); tamaño.
  - ✓ Estructura (masiva, foliada...); estructuras sedimentarias, tectónicas.
  - ✓ Relaciones espaciales y temporales con otras rocas.
  - ✓ Determinación: análisis de campo, en afloramientos naturales, calicatas.
- Descripción petrográfica
  - ✓ Composición: identificación de minerales esenciales y accesorios (silicatos, carbonatos).
  - ✓ Textura: tipo de textura (clástica, cristalina).
  - ✓ Elementos texturales (tamaño, forma).
  - ✓ Porosidad: tipo de espacios vacíos, elementos (tamaño, forma).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ Determinación: análisis en laboratorio, “de visu”, láminas delgadas.

- Parámetros litológicos esenciales:

  - ✓ Color color de la roca matriz, sin capas de alteración). Relación con el grado de meteorización: produce variaciones de color, cambios selectivos. Determinación: por comparación con cartas de colores (escala Munsell de color).

  - ✓ Tamaño de grano: elemento principal en la caracterización de la textura de la roca, incluye dos conceptos: tamaño medio de grano y variación de tamaño (calibrado, heterometría) (ver tabla 2).

Tabla 2. Clasificación del tamaño medio de grano.

Término (clase)	Tamaño (escala)	Equivalencia
Grano muy grueso	> 60 mm	Grava gruesa
Grano grueso	60 a 2mm	Grava
Grano medio	2 a 0,06 mm	Arena
Grano fino	0,06 a 0,002 mm	Limo
Grano muy fino	< 0,002 mm	Arcilla

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2. Meteorización

- Alteraciones que cambian las características de las rocas: modifican sus propiedades (porosidad ↑, permeabilidad ↑, deformabilidad ↑, resistencia).

- Causas (factores):

  ✓ Factores internos: mineralogía, componentes, textura y estructura, (cada tipo de roca sufre unos procesos: presenta mayor o menor intensidad).

  ✓ Factores externos: clima (temperatura, humedad, lluvia, viento), determina el tipo y la intensidad.

  ✓ Además, influye el tiempo de exposición (relación con la profundidad).

- Causas (procesos):

  ✓ Procesos o acciones físicas (influidos por la temperatura y la humedad) ⇒ efectos: fragmentación y desintegración = disgregación (aumenta la superficie expuesta).

  ✓ Procesos o acciones químicas (en presencia de agua e influidas por la temperatura) ⇒ efectos:

  ✓ Descomposición, disolución.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ Procesos biológicos ⇒ efectos: destrucción, fisuración y descomposición.
- ✓ Determinación del estado de meteorización mediante índices normalizados, [2, pag. 344](ver tabla 3)

Tabla 3. Grado de meteorización (ISRM, BS 5930:1981).

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización. Indicar el grado de cambio y si dicho cambio
Desintegrada*	Roca meteorizada a suelo, conservándose la fábrica original. Los granos minerales están sin alterar, pero la roca es friable.
Descompuesta*	Roca meteorizada a suelo, conservándose la fábrica original. Algunos o todos los granos minerales están descompuestos.

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

3. Propiedades físicas

- Parámetros físicos esenciales:
  - ✓ Densidad / Porosidad.
  - ✓ Absorción de agua.
- Parámetros relacionados con la dureza, abrasión y durabilidad:
  - ✓ Ensayo de Desmoronamiento (Slake-durability)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ Resistencia al rebote (esclerómetro Shore)
- ✓ Resistencia a la abrasión (máquina de abrasión)
- ✓ Resistencia al desgaste: Ensayo Micro-Deval. Ensayo nórdico
- ✓ Resistencia a la fragmentación: Ensayo de Los Ángeles. Ensayo de impacto.
- ✓ Resistencia a la fragmentación: Índice de machacabilidad.

- Parámetros relacionados con la velocidad del sonido
  - ✓ Velocidad de propagación de ondas elásticas (pulsos de alta frecuencia, pulsos de baja frecuencia, método de resonancia, módulos elásticos dinámicos).

4. Propiedades mecánicas: Resistencia y deformabilidad

- Parámetros que permiten caracterizar y clasificar la roca matriz: la resistencia (compresión simple), y el comportamiento frente a la deformación (módulo de Young, coeficiente de Poisson).
- La resistencia determina la competencia de la roca matriz para mantener unidos sus componentes, y depende

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

fundamentalmente de su composición mineral y del grado de alteración.

- **Índices de campo: estimación de la resistencia uniaxial (ISRM):**

  ✓ Primera aproximación del valor de la resistencia: valoración cualitativa que tabulada permite establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia en suelos cohesivos y rocas.

  ✓ Procedimiento: limpiar capa de alteración superficial, hacer pruebas con navaja o martillo de geólogo y clasificar la resistencia de la roca de acuerdo con la tabla 4.

Tabla 4. Resistencia a partir de índices de campo (ISRM).

Clase	Descripción	Identificación de campo	≈ Resistencia a la compresión (MPa)
S1	Suelo muy blando	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,0025
S2	Suelo blando	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,0025 – 0,05
S3	Suelo firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05 – 0,10
S4	Suelo rígido	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,10 – 0,25
S5	Suelo muy rígido	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25 – 0,50
S6	Suelo duro	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,50

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Clase	Descripción	Identificación de campo	≈ Resistencia a la compresión (MPa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25 – 1,0
R1	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente.	1,0 – 5,0
R2	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con la navaja se talla con dificultad.	5,0 – 25
R3	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse.	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	50 – 100
R5	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

- **Ensayo con el esclerómetro (Martillo Schmidt)**

✓ Ensayo sencillo de campo o laboratorio, que permite estimar la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa y que también se aplica a las discontinuidades:

- En roca matriz: evitar bloques pequeños o con discontinuidades cercanas,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- En superficies de discontinuidad: aplicar directamente en dicha superficie.

✓ El esclerómetro es un cilindro de unos 6 cm de diámetro, con la masa y el muelle en su interior, el vástago retráctil en uno de sus extremos y una escala en su superficie lateral.

✓ El ensayo consiste en lanzar una masa mediante un muelle sobre un vástago en contacto con la roca, al golpear el vástago la roca rebota la masa y queda registrado el "número de rebote

✓ El "número de rebote" obtenido, junto con la densidad de la roca, se correlaciona con la resistencia a la compresión simple (gráfico de Miller).

✓ Determinación: ensayo de campo y de laboratorio.

- **Ensayo de carga puntual o ensayo PLT (Point Load Test).**

✓ Ensayo sencillo de campo o laboratorio, a utilizar sobre fragmentos de roca o testigos, (resultados más fiables para testigos); ensayo no indicado en rocas blandas o anisótropas.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ El ensayo consiste en aplicar una carga puntual a un trozo de roca hasta la rotura, y obtener un índice (Is) mediante la expresión: Is = P / D2

  donde:

  P = carga de rotura.

  D = diámetro de la muestra (distancia entre puntas).

- ✓ El índice obtenido (Is) está relacionado con la resistencia a la compresión simple (σc); dicha relación para testigos de 50 mm es: σc = 23 Is, para otros diámetros existen gráficos de corrección.

- ✓ Determinación: ensayo de campo y de laboratorio.

- **Resistencia a la compresión uniaxial y deformabilidad.**

  - ✓ Ensayo de compresión uniaxial.

  - ✓ Determinación: ensayo de laboratorio.

  - ✓ Ensayo de deformabilidad: Módulos elásticos (Young, Poisson).

  - ✓ Determinación: ensayo de laboratorio.

  - ✓ Ensayo de deformabilidad: Módulo de elasticidad dinámico. (Alonso, 2007, pp. 4-7) (ver tabla 5)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 5. Clasificación de la resistencia de la roca matriz (ISRM, 1981; Bieniawski, 1973).

Clase	Descripción (ISRM)	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Resistencia (Bieniawski)	Valores del ensayo	
R0	Extremadamente blanda	< 1			≈ Suelos
R1	Muy blanda	1 – 5	Muy baja	No aplicable	
R2	Blanda	5 – 25			Rocas blandas
R3	Moderadamente dura	25 – 50	Baja	1- 2	
R4	Dura	50 – 100	Media	2 – 4	
R5	Muy dura	100 – 250	Alta	4 – 8	Rocas duras
R6	Extremadamente dura	> 250	(>200) Muy alta	> 10	

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

2.1.9. Caracterización global del macizo

Parámetros de campo: La caracterización global de macizos rocosos en afloramientos incluye, además de la descripción de sus componentes: matriz rocosa y discontinuidades, otros parámetros representativos del conjunto:

1. Número de familias de discontinuidades

   - Condiciona el aspecto del macizo rocoso y su comportamiento (resistencia y deformación).
   - En particular, la orientación de las diferentes familias respecto a la obra condiciona la estabilidad.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Por tanto, deben registrarse todas las familias y evaluar su importancia (asignar grados 1, 2, 3).

