

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA LA ESTABILIDAD DE LA  
CARRETERA CAJABAMBA – JOCOS KM 03+000 AL KM  
04+600”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Yoel Oswaldo Gama Retamozo

Asesor:

Ing. Mg. Rafael Ocas Boñon

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi amada esposa con infinita gratitud y amor, Cecilia gracias por estar siempre en esos momentos difíciles brindándome tu amor, paciencia y comprensión.

A mí amado hijo Tadeo, por ser mi fuente de motivación e inspiración cada día y así poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

A todos mis compañeros y amigos que creyeron en mí, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos.

## AGRADECIMIENTO

A mis docentes por el apoyo brindado día a día en el transcurso de cada año en la carrera universitaria.

A mi asesor que con su amplio conocimiento supo guiarme para el logro de este objetivo.

A mi gran amigo Wilfredo Garzón por motivar mi crecimiento profesional y sobre todo mi desarrollo en calidad humana, por sus consejos y soporte.

A todas las personas que creyeron en mí a pesar de las dificultades.

Y.O.G.R.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla Geomecánica de Bieniawski .....	15
Tabla 2	Artículos Revisados.....	17
Tabla 3	Clasificación de Roca Intacta en Base a la Dureza y Meteorización .....	18
Tabla 4	Estimación Separación de las Discontinuidades .....	20
Tabla 5	Descripción de la Abertura.....	22
Tabla 6	Descripción del Relleno de las Discontinuidades .....	24
Tabla 7	Descripción de Relleno de las Discontinuidades .....	25
Tabla 8	Resumen de Resultados y Características de Rocas por Estación.....	33
Tabla 9	Resumen de Resultados y Características de las Rocas (Estación N° 01) .....	35
Tabla 10	Resumen de Resultados y Características de las Rocas Estación N° 02 .....	40
Tabla 11	Resumen de Resultados y Características de las Rocas Estación 03.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ensayo de Campo Usando la Picota .....	19
Figura 2 Cálculo RQD (Rock Quality Designation) Trabajo en Campo.....	20
Figura 3 Separación de la Discontinuidades.....	21
Figura 4 Abertura de la Discontinuidad .....	22
Figura 5 Rugosidad de Juntas.....	23
Figura 6 Relleno de Discontinuidades.....	24
Figura 7 Condiciones Hidráulicas .....	26
Figura 8 Plano de Ubicación de la Zona de Estudio.....	29
Figura 9 Factor de Seguridad por Estación .....	32
Figura 10 Estación N°1 .....	34
Figura 11 Estación N° 01 - Índice de Resistencia Geológica GSI .....	36
Figura 12 Estación N° 01 - Análisis Estructural de Diaclasas .....	37
Figura 13 Estación N° 01 - Análisis de Estabilidad .....	38
Figura 14 Estación N° 02 .....	39
Figura 15 Estación N° 02 - Índice de Resistencia Geológica GSI .....	40
Figura 16 Estación N° 02 - Análisis Estructural de Diaclasas .....	41
Figura 17 Estación N° 02 - Análisis de Estabilidad .....	42
Figura 18 Espejo de Falla y Predominación de Diaclasas.....	43
Figura 19 Estación N° 03 .....	43
Figura 20 Estación N° 03 - Índice de Resistencia Geológica GSI .....	45
Figura 21 Estación N° 03 - Análisis Estructural de Diaclasas .....	46
Figura 22 Estación N° 03 - Análisis de Estabilidad .....	47
Figura 23 Estación N° 04 .....	48

## RESUMEN

La presente investigación estableció como objetivo principal, realizar el análisis estructural para la estabilidad de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 al Km 04+600. Utilizando un enfoque que fue cuantitativo, con alcance descriptivo y diseño no experimental, desarrollada con una muestra de 4 estaciones diferentes de una población que estuvo compuesta por la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 al km 04+600, determinando en cada una de las estaciones los parámetros de las discontinuidades (RMR), estimación del GSI, ángulo de fricción, la cohesión para luego con el Software Dips se determinaron los hallazgos y el tipo de fallamiento que afecta al talud y así se hizo el modelamiento y cálculo del factor de seguridad utilizando el Software Slide.

Los resultados obtenidos nos indican que por efecto del fracturamiento y por esfuerzos orogénicos genera planos de fallamiento, pero en el caso de la estación N°2 representa un talud crítico ya que se asienta sobre un paleo deslizamiento de gran extensión. Se concluye entonces que se identificaron en las cuatro estaciones, zonas inestables, la primera zona inestable se encuentra en la progresiva 3 + 300, segunda zona inestable en la progresiva tres más novecientos, tercera zona inestable en la progresiva 4+170, cuarta zona inestable en la progresiva 4+170, los factores de seguridad muy por debajo de las consideraciones estables, en ninguna de las cuatro estaciones superan el 0.5 de factor de seguridad.

**Palabras clave:** (Talud, cárcavas, deslizamiento, rivera de quebradas)

## ABSTRACT

The present investigation established as the main objective, to carry out the structural analysis for the stability of the road Cajabamba - Jocos Km 03+000 to Km 04+600. Using an approach that was quantitative, with descriptive scope and experimental design, developed with a sample of 4 different stations of a population that was composed by the road Cajabamba - Jocos Km 03+000 at km 04+600, determining discontinuity parameters (RMR), GSI estimation, friction angle at each station, cohesion for later with the Software Dips were determined the findings and the type of failure that affects the slope and thus was made the modeling and calculation of the safety factor using the Software Slide.

The results obtained indicate that due to fracture effect and orogenic stress it generates fault planes, but in the case of station N# 2 it represents a critical slope as it sits on a large-scale slide. It is concluded then that they were identified in the four seasons, unstable zones, the first unstable zone is in the progressive 3 + 300, second unstable zone in the progressive three plus nine hundred, third unstable zone in the progressive 4+170, Fourth unstable zone in the progressive 4+170, safety factors well below stable considerations, in none of the four stations exceed the 0.5 safety factor.

Keywords: (Slope, gully, slide, riverbank)



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En el mundo los procesos geológicos como el desprendimiento de rocas y deslizamientos de suelo, son los procesos más peligrosos que generan muertes y pérdidas económicas de millones de dólares, generalmente los desprendimientos afectan a zonas aisladas, aunque en ocasiones se puede producir el colapso de una masa importante, siendo muy peligrosos y produciendo grandes daños en la infraestructura. Las obras de ingeniería como taludes, carreteras, túneles, etc. Son necesarias para un crecimiento y desarrollo del país, sin embargo; cada movimiento sísmico en la corteza terrestre es un agente que activa deslizamientos, hundimientos, inestabilidad de taludes, siendo este de gran importancia en la construcción de este tipo de estructuras. (Structuralia, 2019).

El Perú no es ajeno a este problema ya que es un país que tiene su RVN (Red Vial Nacional) al 70% y que tiene por meta para el 2020 llegar a construir un 85%, para lo cual se generan muchos taludes con inestabilidad y que terminan en derrumbes de grandes masas, que no dejan trabajar, interrumpen el tránsito o llega hacer una trampa mortal para quien la transita. (García, J. 2017)

Los factores que influyen en la interacción roca-suelo en los taludes de la carretera Longitudinal de la sierra tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca, Perú son: Meteorización, humedad, y parámetros geotécnicos (peso unitario, cohesión, ángulo de fricción interna, límites de Atterberg). (Breña, C. 2019).

La región de Cajamarca cuenta con al menos 171 zonas críticas por peligros geológicos en las que urge adoptar las medidas de prevención correspondientes para salvaguardar la integridad de las poblaciones que viven en dichas áreas, advirtió el especialista del Instituto Geológico, Minero, Metalúrgico (INGEMMET), Segundo Núñez.

Refirió que, desde el punto de vista geológico, dichas zonas críticas son propensas a deslizamientos, a huaycos, erosiones de laderas, caída de rocas, derrumbes, entre otros tipos de fenómenos, tanto a los usuarios, como a la población de la provincia en general, perjudicando al comercio, la agricultura y distintas áreas económicas que allí se desarrollan. (Red de Comunicación Regional - 2019).