- Determinar la orientación media de cada familia: proyección estereográfica equiareal.(ver tabla 6)

Tabla 6. Clasificación de macizos rocosos por las discontinuidades (ISRM, 1981).

Tipo de macizo	Número de familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales
II	1 familia de discontinuidades
III	1 familia de discontinuidades más otras ocasionales
IV	2 familias de discontinuidades
V	2 familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	3 familias de discontinuidades
VII	3 familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	4 o más familias de discontinuidades
IX	Brechificado

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

2. Tamaño de bloque

- Condicionan el comportamiento geomecánico del macizo rocoso (resistencia y deformación).

- Tamaño y forma dependen del nº de familias de discontinuidades, su espaciado y su continuidad (ver tabla 7 y 8)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 7. Descripción del tamaño de bloque en función del nº de discontinuidades (ISRM, 19819).

Clase	Descripción	Jv (discontinuidades / m3)
I	Bloques muy grandes	< 1
II	Bloques grandes	1 – 3
III	Bloques medianos	3 – 10
IV	Bloques pequeños	10 – 30
V	Bloques muy pequeños	> 30
VI	Macizo brechificado	> 60

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

Tabla 8. Clasificación del macizo rocoso según del tamaño y la forma del bloque (ISRM, 1981).

Clase	Tipo	Descripción
I	Masivo	Pocas discontinuidades o con espaciado muy grande
II	Cúbico	Bloques aproximadamente equidimensionales.
III	Tabular	Bloques con una dimensión menor que las otras dos
IV	Columnar	Bloques con una dimensión mayor que las otras dos
V	Irregular	Grandes variaciones de tamaño y forma de los bloques
VI	Triturado	Macizo rocoso muy fracturado

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

3. Fracturación del macizo (Densidad de fracturación).

- Relación con el número y características de las fracturas: espaciado, tipo, estado.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- El factor que mejor define el grado de fracturación es la densidad de fracturas (nº / volumen).

- En la práctica el índice que define el grado de fracturación del macizo rocoso es el RQD.

- RQD (rock quality designation): [2, pag. 326; pag. 133].

  - ✓ Relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total de maniobra: RQD = (Σ longitudes de trozos > 10 cm / longitud total) x 100 (%).

  - ✓ Se mide en testigos de sondeos, diámetro mínimo 48 mm, perforados con doble tubo.

  - ✓ Considera sólo los fragmentos o trozos de material fresco (grado menor de IV) a lo largo de una maniobra de sondeo o en cada cambio litológico, no excediendo normalmente 1,5 m de longitud.

  - ✓ Las medidas se toman del eje central del testigo, con fragmentos que alcancen todo el diámetro (ver tabla 9).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 9. Clasificación de la calidad del macizo según el índice RQD.

Clase	Calidad	RQD (%)
I	Muy mala	< 25
II	Mala	25 – 50
III	Aceptable	50 – 75
IV	Buena	75 – 90
V	Muy buena	90 – 100

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

- ✓ Si no puede medirse RQD, puede estimarse de las medidas de discontinuidades en afloramientos: a) A partir del parámetro Jv: RQD = 115 - 3,3 Jv (para Jv >4,5), o bien, RQD = 100 (para Jv ≤ 4,5) b) A partir de la frecuencia de discontinuidades λ: RQD = 100 e^(-0,1λ) (0,1λ + 1).

- ✓ Aunque RQD es un índice muy útil, no es suficiente para describir las características de fracturación de los macizos rocosos, al no considerar la orientación, separación, rellenos.

4. Meteorización

- Estimar el grado de meteorización del macizo rocoso en conjunto (además de él de la matriz rocosa)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Procedimiento: observar directamente de la roca (si es preciso fragmentar la matriz rocosa) (ver tabla 10)

Tabla 10. Clasificación del grado de meteorización de un macizo rocoso (ISRM,1981; UNE-ENV 1997-3).

Clase	Término	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos visibles de meteorización, tal vez ligera decoloración en las grandes superficies de discontinuidad.
II	Ligeramente meteorizado	Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización. La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo aparece descompuesto o trasformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo aparece descompuesto o trasformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma discontinua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo aparece descompuesto o trasformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el material rocoso se ha trasformado en suelo. Se ha destruido

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

Otros parámetros:

- Para completar la caracterización global del macizo es preciso evaluar otros factores que influyen en el comportamiento mecánico:

  ✓ Resistencia y deformabilidad

  ✓ Comportamiento hidrogeológico

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ Estado tensional.

- Los datos de campo no permiten cuantificar estos factores, pero pueden aportar características cualitativas que ayuden a valorar su influencia en el macizo rocoso.

1. Resistencia y deformabilidad.

- Su determinación es compleja, debido a la heterogeneidad y anisotropía de los macizos rocosos; en principio, dependen de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades; precisan ensayos de laboratorio para ser representativos, además de los ensayos de campo.

- En macizos con matriz rocosa dura y resistente, las discontinuidades controlan la resistencia; en macizos blandos la matriz juega un papel más importante en la resistencia; en general, la resistencia del macizo siempre presenta valores inferiores a los de la roca matriz.

- Deben establecerse los elementos que van a controlar la resistencia del macizo: una familia de discontinuidades, la matriz, una singularidad…: realizar su caracterización de campo y valorar su influencia (determinar parámetros, integrarlos e interpretarlos según criterios empíricos).

- Las clasificaciones geomecánicas informan de la resistencia global y calidad del macizo, en ellas se utilizan

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

valores de resistencia a la compresión simple, aunque no son los mejores.

2. Comportamiento hidrogeológico.

- El contenido y el flujo de agua en los macizos rocosos tiene gran influencia en su comportamiento.
- Los factores hidrogeológicos a tener en cuenta son: niveles freáticos, direcciones de flujo, filtraciones y surgencias.
- Además, deben identificarse las zonas o elementos singulares (barreras o vías preferentes para el agua): fracturas, diques, cavidades, rellenos arcillosos…
- La obtención de datos cuantitativos sobre parámetros: porosidad, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, requiere ensayos específicos.
- Los principales parámetros considerados en las clasificaciones geomecánicas son:
  - ✓ Caudal por 10 m de túnel: inapreciable, <10, 10 – 25, 25 – 125, > 125 (l/min).
  - ✓ Condiciones: seco, húmedo, algunas, frecuentes, abundantes filtraciones.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3. Estado tensional.

- Las tensiones en el macizo están producidas por fuerzas exteriores o por el peso del material.
- Los esfuerzos tectónicos son la causa principal de las tensiones almacenadas en las rocas.
- Con los datos de campo no es posible la evaluación cuantitativa de los esfuerzos, pero puede deducirse su dirección probable.
- Su valoración requiere el conocimiento de la historia geológica y tectónica de la zona.
- Los principales parámetros considerados en las clasificaciones geomecánicas son:
  - ✓ Factor de competencia: resistencia uniaxial de la matriz rocosa dividida por la tensión máxima vertical debido al peso del recubrimiento.
  - ✓ Accidentes y actividad tectónica: fallas, cabalgamientos, actividad compresiva, distensiva.
  - ✓ Factor de relajación tensional: edad geológica de la última deformación dividida por la máxima carga litostática (máximo espesor del recubrimiento).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- ✓ Actividad geotectónica: desconocida, supuesta, confirmada. (Alonso, 2007, pp. 11-13).

2.1.10. Clasificaciones geomecánicas

- El macizo rocoso es un medio discontinuo, complejo, con un comportamiento geomecánico que puede ser estudiado y clasificado en función de su aptitud para distintas aplicaciones.

- Las clasificaciones geomecánicas aportan índices de calidad relacionados con parámetros geomecánicos del macizo, sostenimiento de túneles y taludes, excavabilidad.

- La descripción y medida de las características y propiedades de la matriz rocosa, de las discontinuidades y de los parámetros globales del macizo rocoso, proporcionan los parámetros requeridos por las distintas clasificaciones.