Díaz, M. y Rodríguez, J. (2017) señalan que debido a los constantes deslizamientos que se producen en lugares cercanos a la zona de estudio, especialmente en épocas de invierno, nos llevó a realizar un estudio más detallado y minucioso acerca de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca. Para poder llegar a un veredicto final se dividió en siete estaciones geomecánicas a la zona, en donde se calculó la cohesión y ángulo de fricción interno de la roca mediante el criterio de rotura de Barton - Bandis, se analizó la cinemática de los taludes, a ello se sumó el cálculo de la densidad de las unidades litológicas aflorantes y finalmente los datos obtenidos se ingresaron a los software especializados (Rocscience) para obtener el valor del Factor de Seguridad (FS) para cada estación geomecánica estudiada. Teniendo como afirmación lo escrito líneas atrás, las autoridades deberán tomar cartas en el asunto para poder estabilizar dichos taludes, y así evitar que la ciudad de Cajamarca quede incomunicada con la costa; por consiguiente, tener pérdidas humanas y económicas.

En la carretera Cajabamba – Jocos, los problemas geotécnicos son visibles y se van incrementando en los tiempos de lluvias, la presencia de fallas geológicas y el fracturamiento de las rocas hace que sea materia de estudio en esta investigación, de acuerdo a la etapa de gabinete y campo es posible caracterizar el macizo rocoso mediante ensayo de campo y realizar una evaluación estructural mediante el paquete Rocscience, por tanto tendremos como objetivo general, el determinar de qué manera influye el Análisis Estructural de los

taludes en la determinación de la Estabilidad de la Carretera Cajabamba - Jocos Km 03+000

al 04+600., respondiendo a nuestra pregunta de investigación ¿De qué manera influye el Análisis Estructural de los taludes en la determinación de la Estabilidad de la Carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 al Km 04+600?

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye el Análisis Estructural de los taludes en la determinación de la Estabilidad de la Carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 al Km 04+600?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar de qué manera influye el Análisis Estructural de los taludes en la determinación de la Estabilidad de la Carretera Cajabamba - Jocos Km 03+000 al 04+000 + 600.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar el estudio geológico de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600.
- Realizar el análisis estructural de las zonas inestables de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600.
- Identificar las zonas de inestables de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El Análisis Estructural de los taludes influye significativamente en la determinación estabilidad de la Carretera Cajabamba - Jocos Km 03+000 al 04+000 + 600.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Si se realiza el estudio geológico se podrá definir las unidades geológicas de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600.
- Es posible identificar las zonas de inestables de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600.
- De acuerdo al análisis estructural las zonas analizadas son altamente inestables.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

- Según el Enfoque de la Investigación.
  - Cuantitativa

La recolección de los datos se fundamenta en la medición (se miden las variables o conceptos contenidos en las hipótesis). Esta recolección se lleva a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica. Para que una investigación sea creíble y aceptada por otros investigadores, debe demostrarse que se siguieron tales procedimientos. Como en este enfoque se pretende medir, los fenómenos estudiados deben poder observarse o referirse al “mundo real”. (Hernández, 2016. P. 38).

- Según el Alcance de la Investigación.
  - Descriptivo.

Consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Hernández, 2016. P. 125).

- Según el Diseño de la Investigación.
  - No experimental

Ya que la investigación se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables (Hernández, 2016. P. 185).

## **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

En el proyecto de investigación se toma como población a los Taludes y laderas de la carretera Cajabamba Jocos, desde la progresiva Km 03+000 al Km 04+600, cimentados sobre el grupo Goyllarisquisga, las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo y depósitos cuaternarios. Tomado como muestra a cuatro (04) estaciones que serán analizadas a lo largo de la carretera Cajabamba - Jocos, desde la progresiva Km 03+000 al Km 04+600.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **Observación directa.**

Se desarrolla la tesis con exactitud a través de una observación directa ya que se desconocía inicialmente las características de las discontinuidades presentes en el talud, por tal motivo se tuvo que observar y medir el área para poder definir cuál es la acción de las fallas que genera una la inestabilidad de los taludes en la carretera Cajabamba – Jocos.

### **Análisis documental.**

Verificación de planos, carta nacional, para ubicarnos en el área de estudio.

La presente investigación empleo la recolección de datos en tablas, las cuales debían ser específicas.

### **Análisis de datos.**

El análisis e interpretación de datos será realizado en gabinete, donde utilizaremos los resultados obtenidos en campo para determinar la estabilidad de taludes y así mismo se analizará las condiciones ante la precipitación promedio anual, definiendo las zonas de inestabilidad en la carretera Cajabamba Jocos.

## Instrumentos de recolección de datos.

### Ficha de observación

Como ficha de observación se utilizó la tabla de parámetros de clasificación (RMR), propuesta por Bieniawski en el año 1989. **TABLA GEOMECANICA DE BIENIAWSKI (RMR - 1989)**

**Tabla 1**

*Tabla Geomecánica de Bieniawski*

N°	Parámetros	Rango de Valores					
1	Resistencia del material de roca intacta	Índice de Resistencia o de Carga Puntual	<10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Para este rango bajo realizar ensayos de compresión uniaxial
		Resistencia a la compresión uniaxial (MPA)	>25	25 - 100	50 - 100	25 - 50	5 - 25 1 - 5 <1
	Valoración	15	12	7	4	2 1 0	
2	Calidad de testigo de perforación RQD	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25	
	Valoración	20	17	13	8	3	
3	Espaciamiento de Discontinuidades	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Valoración	20	15	10	8	5	
4	Condición de discontinuidades	Superficie muy rugosa no continua sin separación, paredes con roca sana	Superficie Ligeramente rugosa, separación <1 mm, paredes de roca ligeramente meteorizado	Superficie ligeramente rugosa, separación <1 mm, paredes de roca muy meteorizada	Superficie con espejo de fallas panizo <5 mm de espesor o separación de 1-5 mm continuos	Panizo blando > 5 mm de espesor o separación de > 5 mm continuos	
		Valoración	30	25	20	10	0
	Flujo de agua por 10 m de longitud de túnel (lT/mina)	Ninguno	<10	10 -- 25	25 - 125	>125	
5	Agua subterránea	Relación: presión de agua en discontinuidades/ Esfuerzo principal	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
	Valoración	15	10	7	4	0	

Fuente: Bieniawski – 1989

## **Equipos utilizados**

- Picota Geológica Estwing

Para determinar la resistencia de la roca y obtener muestras representativas de cada estación.

- Brújula Brunton Azimutal

Para tomar el rumbo y buzamiento de las discontinuidades y del talud.

- Imágenes satelitales
- Cámara Fotográfica.

Para fotografiar la zona de estudio y los ensayos a realizar.

- GPS GARMIN MAP 78s Navegador.

Para identificar las coordenadas UTM de la zona de estudio para tener una ubicación exacta de dicha zona.

- Software GIS.

Se empleará el GIS como un índice de calidad de macizos rocosos.

- Software AutoCAD. 2018
- Slide V6.
- Dips 5.0
- RocData 5.0
- Drone Mavic Pro

## **2.4. Procedimiento**

### **Etapa Pre – Campo**

Se procedió con la recolección de toda la información requerida considerando como base a los antecedentes, recopilación de otros trabajos y realidad problemática encontrada.



**Tabla 2**

*Artículos Revisados*

N°	AUTOR	TÍTULO	AÑO
1		MANUAL DE CARRETERAS: SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS	2014
2	Diego Cordero	IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA VIAL	2011
3	Jorge David Jiménez Perálvarez	ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE UN SIG EN LA CUENCA VERTIENTE AL EMBALSE DE RULES, GRANADA	2005
4	César Augusto Urteaga Posadas	ESTABILIZACIÓN DE TALUD CON SISTEMA ERDOX EN TALUDES DE CARRETERAS	2017
5	Percy Tupa Ruiz	EVALUACIÓN GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA MUÑANI - SAYTOCOCHA TRAMO KM. 14+700 AL 30+00	2017
6	Carlos Fernando Tafur Tuesta	ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CHACHAPOYAS	2017
7	INGEMMET	PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LOS CASERIOS DE HIGOSBAMBA, HICHABAMBA, HUAYLLIBAMBA, CHURUCANA	2019

Fuente: Elaboración Propia

**Etapa Campo**

Durante la etapa de campo se identificaron cuatro zonas inestables, analizando los cinco parámetros propuestos por Bieniawski en el año 1989, resistencia de la matriz rocosa, RQD, separación entre diaclasas, clasificación de condiciones de las discontinuidades presencia de agua freática.

- Resistencia de la Matriz Rocosa

La relación entre los esfuerzos principales efectivos en la condición de falla para un tipo de roca dado, está definida por dos constantes, la resistencia en compresión no confinada  $\sigma_{ci}$  y una constante  $m_i$ . Siempre que sea posible, los valores de estas constantes deberían determinarse mediante análisis estadísticos de los resultados obtenidos de una serie de ensayos triaxiales efectuados sobre testigos de sondajes cuidadosamente preparados Cuando

no es posible realizar pruebas de laboratorio, se pueden utilizar las tablas para estimar los valores. Estas estimaciones se pueden usar para los propósitos de un diseño preliminar, pero para diseños de detalle se deberían de desarrollar ensayos de laboratorio que permitan obtener valores más confiables.

**Tabla 3**

*Clasificación de Roca Intacta en Base a la Dureza y Meteorización*

Clase (a)	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (Mpa)	Índice de carga puntual	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	>10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramiento superficiales en la roca	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquisto, pizarra.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquisto, pizarra, limolitas.
R2	Débil	5 - 25		Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas pero con dificultad.	Creta sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 - 5	(b)	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa duras.

(a) Clase según Brown  
(b) Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial menor que 25 Mpa los resultados del ensayo de carga puntual son poco confiables

Fuente: Elaboración Propia

## Figura 1

*Ensayo de Campo Usando la Picota*



Fuente: Elaboración Propia

- **RQD**

El RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere en 1967 y es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso. Nos da idea del número y condiciones de las fracturas que afectan a los materiales.

$$RQD = \frac{\sum \text{BLOQUES DE ROCA} \geq 10 \text{ Cm}}{\text{LONGITUD TOTAL}} \times 100\%$$

**Figura 2**

*Cálculo RQD (Rock Quality Designation) Trabajo en Campo.*



Fuente: Elaboración Propia

- **Persistencia**

Es la longitud de traza de una discontinuidad en un afloramiento. Cuando hay persistencia se garantiza el flujo de agua a través de la masa. La persistencia podemos clasificarla de acuerdo a la distancia que se presenta en el macizo rocoso como se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 4**

*Estimación Separación de las Discontinuidades*

Continuidad	Longitud (m)
Muy Baja	< 1
Baja	(1-3)
Media	(2-10)
Alta	(10 -20)
Muy alta	> 20

Fuente: ISRM, 1982

**Figura 3**

*Separación de la Discontinuidades*



Fuente: Elaboración Propia

- **Abertura**

Es la distancia perpendicular entre las paredes de una diaclasa cuando estas no tienen relleno. Existen diaclasas cerradas, en donde las distancias entre sus paredes están pequeñas, que no es posible medirla en campo. Según la sociedad internacional de Mecánica de Rocas, la clasificación de acuerdo a estos parámetros es:

**Tabla 5**

*Descripción de la Abertura*

Descripción	Abertura (mm)
<b>Muy cerrada</b>	< 0.1
<b>Cerrada</b>	0.1 - 0.25
<b>Parcialmente abierta</b>	0.25 - 0.5
<b>Abierta</b>	0.5 - 2.5
<b>Moderadamente ancha</b>	2.5 - 10
<b>Ancha</b>	10 - 100
<b>Extremadamente ancha</b>	100 - 1000
<b>Cavernosa</b>	> 1000

Fuente: ISRM, 1982

**Figura 4**

*Abertura de la Discontinuidad*



Fuente: Elaboración Propia

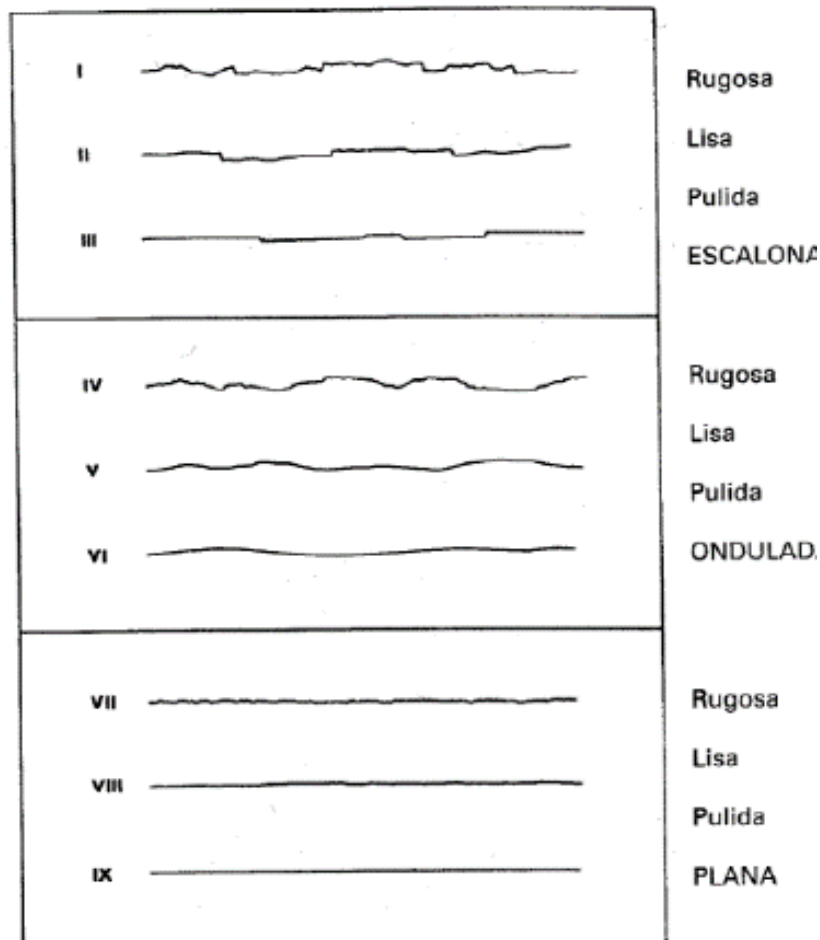
- **Rugosidad**

Se refiere a la ondulación de la discontinuidad y la rugosidad de la superficie. La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la

resistencia al corte de planos. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y por lo general, con el espesor de relleno.

*Figura 5*

*Rugosidad de Juntas*



- **Relleno**

Se refiere al material entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso. Una medida de cualificación de este parámetro, es su grado de cementación.

## Figura 6

### *Relleno de Discontinuidades*



Fuente: Elaboración Propia

## Tabla 6

### *Descripción del Relleno de las Discontinuidades*

Clase	Descripción	Identificación en Campo	Resistencia
S1	Muy Blanda	Moldeable con la mano	< 0.025
S2	Débil	Dedo pulgar incide fácilmente unos centímetros	0.025 - 0.05
S3	Firme	Necesita apretar para hincar el dedo	0.05 - 0.1
S4	Rígida	Necesita apretar para hincar el dedo	0.1 - 0.25
S5	Muy Rígida	Se marca con la uña	0.25 - 0.5
S6	dura	Se marca con dificultad con la uña	> 0.5

Fuente: ISRM, 1982

- **Condiciones hidráulicas**

Se refiere al agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento, Se describe por el caudal y debe evaluarse si el agua brota o no con presión.



**Tabla 7**

*Descripción de Relleno de las Discontinuidades*

Clase	Discontinuidad sin relleno	discontinuidad con relleno
I	Cerrada seca, no parece posible circulación	Relleno consolidado y seco, no parece posible circulación
II	seca, no aparece evidencias de circulación	Relleno húmedo, pero sin agua libre
III	seca, hay evidencias de circulación	Relleno mojado con goteo ocasional
IV	Húmedo sin agua libre	Relleno con muestras de lavado, flujo continuo (estimar caudal)
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo sin flujo continuo	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal)
VI	Junta con flujo continuo (estimar caudal)	Relleno completamente lavado, presiones de agua elevadas.

Fuente: ISRM, 1982

## **Figura 7**

### *Condiciones Hidráulicas*



Fuente: Elaboración Propia

### **Etapa Post – Campo**

Durante el trabajo de post campo se realizó el procesamiento de datos con ayuda de los softwares Roc data, Slide y Dips pertenecientes al paquete de Rocscience, los datos obtenidos en campo fueron interpretados durante esta etapa en las cuatro estaciones tomadas de nuestra carretera Cajabamba – Jocos.