  1. Clasificación RMR (Bieniawski, 1973 y 1979): Parámetros geomecánicos considerados:

     a. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa: ensayo PLT, ensayo de compresión simple.

     b. Grado de fracturación del macizo: ensayo RQD.

     c. Espaciado de las discontinuidades: separación entre diaclasas (m).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

d. Condiciones de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, relleno, bordes.

e. Condiciones hidrogeológicas: caudal, presión de agua, humedad. (Alonso, 2007, p. 14)(ver tabla 11)

Tabla 11. Parámetros de clasificación.

1	Resistencia de la roca sana	Ensayo de carga puntual	> 100 Kp/cm²	40 - 80 Kp/cm²	20 - 40 Kp/cm²	10 - 20 Kp/cm²	Compresión simple (Kp/cm²)		
		C. Simple	> 2.500 Kp/cm²	1.000-2.500 Kp/cm²	500-1.000 Kp/cm²	250-500 Kp/cm²	50-250	10 - 50	< 10
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Valoración		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Sin separaciones Bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas Abertura <1 mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejos de falla o con relleno <5 mm o abiertas 1-5 mm Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasas continuas		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min.	10-25 litros/min.	25-125 litros/min	> 125 litros/min.		
		Relación Presión agua-Tensión princ. mayor	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

f. Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación (ver tabla 12 y 13)

Tabla 12. Corrección por la orientación de las diaclasas:

Dirección y Buzamiento		Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy Desfavorables
Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 13. Clasificación: obtención del índice de calidad RMR (rock mass rating).

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

Fuente: Fco. Javier Alonso Rodríguez, 2007.

2.1.11. El sistema Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index)

GSI - Hoek (1994): El sistema Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index) y su uso en el criterio de falla de Hoek-Brown ha sido presentado en diversos artículos por Hoek (1994), Hoek et al. (1995) y Hoek-Brown (1997), asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek et al., 1998; Marinos y Hoek, 2000 y 2001). El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades. En la práctica, es usual definir el GSI en rangos de ±15 puntos. La clasificación se hace según el siguiente criterio: (ver tabla 14)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 14. Clasificación según GSI.

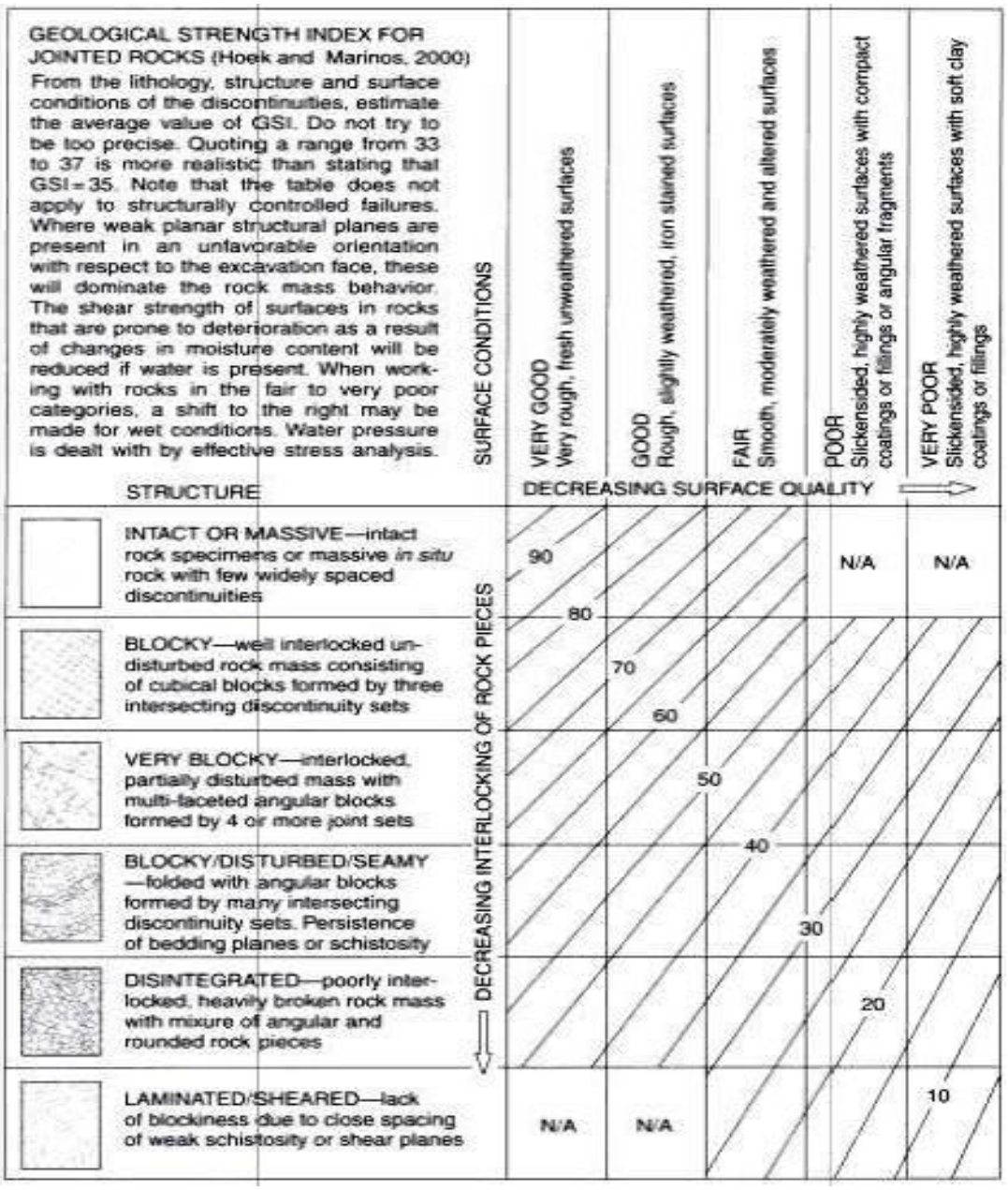
Calidad del macizo rocoso	Clase	GSI
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy buena	I	81-100

Fuente: Morales Cárdenas, Mario Orlando, citado, por Rodríguez, 2018.

Además, es posible establecer una relación del GSI con el caso del RMR de 1989, la que ha sido establecida de manera empírica. Si el rating de la condición de aguas es de 15 y el de la orientación de discontinuidades es de 0, se puede observar, siempre de forma aproximada, que se cumple la siguiente igualdad: GSI = RMR89 – 5. (Rodríguez, 2018, pp. 36-37) (ver tabla 15).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 15. Determinación del GSI de Hoek. (Hoek y Marinos, 2000).



Fuente: Morales Cárdenas, Mario Orlando, citado, por Rodríguez, 2018.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

El 30 de junio del presente año ocurrió un derrumbe de la ladera noreste del cerro Cruz de Shallapa, la pendiente escarpada de la ladera noreste del cerro Cruz de Shallapa, favoreció la ocurrencia del derrumbe que afecto un área aproximada de 2.5 Ha; presenta un ancho promedio de 106 m y una distancia entre la zona de arranque y pie del derrumbe de 215 m. Dejando 57 viviendas inhabitables, pérdida de 1.5 Ha de cultivo y 500 m de canal de riego. El evento continua activo y latente, muestra de ello son las constantes caídas de rocas (bloques de hasta 1.0 m) y material suelto. En la parte alta del derrumbe se observó, material suelto inestable, el cual podría caer y afectar las viviendas asentadas entre la calle Wiracocha y Jr. 17 de enero. (Ingemmet, 2022, p. 2).

La presencia del afloramiento rocoso de contextura de mediana a muy fracturadas, en ciertas partes del cerro Cruz de Shallapa, hacia el núcleo del anticlinal el substrato rocoso se encuentra muy fracturado y flexurado, hace que se presente un relajamiento que es muy dinámico motivo por el cual es muy inminente la caída de rocas hacia las partes bajas de la calle Wiracocha y Jr. 17 de enero, además en el flanco derecho del derrumbe, donde el afloramiento rocoso se encuentra deformado, y fracturado a muy fracturado, se han formado bloques de hasta 1.0 m. lo que hace que la presencia de caída rocas es latente, además del estudio geológico es muy importante realizar los estudios de geotécnicos para al final determinar las técnicas y modelos de estabilidad del cerro cruz de Shallapa motivo por el cual este trabaja de investigación caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022, servirá para sustento de futuros estudios geotécnicos para optar por un sistema de sostenimiento correcto del macizo rocoso y estabilidad d del cerro cruz de Shallapa (ver figura 3)

Figura 5. Zona de la falla

Fuente: Ingemmet, 2022.