Es en esta etapa cuando el investigador siente que su labor se está viendo culminada. Aquí estarán cifradas sus esperanzas de comprobación de sus supuestos, como también el amargo sabor de que algo faltó y que debe iniciar de nuevo el camino para ver qué ocurrió.

Los cuadros elaborados deberá analizarlos e interpretarlos para sacar sus conclusiones. Aquí entra el sentido crítico objetivo-subjetivo que les impartirá a esos

números recogidos en los cuadros. Esos números son abstractos y es el investigador quien les dará sentido. (Rafael Graterol 2011).

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

Los resultados de las estaciones estudiadas se describen a continuación, estos resultados comprenden determinar la clasificación de los parámetros de las discontinuidades (determinación RMR), estimación del GSI, Cálculo del Angulo de fricción, la cohesión, luego se empleó el software Dips con la finalidad de identificar el tipo de fallamiento que afectará al talud, y finalmente se hará el modelamiento y cálculo del factor de seguridad con el software Slide.

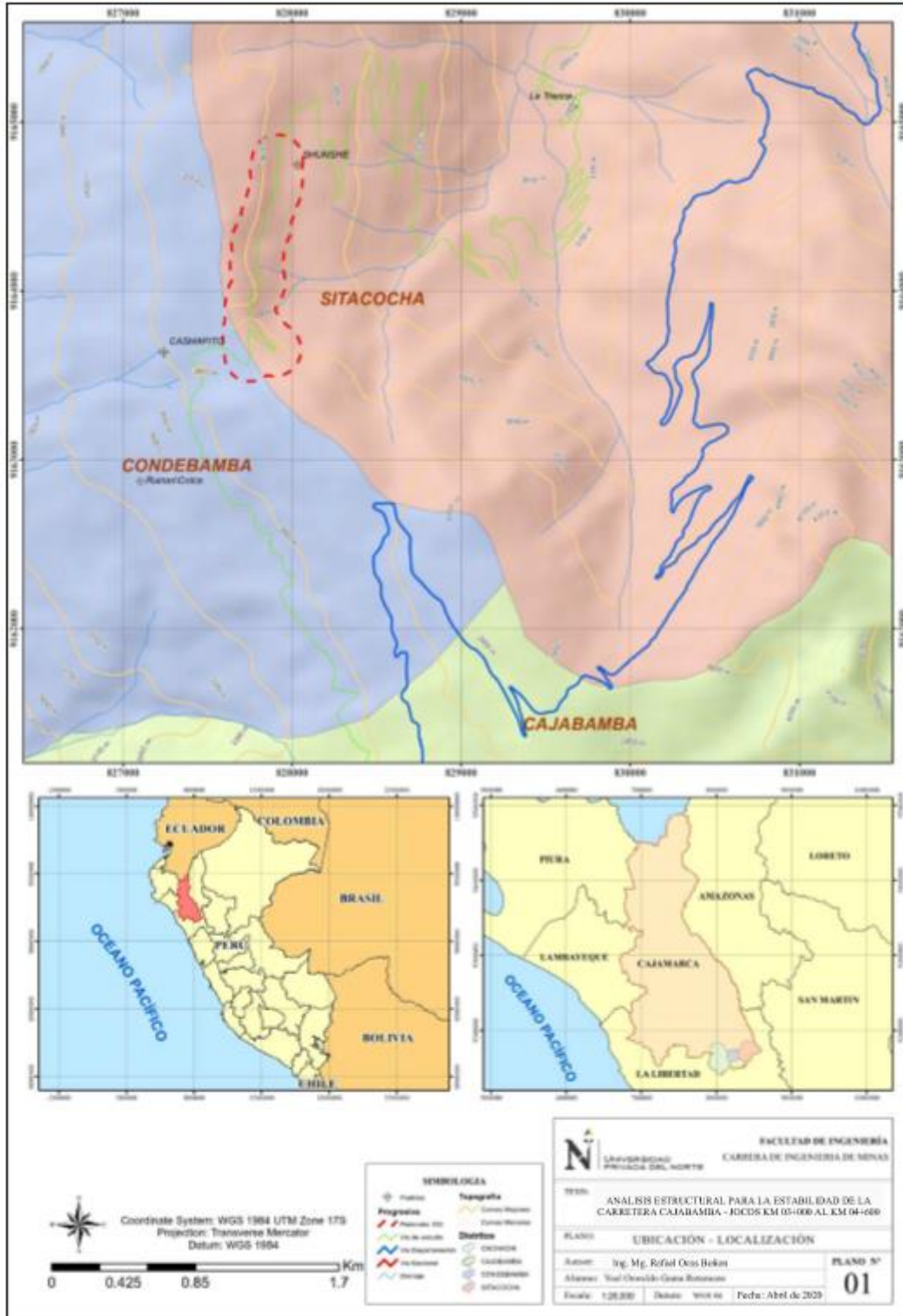
#### **Ubicación.**

El área de investigación está ubicada en la parte norte de Perú, en la región de Cajamarca, distrito de Jocos provincia de Cajabamba el cual situado en la carretera que une Jocos - Cajabamba y al SE del distrito de Cajamarca, a una altitud de 2956m.s.n.m.

La zona del trabajo se encuentra entre las progresivas 03+000 AL Km 04+600 de la carretera Cajabamba – Jocos.

**Figura 8**

*Plano de Ubicación de la Zona de Estudio*



Fuente: Elaboración Propia

## **Geológica Local**

### **Formación Cajabamba**

Se denomina Formación Cajabamba a una secuencia de lutitas, lodolitas y areniscas finas de color blanco-amarillento que afloran en el norte de Cajamarca; su exposición más extensa se ubica al este del pueblo de San Marcos, pero es menos representativa.

La formación Cajabamba suprayace con discordancia angular a los sedimentos cretáceos y jurásicos y subyace a la formación Condebamba con discordancia erosional sub-paralela.

La formación Cajabamba es de origen lacustre, con un buen contenido de ostrácodos, gasterópodos y lamelibranquios de agua dulce, con algunos horizontes de diatomeas. Hacia su parte superior en el sector San Marcos Azufre, contiene delgadas intercalaciones de lechos carbonosos, notándose restos de tallos no determinados; presentándose también algunos horizontes muy fosilíferos. Hacia el tope aumenta el contenido arenoso, pasando a veces a un conglomerado fino. Su grosor aproximado es de 200 m.

Lo peculiar de esta formación es que en los alrededores de San Marcos presenta pequeños pliegues que no tienen relación con los del basamento cretáceo, los cuales parecen estar relacionados con fallas inversas situadas a ambos lados de sus afloramientos, de manera que incidieron sobre ella determinando su acomodo por gravedad, formándose ondulaciones y demás deformaciones favorecidas por la plasticidad del material. En los alrededores de Cajabamba se notan buzamientos entre 20° y 25° al NE.

Edad y Correlación. - Los fósiles recolectados no son diagnósticos, tampoco existen relaciones con el Volcánico Huambos, ni con el Grupo Calipuy, pero tiene cierta similitud litológica con la formación Jauja (Pleistoceno); tentativamente puede asignarse al Mioceno inferior a medio.

## **Formación Condebamba**

La formación Condebamba (WILSON y REYES, 1964) aflora extensamente en los cuadrángulos de Cajabamba y San Marcos, yaciendo con leve discordancia sobre la formación Cajabamba y subyaciendo al Cuaternario aluvial con la misma relación.

En la base, consiste de intercalaciones de areniscas gruesas, arcillas rojizas y conglomerado fino. Hacia arriba, está formado exclusivamente por un conglomerado grueso con elementos redondeados y sub-redondeados, mayormente de cuarcitas en matriz arenosa, llegando a tener a veces diámetros de 35 a 40 cm. La formación Condebamba no está plegada, pero está inclinada con 5° a 10° al este.

Esta formación ha sido afectada por reactivaciones de fallas preexistentes, motivando flexuras en algunos casos, desplazamientos y erosión en otros, tal como sucede al este de San Marcos y Cajabamba.