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

El cerro cruz de Shallapa, debido al derrumbe acaecido el 30 de junio del presente año presenta problemas de estabilidad de taludes de un macizo

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

rocoso motivo por el cual es necesario realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa, para que en base a estos estudios no permitan formular sistemas de afianzamiento para mejorar su estabilidad y disminuir el riesgo de accidentes por caídas de rocas.

3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema

3.1.2.1. Formulación del problema General

¿Cómo realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari, ¿Áncash – 2022?

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos

1. ¿De qué manera realizar la recopilación, validación de la información existente para su posterior análisis de datos?

2. ¿Cómo determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bieniawski, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating)?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.1.3.2. Objetivos Específicos

1. Realizar la recopilación, validación y análisis de la información existente.

2. Determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR (Rock MassRating).

3.1.4. Justificación e importancia

Como justificación teórica el presente trabajo de investigación podrá ser consultada para estudios posteriores de otros sucesos similares que ocurran. De la misma manera se justifica que con las investigaciones y los ensayos geotécnicos en el macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari Áncash servirán para realizar un posterior análisis de riesgo, peligro sísmico, análisis de estabilidad de taludes.

3.1.5. Alcances

La presente investigación realizara la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín de Huántar, Provincia de Huari Áncash – 2022.

3.1.6. Delimitación de la Investigación

La investigación se realizará en el Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.1.7. Limitación de la Investigación

En el desarrollo de la presente investigación se tuvo como principal inconveniente la poca información por ser un tema que debido al derrumbe ocurrido hace poco tiempo y por tener un proceso de relajamiento de la roca todos los días hay caída de rocas, recién se están realizando los estudios pertinentes.

3.2. Hipótesis

Hipótesis General

La caracterización geotécnica determinará la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

Hipótesis Específicas

1. La recopilación y validación de la información existente ayudará analizar los datos para hacer el estudio

2. El método propuesto por Bieniawski (1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating) determinará la clasificación geomecánica del macizo rocoso.

3.3. Variables

Variable Independiente (x)

Caracterización geotécnica.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Variable dependiente (y)

Determinación de la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

3.3.1. Operacionalización de variables.

Tabla 16. Operacionalización de variables.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Caracterización geotécnica.	Propiedades de las discontinuidades.	• Condición de las discontinuidades.
			• RQD.
		Características Geomecánicas del macizo rocoso.	• RMR.
			• Q de barton.
Variable dependiente	Determinación de la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.	Características físicas.	• Densidad, competencia, tenacidad, porosidad
		Características mecánicas.	• Resistencia a la compresión, tensión, fricción interna, cohesión.
		Condición geológica.	• Textura y presencia de agua.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **Aplicada,** porque se realizará la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es descriptivo, porque describe el proceso de caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

3.4.3. Método

Se empleará el método científico como método general. El método científico - deductivo donde el proceso de los conocimientos se inicia por la observación de fenómenos de carácter general con el propósito de llegar a conclusiones particulares contenidos explícitamente en la situación general. (Rodríguez, 2018, p. 60).

3.4.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es No experimental de corte Transversal.

3.4.5. Población y muestra

Población y muestra

La población estará por todo el macizo rocoso Compuesta por areniscas cuarzosas de color blanquecino de la F. Chimú ((Ki-Chi) y las areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas y lutitas de la F. Oyón (Ki-Oy); han condicionado el intenso fracturamiento de las rocas. En este caso, areniscas cuarzosas de color blanquecinas, intercaladas con lutitas negras, en paquetes de hasta 1.00 m formando parte, localmente, de un anticlinal. En el área afectada, los estratos buzan a favor de la pendiente (entre 80° y 85°), hacia

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

la cabecera del derrumbe, se encuentra dispuestos de forma sub horizontal. (Ingemmet, 2022, p. 2); del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada será:

1. **Etapa 1. -** Recopilación, validación y análisis de la información existente. Se realizó la recopilación bibliográfica teniendo en cuenta estudios realizados anteriormente como informes de visitas, plan de trabajos e inversiones 2009.

2. **Etapa 2. -** Visitas de campo, toma de muestras y de datos estructurales. Consistió en visitas de reconocimiento del área y se determinaron las estructuras geológicas, la organización de la minería de la región, la localización de las minas, se realizó el levantamiento de información geológica como tomar datos estructurales, toma de muestras y de testigos, caracterización de unidades geológicas y litológicas, levantamiento de columnas estratigráficas.

3. **Etapa 3. -** Realizar ensayos de laboratorio y procesamiento de los mismos. Con la información obtenida se realizaron ensayos de laboratorio como Propiedades Físicas, Resistencia a la Compresión simple, Corte Directo, estado, espaciamiento y orientación de discontinuidades.

4. **Etapa 4. -** Informe Final Determinando la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bienaiwsky, 1989)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

conocido como RMR (Rock Mass Rating). Con la información obtenida se pudo determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso. (Rincón, 2016 p. 12).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

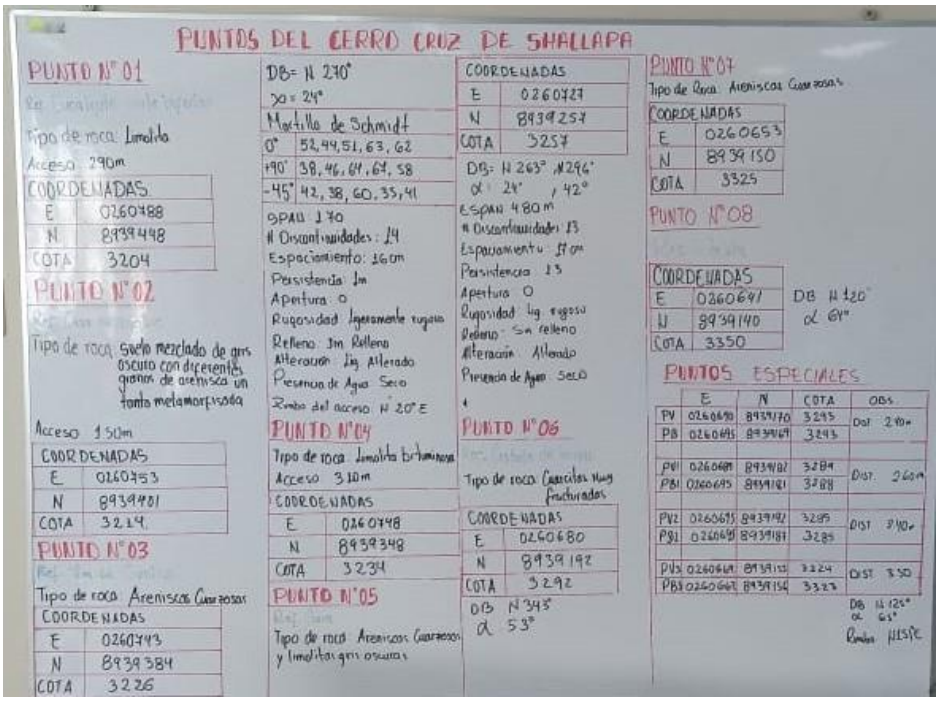
CAPI TULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

La prioridad de clasificar y predecir la propiedades geomecánicas del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa, hacen que sea menester aplicar sistemas de clasificación empleados, como el Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989) y el índice Q (Barton, Lien &Lunde, 1974), los cuales sirven como criterios base de caracterización de la roca, los criterios de ruptura Hoek & Brown (1980) y Barton & Choubey (1977), permiten asignar parámetros de resistencia al corte para la matriz rocosa y las discontinuidades respectivamente. Juntos, estos criterios permiten una caracterización geomecánica completa para generar modelos geotécnicos detallados y planificación segura de obras de estabilización del cerro para minimizar y/o eliminar riegos de derrumbes. (González de Vallejo et al., 2002, citado por Sequeira, 2019 p. 1) (ver figura 5)

Figura 6. Datos tomados y obtenidos in situ.



Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.2. Recopilación, validación y análisis de la información existente para hacer el estudio

Las masas de rocas se encuentran generalmente afectadas por discontinuidades (diaclasas, fallas, entre otras) o superficies de debilidad (zonas de cizalla, etc.) de origen tectónico y/o sedimentario y/o mecánico, que separan bloques de matriz rocosa o 'roca intacta' conformando en conjunto los macizos rocosos.