Las formaciones Cajabamba y Condebamba deben haberse depositado en un amplio lago que llegaba por el sur hasta Huamachuco-Curgos y hacienda Cochabamba y por el norte hasta Namora y Cajamarca, correspondiéndole a la formación Cajabamba la parte más profunda de la cuenca y a la formación Condebamba un área periférica más amplia. El desagüe total de este lago se desarrolló a través del río Crisnejas al encañonarse su cauce a medida que el Marañón se profundizaba. Edad y Correlación. - Por la posición que ocupa y sus relaciones con la formación Cajabamba, su edad se enmarca entre el Plioceno superior y Pleistoceno.

### Evaluación estructural de la zona de estudio.

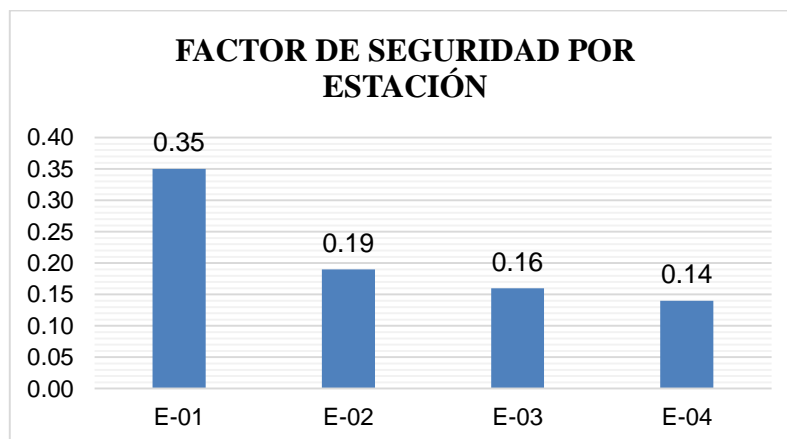
Las litomorfo estructuras presentes en la zona de estudio definen esfuerzos principales con dirección Este-Oeste y Oeste-Este, con esfuerzos secundarios en dirección

N340 - N160 y N30 – N210, los cuales se ven reflejados en los estratos y en las familias de discontinuidades.

Los resultados brindados por el Software Slide muestran que la superficie de los taludes son los que realmente son inestables, y no el talud en sí, pero cabe recalcar que conforme profundiza el socavamiento en el talud las propiedades físicas de la roca y suelo varían.

### Figura 9

*Factor de Seguridad por Estación*



Fuente: Elaboración Propia

La evaluación de las zonas críticas de la carretera Cajabamba Jocos brinda los siguientes resultados:



**Tabla 8**

*Resumen de Resultados y Características de Rocas por Estación*

Estación	Ángulo de fricción	Cohesión MPa	GSI	Resist. Comp. Uniax.	Factor de seguridad	Análisis Cinemático
E-01	46.66°	0.410 MPa	66	35 MPa	0.35	Deslizamiento en Cuña
E-02	35.61°	0.344 MPa	54	35 MPa	0.19	Deslizamiento en Cuña
E-03	40.21°	0.403 MPa	61	35 MPa	0.16	Deslizamiento en Cuña
E-04	29.67°	0.164 MPa	41	30 MPa	0.14	Deslizamiento en Cuña

Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos del procesamiento de datos recopilados en campo y procesados en gabinete, demuestra el factible el uso cualitativo del GSI para determinar y clasificar la calidad del macizo rocoso.

Las zonas críticas relacionadas a los eventos geodinámicos actuales son las 4 estaciones, ya que por efecto del fracturamiento por esfuerzos orogénicos genera planos de fallamiento, así también como es el caso de la Estación N° 02 representa un talud crítico ya que se asienta sobre un paleo-deslizamiento de gran extensión, a continuación, ampliaremos el detalle de cada estación:

### **Estación N° 01**

El talud se encuentra en el Km 03+200, litológicamente se caracteriza por una composición de areniscas de grano medio de color blanquecina, debido al corte cuasi perpendicular a la estratificación, mal tratamiento del talud y a la presencia de diversas familias de discontinuidades es que en la temporada de precipitaciones se produce caída de rocas con tamaños con tamaños oscilantes entre los 30 cm de diámetro.

*Estación N°1*



Fuente: Elaboración Propia

### **Propiedades del macizo rocoso y propiedades del talud**

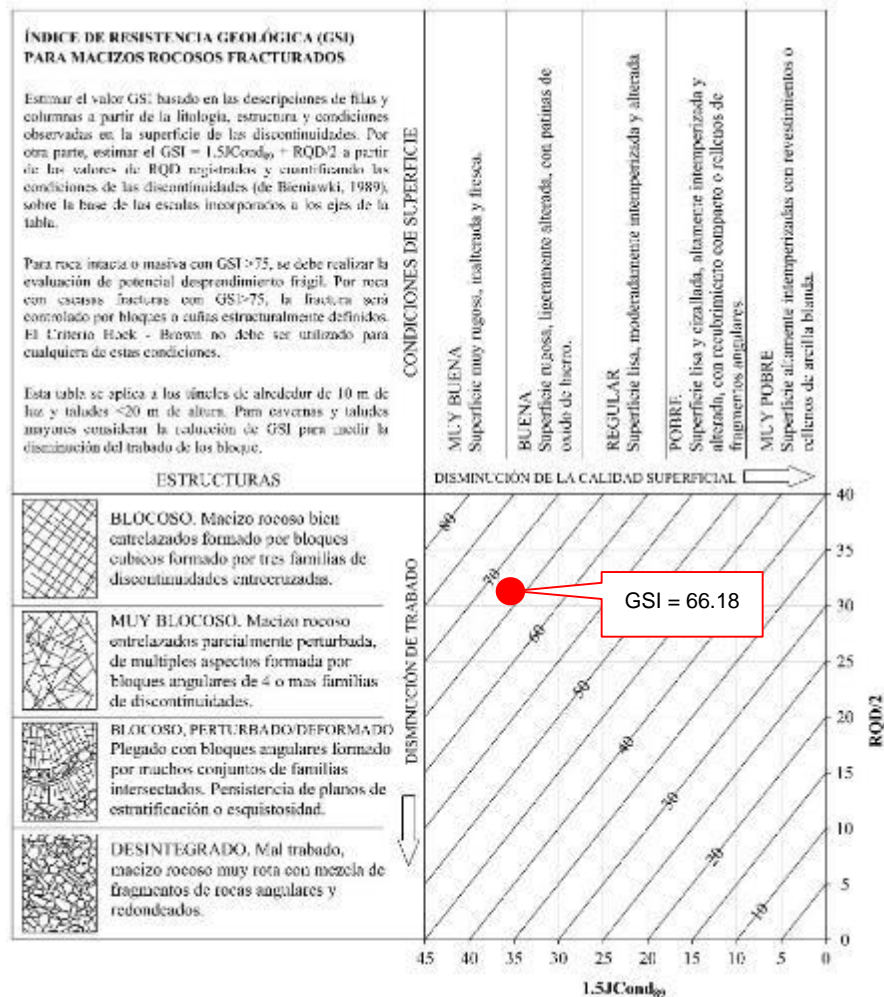
La valoración obtenida del análisis de los datos tomados en campo de las características del macizo rocoso y las discontinuidades se obtiene una valoración de RMR DE 66.18, lo que nos indica que la roca es Buena.

*Resumen de Resultados y Características de las Rocas (Estación N° 01)*

COORDENADAS			SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM				
NORTE	ESTE	COTA	DATUM: WGS 84				
9163729	827782	3620 m.s.n.m.	ZONA: 17S				
<b>Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)</b>							
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (MPa)</b>							
Puntuación	4						
<b>2 RQD = <math>100 \cdot e^{-0.1 \lambda} (0.1 \lambda + 1)</math></b>			ND	L (m)	$\lambda$	<b>RQD</b>	
			42	8	5.25	<b>90.36</b>	
Puntuación	20						
<b>3 Separación entre diaclasas</b>							
Puntuación	10						
<b>Clasificación de condiciones de las discontinuidades</b>							
		Longitud de la discontinuidad	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	<b>Valoración JCond<sub>g9</sub></b>
Puntuación	3	1	3	4	3	<b>14</b>	
<b>5 Agua Freática</b>							
Puntuación	15						
<b>VALORACIÓN RMR (1989)</b>					<b>63</b>		
<b>Estimación del Geological Strength Index (GSI)</b>							
<b>GSI = <math>1.5JCond_{g9} + RQD/2</math></b>			<b>GSI =</b>		<b>66.18</b>		

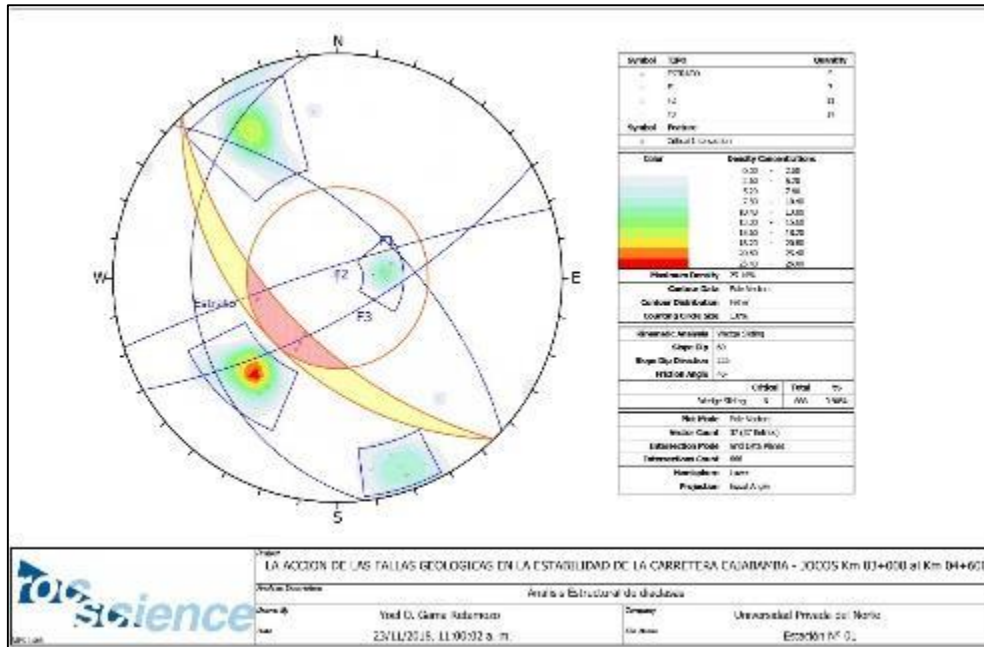
Fuente: Elaboración Propia

Estación N° 01 - Índice de Resistencia Geológica GSI



Los resultados tras el análisis Dips y Slide muestra el comportamiento inestable del talud, generado por la confluencia de dos familias de discontinuidades, la estratificación del macizo rocoso y el talud generando deslizamiento en cuñas. El factor de seguridad de 0.35 muestra claramente la inestabilidad corroborable en campo, ya que se encuentran rocas sueltas en el talud.

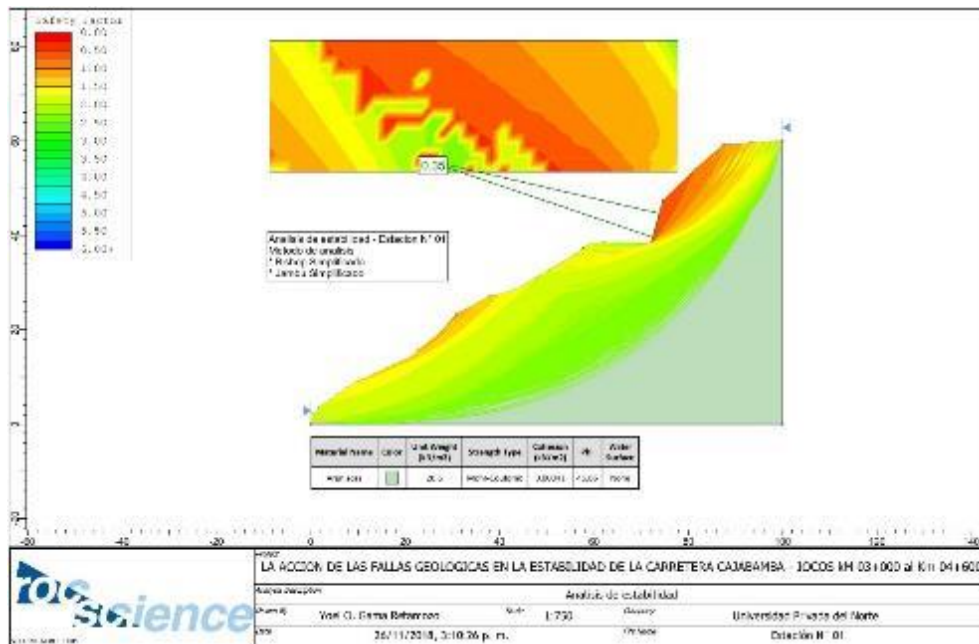
*Estación N° 01 - Análisis Estructural de Diaclasas*



Fuente: Elaboración Propia

Del análisis también se deduce que la inestabilidad existente se ha generado por no tratar adecuadamente el corte del talud, ya que el factor de seguridad se va elevando hasta llegar al comportamiento estable según se retrocede en el talud conservando una pendiente moderada.

*Estación N° 01 - Análisis de Estabilidad*



Fuente: Elaboración Propia

En la figura se puede notar que el factor de seguridad es de 0.35, valor obtenido al procesar los datos en el Slide, datos obtenidos de la estación N° 01.

**Estación N° 02**

El talud se encuentra en el Km 03+860, litológicamente se caracteriza por una composición de areniscas de grano medio de color blanquecina, en el corte del talud se puede determinar una falla paralela al mismo, con la presencia de diferentes familias de discontinuidades, entre los diferentes tipos de discontinuidades se aprecia un espaciamiento de entre 1 mm a 10 mm, espaciamientos que son aprovechados en tiempos de precipitación para infiltrar agua.

*Estación N° 02*



Fuente: Elaboración Propia

### **Propiedades del macizo rocoso y propiedades del talud**

La valoración obtenida del análisis de los datos tomados en campo de las características del macizo rocoso y las discontinuidades se obtiene una valoración de RMR DE 54.04, lo que nos indica que la roca es Media.

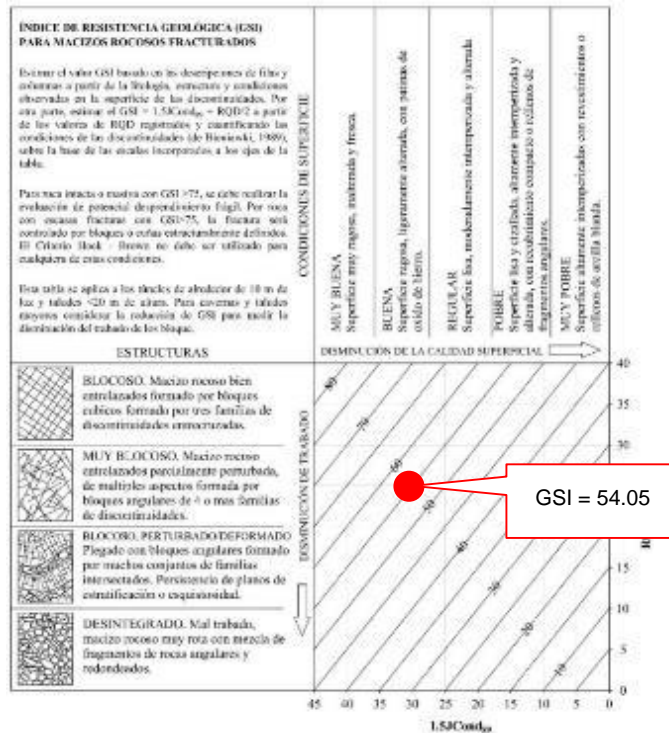
Resumen de Resultados y Características de las Rocas Estación N° 02