Estudiar el macizo rocoso, es decir, determinar sus propiedades tanto físicas como geomecánicas e hidráulicas, resulta imprescindible para comprender el comportamiento y la respuesta geotécnica del mismo ante la aplicación de distintas fuerzas y la diversidad de esfuerzos generados por las distintas actividades constructivas antrópicas, como lo son: el desarrollo de las obras públicas y privadas (caminos, puentes, puertos, aeropuertos, edificios, etc.), energéticas (presas de generación eléctrica, centrales nucleares, centrales termoeléctricas), ambientales (presas de laminación de crecidas extraordinarias, escolleras, etc.), mineras (explotación en canteras, en open pits y en túneles) y petroleras (aplicación de la mecánica de rocas en la explotación de yacimientos de shale gas y shale oil). La finalidad de realizar estudios geotécnicos es garantizar que los factores geológicos de los mate- riales constituyentes de las obras de ingeniería sean considerados e interpretados adecuadamente, asegurando así la construcción de obras económicas y seguras, como también mitigar riesgos geológicos. (Villarreal, M., 2020). Las características geológicas y geotécnicas tienen gran importancia en la implementación de obras de infraestructura hídrica, por lo tanto, la interpretación y aproximación a las condiciones físicas del subsuelo son indispensables, ya que serán éstas las variables consideradas al realizar los cálculos para las estructuras que garanticen la factibilidad, viabilidad y estabilidad de las mismas. (Villarreal, M., 2020, p. 6).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.2.1. Geomorfología del cerro Cruz de Shallapa.

a. Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial. - Esta unidad geomorfológica corresponde a depósitos de material coluvial, están compuesto de bloques angulosos, gravas y arenas arcillosas. La pendiente de esta unidad geomorfológica es muy variada, al sur la pendiente es menor a 35°, mientras que al norte tienen pendientes mayores a 45°. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 7)(ver figura 7)

b. Unidad de montaña estructural en roca sedimentaria. - Esta unidad geomorfológica está asociado a laderas estructurales, tienen una pendiente alta. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 7) (ver figura 7)

c. Depósitos de deslizamiento. - Corresponde a depósitos de deslizamiento antiguo, y son depósitos de deslizamientos cubiertos por vegetación. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 7) (ver figura 7)

d. Deposito Fluvial. - Esta unidad geomorfológica se formó por la acción de las corrientes de agua y transporte de sedimentos, El rio Huachecsa genero proceso de erosión y acumulación. Esta constituidos por cantos rodados, por materiales de diferentes tamaños. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 7) (ver figura 7)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 7. Imagen satelital de la geomorfología.

Fuente: Google Earth

4.2.2. Investigaciones geotécnicas

Las investigaciones geotécnicas se llevaron a cabo por medio de ensayos in situ y laboratorio, con fines de caracterizar el macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa. (ver tabla 17)

Tabla 17. Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

Nº	Ensayos de laboratorio	Unidad	Cantidad
1	Ensayo de Propiedades de Propiedades Físicas	Und.	1
2	Ensayo de Resistencia a la Compresión Uniaxial -UCS	Und.	1
3	Ensayo de Resistencia a la Compresión Triaxial	Und.	1

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizo un ensayo de permeabilidad en campo, los ensayos de esclerómetro se realizaron dos (2) en cada estación geomecánica.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.2.3. Ensayo índice de mecánica de rocas

Los ensayos índices de mecánica de rocas generalmente se determinan en laboratorio como la resistencia, velocidad de propagación de las ondas sónicas también se pueden determinar de manera in situ como el ensayo de permeabilidad y resistencia con esclerómetro. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 70)(ver figura 8)

Figura 8. Ensayo de resistencia con esclerómetro

Fuente: elaboración propia

4.3. Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Con el procesamiento en gabinete según el logueo geológico - Geotécnico se obtuvieron los índices RQD y RMR. (ver siguiente tabla).

Tabla 18. Tabla de clasificación geomecánica

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

Fuente. Elaboración propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla19. Valores de RQD y RMR de la estación geomecánica.

SISTEMA RMR																	
PARÁMETROS				VALOR	**RANGO**												**VALOR**
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				**66.00**		>250	(15)		100-250	(12)	x	50-100	(7)		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)	**7**
RQD (%)				**33.35**		90-100	(20)		75-90	(17)		50-75	(13)	x	25-50 (8)		<25 (3)	**8**
Espaciamiento de discontinuidades (cm)				**0.13**		>2m	(20)		0,6-2 m	(15)	x	0.2-0.6m	(10)		0.06-0.2m (8)		< 0.06m (5)	**10**
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																		
Familia	**Buz.**	**/D. Buz**	**f/m**	**Persistencia**	x	<1m long.	(6)		1-3 m Long.	(4)		3-10m	(2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	**6**
				Abertura		Cerrada	(6)		<0.1mm apert.	(5)		0.1-1.0mm	(4)	x	1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	**1**
				Rugosidad	x	Muy rugosa	(6)		Rugosa	(5)		Lig.rugosa	(3)		Lisa (1)		Espejo de falla (0)	**6**
				Relleno		Limpia	(6)	x	Duro < 5mm	(4)		Duro> 5mm	(2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	**4**
				Alteración		Sana	(6)	x	Lig. Intempe.	(5)		Mod.Intempe.	(3)		Muy Intempe. (2)		Descompuesta (0)	**5**
Agua subterránea						Seco	(15)	x	Humedo	(10)		Mojado	(7)		Goteo (4)		Flujo (0)	**10**
Orientación																		**-5**

Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0º-20º independiente del rumbo
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento				
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	
45º-90º	20º-45º	45º-90º	20º-45º	45º-90º	20º-45º	
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El RMR calculado tiene un valor igual a 52 lo que de acuerda a la clasificación lo ubica en la clase III REGULAR de 60 – 41.

RMR_{89} (Básico) =							**52**
	JRC (BARTON BANDIS)	RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
		DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

Fuente: Elaboración Propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El RQD se calcula con la siguiente formula:

$$RQD = 100xe^{-0.1(\lambda)}(0.1\lambda + 1)$$

RQD = 33

Estación geomecánica. – Se monumento para para realizar el estudio del macizo rocoso y caracterización de sus propiedades de sus componentes como roca intacta. La estación es diseñada con la finalidad de definir los parámetros que permitirán clasificar el macizo rocoso mediante el sistema RMR (Rock Mass Rating) y GSI (Índice de Resistencia Geológica). Las coordenadas UTM (datum WGS 84), son:

E: 260,698.592

N: 8 939,126.853

COTA: 3,292

Según datos obtenidos (ver figura 6) tenemos la siguiente clasificación:

Resistencia mediante esclerómetro. - Los ensayos se realizaron de manera in situ en la estación geomecánica. (ver tabla 19)

Tabla 19. Resistencia mediante esclerómetro arenisca cuarzosa.

Estación Geomecánica	Rebote Martillo Schmidt	Resistencia en Mpa.
EG-01	52.5	63

Fuente: Rock & Soil ingeniería S.A., 2021.

Ensayo de compresión uniaxial. - La resistencia a la compresión simple es el esfuerzo medido sobre la roca, es un parámetro para definir el criterio de rotura y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 02938, dando el siguiente resultado: (ver tabla 21)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 20. Resultado del ensayo de compresión uniaxial.

Muestra	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Carga de rotura	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
EG-01	6.30	12.60	407.90	1,334.00	66

Fuente: Rock & Soil ingeniería S.A., 2021.

Para la resistencia de compresión uniaxial de las areniscas Gonzáles de Vallejo (2002) sugiere valores promedio que varía de 55 a 140 MPa. (Rock & Soil ingeniería S.A., 2021, p. 90).

Ensayo de compresión triaxial. - El ensayo permite determinar la línea de resistencia de la roca intacta, a partir de este ensayo se obtiene los parámetros resistentes; cohesión y Angulo de fricción. Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2664-95, dando el siguiente resultado: (ver tabla 21)

Tabla 21. Resultados del ensayo de compresión Tri axial.

Muestra	Diámetro (cm).	Altura (cm).	Confinamiento Mpa.	Esfuerzo Rotura (Mpa)	Resistencia Comprensiva Mpa.	ml	Cohesión C (Mpa).	Ángulos De Fricción interno
EG - 01	6.30 6.32 6.30	12.59 12.52 12.54	3 4 2	188.52 248.30 236.40	168.609	29.899	24.60	58.402

Fuente: Rock & Soil ingeniería S.A., 2021.