COORDENADAS			SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM					
NORTE	ESTE	COTA	DATUM: WGS 84					
9164097	827797	3580 m.s.n.m.	ZONA: 17S					
Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)								
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (MPa)</b>								
Puntuación	<b>4</b>							
<b>2 RQD = <math>100 \cdot e^{-0.1 \lambda} (0.1 \lambda + 1)</math></b>			ND	L (m)	$\lambda$	<b>RQD</b>		
			54	7.55	7.15	<b>84.07</b>		
<b>3 Separación entre diaclasas</b>								
Puntuación	<b>10</b>							
Clasificación de condiciones de las discontinuidades								
<b>4</b>		Longitud de la discontinuidad	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	<b>Valoración JCond<sub>89</sub></b>	
		Puntuación	1	1	3	2	1	<b>8</b>
<b>5 Agua Freática</b>								
Puntuación	<b>15</b>							
<b>VALORACIÓN RMR (1989)</b>					<b>54</b>			
Estimación del Geological Strength Index ( GSI )								
<b>GSI = 1.5JCond<sub>89</sub> + RQD/2</b>			<b>GSI =</b>		<b>54.04</b>			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Estación N° 02 - Índice de Resistencia Geológica GSI



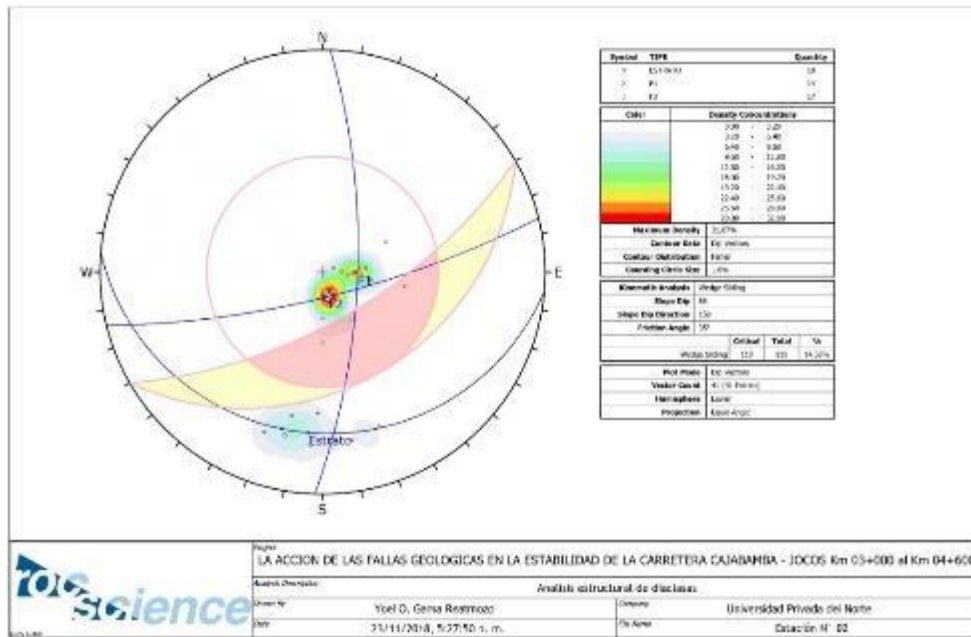


Los resultados tras el análisis Dips, muestran el comportamiento del talud, el cual es inestable provocado al igual que la anterior estación por la confluencia de diversas familias de discontinuidades provocando deslizamiento en cuñas.

**Figura**

**16**

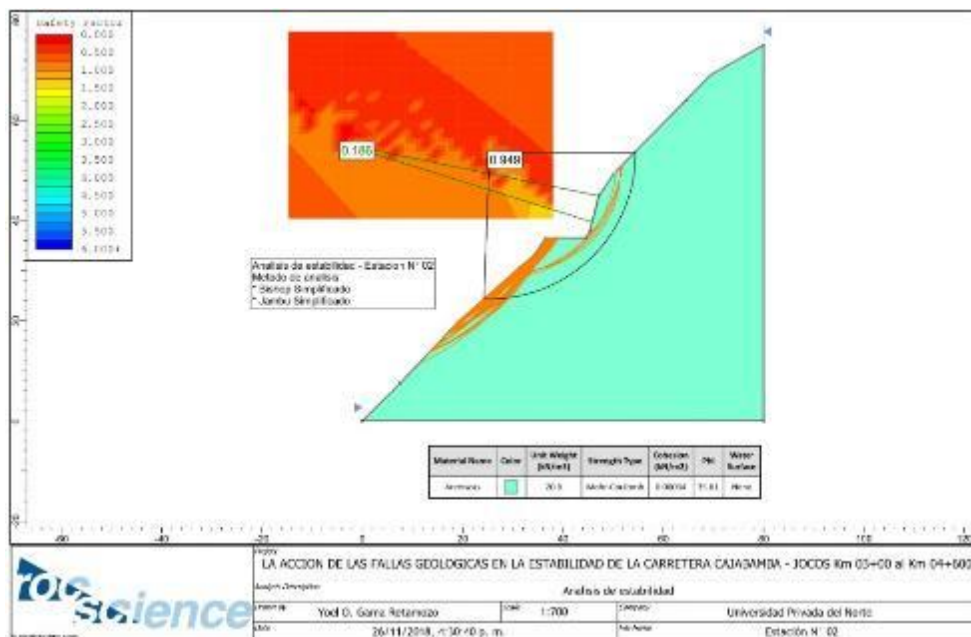
*Estación N° 02 - Análisis Estructural de Diaclasas*



Fuente: Elaboración Propia

Esta estación se encuentra dentro de un paleo deslizamiento rotacional, muchas de las discontinuidades presentes presentan estrías de deslizamiento, se presume que fueron formadas por los movimientos orogénicos que provocaron el plegamiento de las formaciones adyacentes.

*Estación N° 02 - Análisis de Estabilidad*



Fuente: Elaboración

Los resultados tras el análisis Slide, muestra que el factor de seguridad es muy bajo (0,186 y 0, 949) en la superficie del deslizamiento, corroborado por la caída de rocas, el factor de seguridad es apropiado según se retroceda la pendiente del talud.

**Estación N° 03**

El talud se encuentra en el Km 04+180, litológicamente se caracteriza por una composición de areniscas de grano medio de color blanquecina, con la presencia de diferentes familias de discontinuidades y múltiples espejos de falla, se ha determinado una falla de cizallamiento que afecta directamente al talud, esta falla es producto de los esfuerzos orogénicos secundarios que generaron el plegamiento andino.

*Espejo de Falla y Predominación de Diaclasas*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 19**

*Estación N° 03*



Fuente: Elaboración Propia

**Propiedades del macizo rocoso y propiedades del talud**

La valoración obtenida del análisis de los datos tomados en campo de las características del macizo rocoso y las discontinuidades se obtiene una valoración de RMR DE 61.29, lo que nos indica que la roca es Buena.