Las propiedades resistentes cohesión y ángulo de fricción obtenida para la roca de arenisca es de 44 kPa y 35. 95º respectivamente. Comparando con los resultados obtenidos la cohesión es menor del área de estudio y el ángulo de fricción es mayor. Se realizo la caracterización geológica y geotécnica de cada estructura con la información de las investigaciones realizadas en laboratorio e insitu.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.4. Discusión de resultados

Se caracterizo el macizo rocoso obteniéndose los siguientes Resultados:

1. El área de estudio se encuentra en la Formación Chimú del grupo Goyllarisquizga, está conformado por areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas gris oscuras y carbón. Estas areniscas sobreyacen a la formación Oyón concordantemente e infrayace en igual relación a las calizas de la formación Santa. El proyecto está ubicado al oeste del distrito de Chavín de Huántar donde se puede apreciar la formación de un Anticlinal bien definido.

2. Las propiedades resistentes tales como la cohesión y ángulo de fricción obtenida para la roca de arenisca cuarzosa es 44 kPa y 35.95º respectivamente.

3. El valor del RQD roca de arenisca cuarzosa es 33

4. El RMR de la roca de arenisca cuarzosa es 52.

5. La resistencia de la comprensión uniaxial es 66 Mpa.

4.5. Aporte del tesista

Se aporto con realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CONCLUSIONES.

1. Se realizó la caracterización del macizo rocoso obteniéndose los siguientes Resultados: El área de estudio se encuentra en la Formación Chimú del grupo Goyllarisquizga, está conformado por areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas gris oscuras y carbón.

2. Las propiedades resistentes de cohesión y ángulo de fricción obtenida para la roca de arenisca cuarzosa es 44 kPa y 35. 95º respectivamente. El valor del RQD roca de arenisca cuarzosa es 33. El RMR de la roca de arenisca cuarzosa es 52 (es de Tipo II y clase REGULAR) y la resistencia de la comprensión uniaxial es 66 Mpa.

3. Mediante la caracterización se detectaron tres tipos de macizos rocosos diferentes: Macizo rocoso alterado, zonas de cizallamiento (arenización) y/o de intenso fracturamiento superficial y roca masiva con bajo grado de alteración o no alterada (fresca).

4. Se pudo reconocer cuatro familias de discontinuidades a nivel superficial. Tres de ellas poseen inclinación mayormente subvertical y la restante inclinación subhorizontal. La situación estructural queda resumida según tres orientaciones: Este-Oeste; Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda en una primera etapa realizar el ensayo de compresión simple, por ser un método exacto que nos permitirá clasificar la roca.

2. Se debe de realizar complentariamente un análisis de suelos.

3. Se debe de realizar los ensayos en un laboratorio homologado para así tener data confiable.

4. Al realizar el trabajo de campo se debe de contar con los equipos bien calibrados, herramientas y EPPs, adecuadas para este tipo de investigación.

5. Tener una libreta de notas (plantillas para el mapeo geomecánica) para llevar adecuadamente la caracterización geotécnica del macizo rocoso.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, J. A.y Robles, R. H. . (2020). *Caracterización geotécnica del macizo rocoso para uso como lastre, Alto Perú, Cajamarca – 2020.* [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Cajamarca - Perú.

Alonso Rodríguez, F. . (2007). *Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos. Resumido y modificado de: 1.- M. FERRER y L. GONZÁLEZ DE VALLEJO (1999).* Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME, Madrid, 107 p. y 2.- L. GONZÁLEZ DE VALLEJO, M. FERRER, L. ORTUÑO y C. OTEO (2002). Ingeniería geológica. Prentice Hall. Madrid, 715 p. .

Cáceres Montaña, C. (2019). *Geomecánica aplicada al diseño de la malla de perforación de la GA-475E del nivel 2050 en la unidad Alpacay, MYSAC AÑO 2016.* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional. Santiago Antúnez De Mayolo. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. .

Duque Escobar, G. (2016). *Manual de Geología para Ingenieros. Cap 12. Macizo Rocoso.* Manizales, Colombia.

González de Valleio, L. Ferrer, M. , Ortuño, L. y. (2002). *Oteo, C. Ingeniería Geológica.* . Universidad Complutense de Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, Uriel y Asociados, SA. y Universidad Politécnica de Madrid. PEARSON. Prenticc Hall. Madrid, España.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. . (2006). *Metodología de la Investigación.* Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Hizarra, J. M., Lopez, J. E. y Navarro, J. F. . (2021). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el ángulo de reposo del talud, carretera tramo San Antonio puente Chiquiacc, Huancavelica-2021*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.

Huayra Mena, G. . (2019). *Modelamiento de macizo rocoso para prevención de mecanismos de falla en la subestación eléctrica Mirador.* [Tesis de Pregrado]. Universidad nacional Federico Villarreal. Facultad De Ingeniería Civil. Lima, Perú. .

Ingemmet. (2022). *Inspección geológica del derrumbe ocurrido el 30 de junio 2022, en el cerro Cruz Shallapa. Distrito Chavín De Huantar, Provincia Huari, Departamento Ancash.* Departamento Ancash. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe técnico N° A7276 Primer Reporte. Chavín de Huantar, Perú.

Rincón Silva, B. (2016). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del Contrato 01-068-96 "Cooperativa Cooprocarbon Sugamuxi" Municipio de Gámeza Boyacá.* [Monografía]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. Facultad Seccional Sogamoso. Escuela de Ingeniería Geológica. Sogamoso, Colombia. .

Rock & Soil ingeniería S.A. . (2021). *Ensayos de perforación con diamantina para el proyecto "Mejoramiento de servicios turísticos públicos en recursos turísticos en el sector de Mama Rayhuana- Nunupata del Distrito de Chavín. Segundo informe de campo.* . Chavin de Huantar, Perú.

Rodriguez Lucas, D. (2018). *Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. Agregados S.A. - año 2018.* [Tesis de Pregrado]. Universidad

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Nacional. Santiago Antúnez De Mayolo. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. .

Sequeira-Arguedas, J. . (2019). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso Cerro Coyotes, Escazú, Costa Rica.* [Trabajo de investigación]. Laboratorio de Geomecánica, Escuela Centroamericana de Geología Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. .

Villarreal, M. (2020). *Caracterización geotécnica de macizos rocosos, a nivel de prefactibilidad, en el área de implantación de presas de laminación de crecidas extraordinarias actuales y proyectadas sitas en la Hoja Tandil 3760-IV.* [Trabajo Final]. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. .

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXO

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
Problema General ¿Cómo realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022?	**Objetivo General** Realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.	**Hipótesis General** La caracterización geotécnica determinará la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.	**Variable Independiente (x)** Caracterización geotécnica. **Variable dependiente (y)** Determinación de la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz de Shallapa Distrito de Chavín Provincia de Huari Áncash – 2022.	**Tipo** El tipo de investigación es Aplicada. **Nivel de la investigación** El nivel será de investigación descriptiva. **Método** En la presente investigación se utilizó el método científico como método general.	**La población** Está dada por todo el macizo rocoso ubicado en el lado occidental del distrito de Chavín de Huantar denominado Cerro Cruz de Shallapa. Compuesta por areniscas cuarzosas de color blanquecino de la F. Chimú ((Ki-Chi) y las areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas y lutitas de la F. Oyón (Ki-Oy); quienes han condicionado el intenso fracturamiento de las rocas. **La muestra** La muestra de estudio se ha considerado 4 puntos estratégicos en el flanco oriental del anticlinal ubicado en el Cerro Cruz de Shallapa-Chavín de Huantar
Problemas específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**			
¿De qué manera realizar la recopilación, validación de la información existente para su posterior análisis de datos?	Realizar la recopilación, validación y análisis de la información existente.	La recopilación y validación de la información existente ayudaría analizar los datos para hacer el estudio			
¿Cómo determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bieniawski, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating)?	Determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR (Rock MassRating).	El método propuesto por Bieniawski (1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating) determinaría la clasificación geomecánica del macizo rocoso.			

Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CARTA GEOLOGICA DEL PERU

MAPA GEOLOGICO DEL CUADRANGULO DE RECUAY

HOJA 20-i

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS IGNEAS
CENOZOICA	CUATERNARIO		Depósito Aluvial — Qh-al Depósito Glaciofluvial — Qh-gf Depósitos Morrènicos — Qgl-mo: Q-mo, Q-mo1, Q-mo2	Intrusivos Neógenas: N-rd Riodacitas N-rd/da Riodacitas/dacitas N-Mzg Monzogranito N-gd Granodiorita
	NEOGENO			
	PALEOGENO		GRUPO CALIPUY: superior PN-ca_s; medio PN-ca_m; inferior PN-ca_i	
MESOZOICA	CRETACEO	SUPERIOR	Formación Celendín — Ks-ce Formación Jumasha — Ks-ju	
		INFERIOR	Formación Pariatambo — Ki-pt Formación Pariahuanca — Ki-ph GRUPO GOYLLARISQUIZGA: Formación Carhuaz Ki-ca; Formación Santa Ki-sa/Ki-sp; Formación Chimú Ki-chi Formación Oyón — Ki-oy	
	JURASICO	SUPERIOR	Formación Chicama — Js-chi	

DECLINACION MAGNETICA APROXIMADA EN 1986
PARA TODA LA HOJA VARIA ANUALMENTE 12.5 OESTE

REPUBLICA DEL PERU

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET

MAPA GEOLÓGICO DEL CUADRÁNGULO DE RECUAY

DEPARTAMENTO DE ANCASH

Geología por: J. Cobbing y A. W. Sánchez F.

5 4 3 2 1 0 5 10 Km.

ESCALA: 1 : 100 000

VERSION DIGITAL ACTUALIZADA A 1996

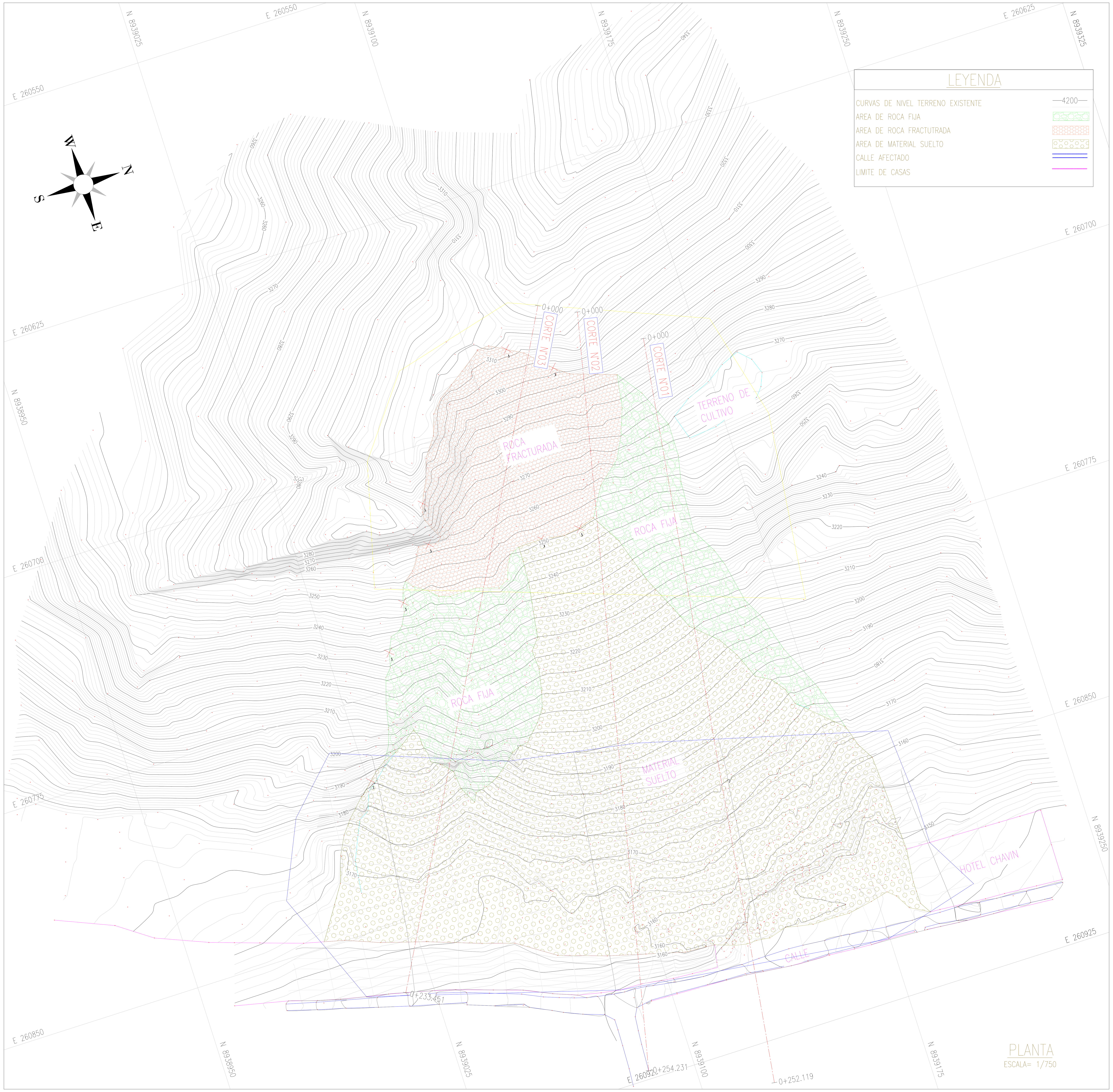
LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Carhuaz 19-h	Huari 19-i	Singa 19-j
Huaráz 20-h	Recuay 20-i	La Unión 20-j
Huayllapampa 21-h	Chiquian 21-i	Yanahuanca 21-j

INDICE DE CUADRANGULOS

SÍMBOLOS

- Contacto Conocido
- Contacto Inferido
- Rumbo y Buzamiento de Estratos (24°)
- Rumbo y Buzamiento Fotointerpretados
- Eje de Anticlinal
- Eje de Sinclinal
- Lineamiento
- Lineamiento normal
- Falla normal (U = Bloque levantado; D = Bloque hundido)
- Falla inversa
- Eje de Sinclinal Echado ó Tumbado
- Rumbo y Buzamiento de Estratos Invertidos
- Pliegues Verticales
- Conos Aluviales
- Zona de Alteración
- Linea de Perfil - Sección Geológica (A – A')
- Mina en Actividad
- Mina Abandonada
- Centro Poblado
- Rios y Quebradas

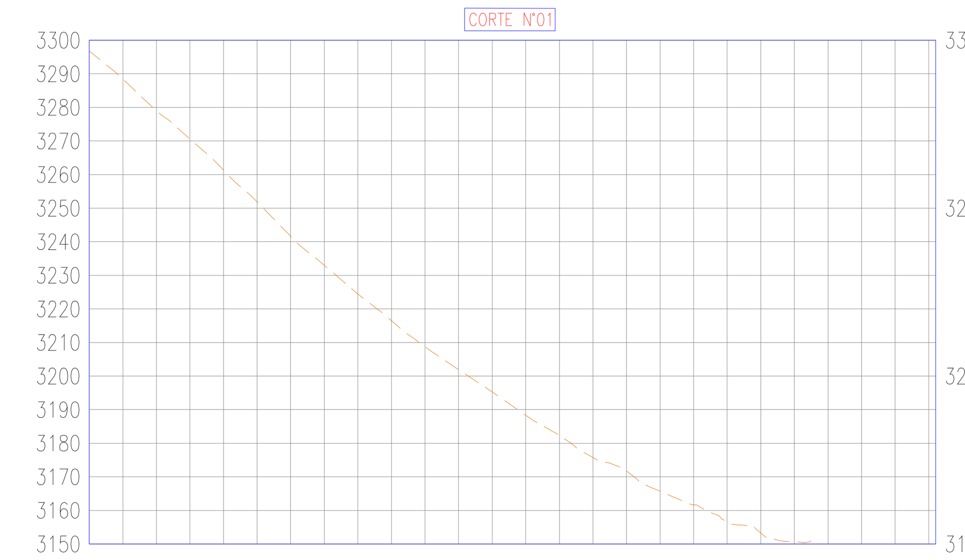


LEYENDA

CURVAS DE NIVEL TERRENO EXISTENTE	4200
AREA DE ROCA FIJA	
AREA DE ROCA FRACTUTRADA	
AREA DE MATERIAL SUELTO	
CALLE AFECTADO	
LIMITE DE CASAS	

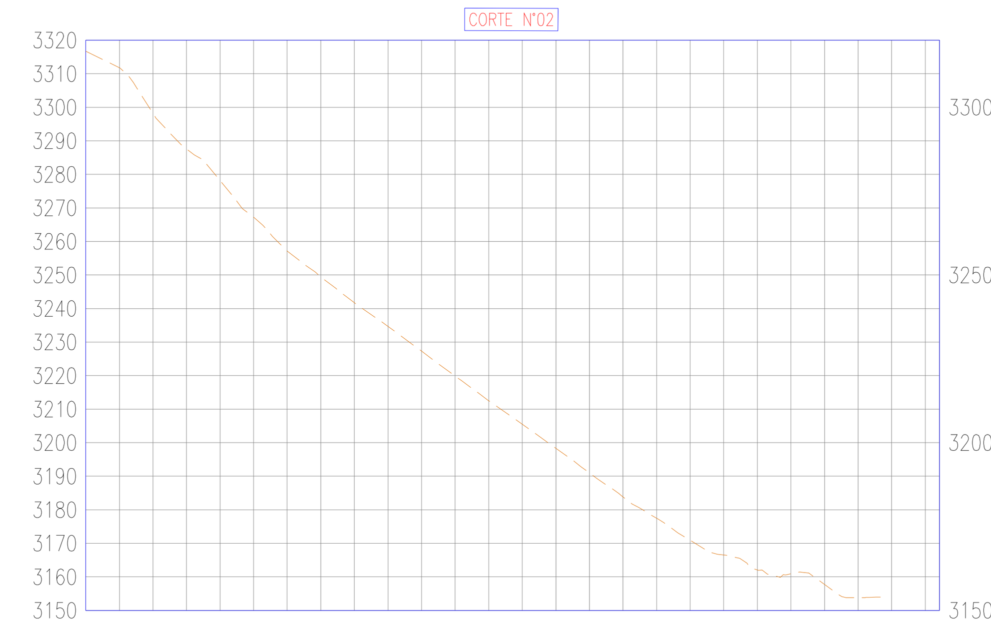
PLANTA
ESCALA= 1/750

CORTE N°01



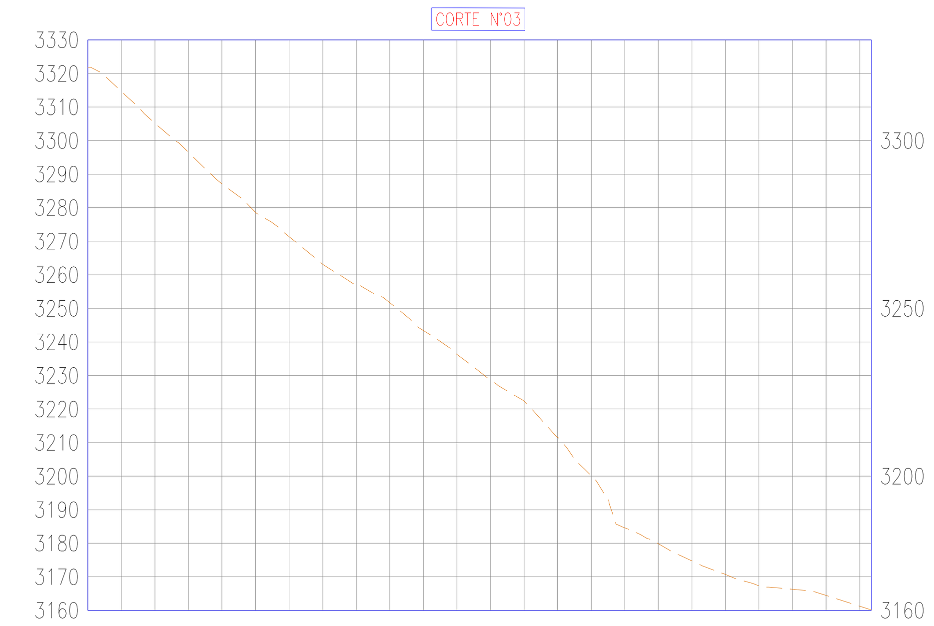
PROGR.	COTA DE TERRENO
0+000	3296.824
0+010	3288.402
0+020	3279.063
0+030	3270.517
0+040	3261.291
0+050	3251.850
0+060	3241.618
0+070	3232.985
0+080	3224.429
0+090	3216.497
0+100	3208.731
0+110	3201.910
0+120	3195.277
0+130	3188.337
0+140	3182.352
0+150	3175.753
0+160	3171.733
0+170	3165.752
0+180	3161.617
0+190	3156.522
0+200	3153.267
0+210	3150.679
0+220	
0+230	
0+240	
0+250	
0+252.12	

CORTE N°02



PROGR.	COTA DE TERRENO
0+000	3316.690
0+010	3311.780
0+020	3298.139
0+030	3287.541
0+040	3278.150
0+050	3267.175
0+060	3257.124
0+070	3249.368
0+080	3241.683
0+090	3234.695
0+100	3227.265
0+110	3219.867
0+120	3212.499
0+130	3205.479
0+140	3198.325
0+150	3191.010
0+160	3183.787
0+170	3177.493
0+180	3170.906
0+190	3166.524
0+200	3162.035
0+210	3160.880
0+220	3157.764
0+230	3153.814
0+240	
0+250	
0+254.23	

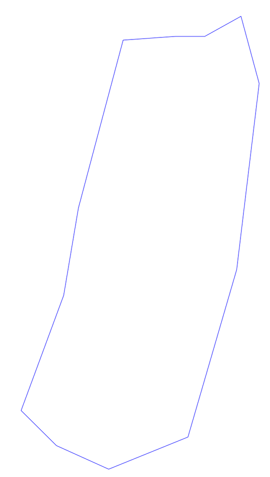
CORTE N°03



PROGR.	COTA DE TERRENO
0+000	3321.834
0+010	3314.658
0+020	3305.184
0+030	3296.489
0+040	3287.036
0+050	3278.592
0+060	3271.361
0+070	3263.148
0+080	3257.439
0+090	3251.677
0+100	3243.407
0+110	3236.315
0+120	3228.560
0+130	3222.312
0+140	3211.464
0+150	3200.113
0+160	3184.615
0+170	3179.879
0+180	3174.783
0+190	3170.688
0+200	3167.303
0+210	3166.276
0+220	3164.459
0+230	3161.232
0+233.45	3160.119

DATOS TÉCNICOS (ÁREA LÍNEA AMARILLA)

Mínima elevación	3205.417m
Máxima elevación	3322.184m
Elevación Promedio	3270.795m
2D Área de Superficie	11907.065 m2
3D Área de Superficie	17557.863 m2
Pendiente Mínima	3.28%
Pendiente Máxima	853.17%
Pendiente Promedio	126.69%



Cut/Fill Summary

Name	Cut Factor	Fill Factor	2d Area	Cut	Fill	Net
Surface1	1.000	1.000	17693.440sq.m	199126.732 Cu. M.	14.167 Cu. M.	199112.565 Cu. M.<Cut>
Totals			17693.440sq.m	199126.732 Cu. M.	14.167 Cu. M.	199112.565 Cu. M.<Cut>

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. / REV.	NÚMERO DE PLANO	PLANO DE REFERENCIA
A	23-08-22	PARA REVISIÓN INTERNA	M.C. / M.C.		
B	23-08-22	PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE	M.C. / M.C.		
C	23-08-22	PARA APROBACION DEL CLIENTE	H.A. / H.A.		

CONFIDENCIAL:

DISEÑADO POR:	FECHA:
DIBUJADO POR: ...	FECHA: 22/08/22
REVISADO POR: ...	FECHA: ...
APROBADO POR:	FECHA:
GERENTE DE PROYECTO:	FECHA:
CLIENTE:	FECHA:

MUNICIPALIDAD CHAVIN DE HUANTAR

NOMBRE DEL PROYECTO:

TOPOGRAFIA ACTUALIZADO DE LA FALLA GEOLOGICA DEL CERRO YANA SHALLAPA

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

PLANTA

NÚMERO DE PLANO: PR0003021-0000-0-MDCH-0001 REV. 0

NÚMERO DE PLANO: PR0003021-0000-0-MDCH-0001 REV. C

D:\CIVILDESK - 2022\4. COTIZACIONES\2022\COTIZACIÓN N°12 - LEVANTAMIENTO ZONA DE DERRUMBE CHAVIN - GANADA\2. EJECUCIÓN\CHAVIN FALLA GEOLOGICA CON CORTES CMP.DWG