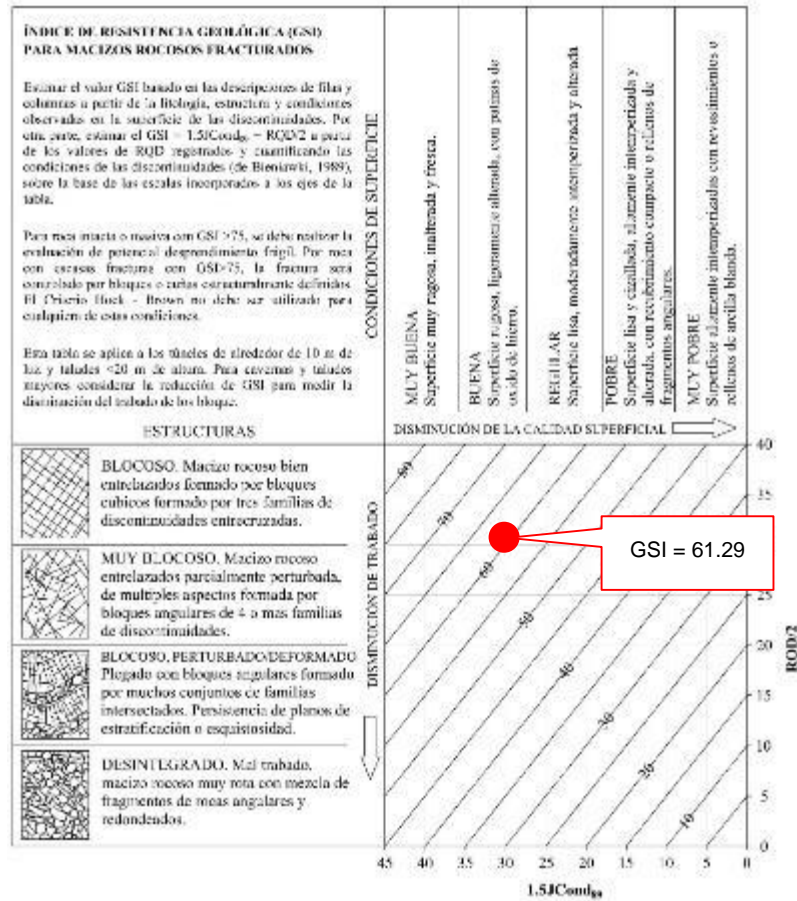
**Tabla 11**

*Resumen de Resultados y Características de las Rocas Estación 03*

COORDENADAS			SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM			
NORTE	ESTE	COTA	DATUM: WGS 84			
9164362	827839	3552 m.s.n.m.	ZONA: 17S			
Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)						
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (MPa)</b>						
Puntuación	4					
<b>2 RQD = <math>100 \cdot e^{-0.1 \lambda}</math> (0.1 <math>\lambda</math> + 1)</b>						
		ND	L (m)	$\lambda$	RQD	
		55	10	5.50	89.58	
Puntuación	17					
<b>3 Separación entre diaclasas</b>						
Puntuación	8					
Clasificación de condiciones de las discontinuidades						
Longitud de la discontinuidad		Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración JCond <sub>g9</sub>
Puntuación	0	1	3	6	1	11
<b>5 Agua Freática</b>						
Puntuación	15					
<b>VALORACIÓN RMR (1989)</b>				55		
Estimación del Geological Strength Index ( GSI )						
<b>GSI = 1.5JCond<sub>g9</sub> + RQD/2</b>				<b>GSI = 61.29</b>		

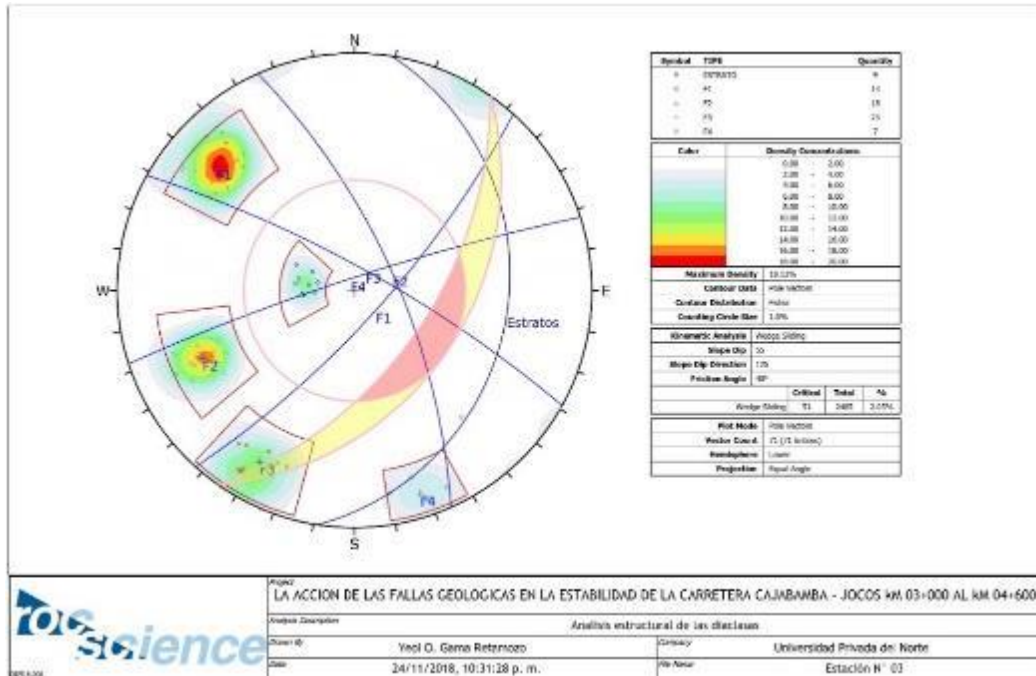
Fuente: Elaboración Propia

Estación N° 03 - Índice de Resistencia Geológica GSI



Los resultados tras el análisis Dips, muestra el comportamiento del talud, el cual se caracteriza por que el buzamiento de la mayoría de discontinuidades es muy elevado y se distinguen claramente del estrato, estas discontinuidades provocan deslizamientos en cuña.

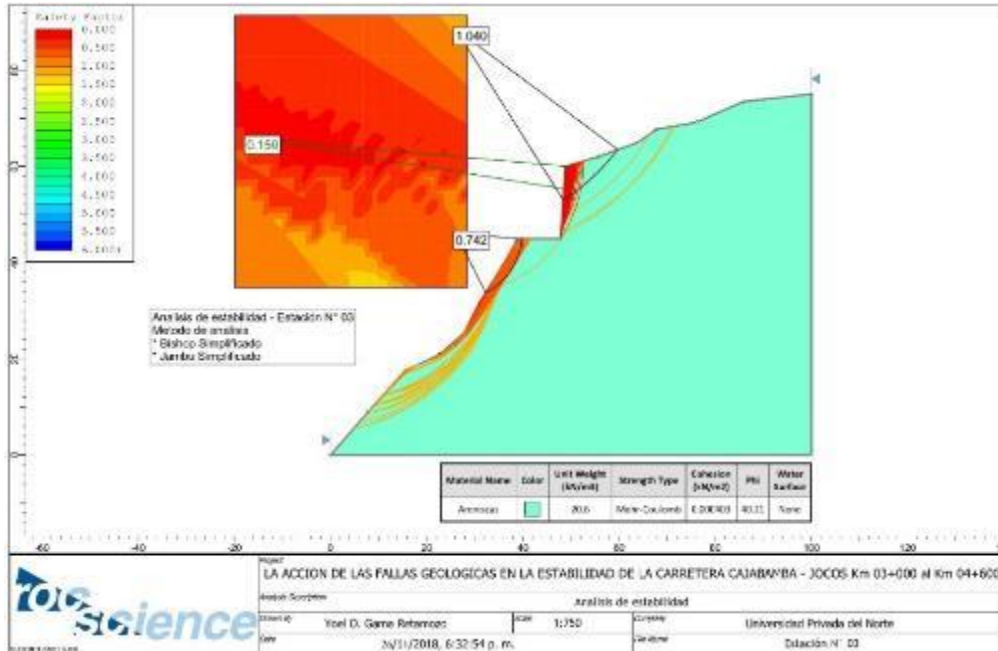
*Estación N° 03 - Análisis Estructural de Diaclasas*



Fuente: Elaboración Propia

La presente estación se encuentra próxima a una falla estructural de gran envergadura la cual proyecta más de 2 kilómetros con un rumbo de N70, al ser una falla prolongada nos da la certeza de que los esfuerzos formadores fueron muy grandes y perduraron por mucho tiempo.

*Estación N° 03 - Análisis de Estabilidad*



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados tras el análisis Slide, muestra que el factor de seguridad es bajo (0.159, 0.742, 1.040) en la superficie del deslizamiento, corroborado por la caída de rocas, el factor de seguridad es apropiado según se retroceda la pendiente del talud.

**Estación N° 04**

El talud se encuentra ubicado en el Km 04+435, se distingue de las anteriores estaciones debido a la intercalación de estratos de arenisca blanquecina con delgados estratos de lutitas bituminosas y margas. Los estratos de lutita bituminosa presentan humedad, y los pequeños horizontes de carbón son deleznable al tacto. Se llegó a observar Bivalvos y amonites pero no se pudieron datar ya que las ornamentaciones y costillas son irreconocibles.

*Estación N° 04*



**Fuente:** Elaboración Propia

***Propiedades del macizo rocoso y propiedades del talud***

La valoración obtenida del análisis de los datos tomados en campo de las características del macizo rocoso y las discontinuidades se obtiene una valoración de RMR, 41.40, lo que nos indica que la roca es Media.

***Propiedades del macizo rocoso y propiedades del talud***

La valoración obtenida del análisis de los datos tomados en campo de las características del macizo rocoso y las discontinuidades se obtiene una valoración de RMR DE 41.40, lo que nos indica que la roca es Media.



Tabla 12:

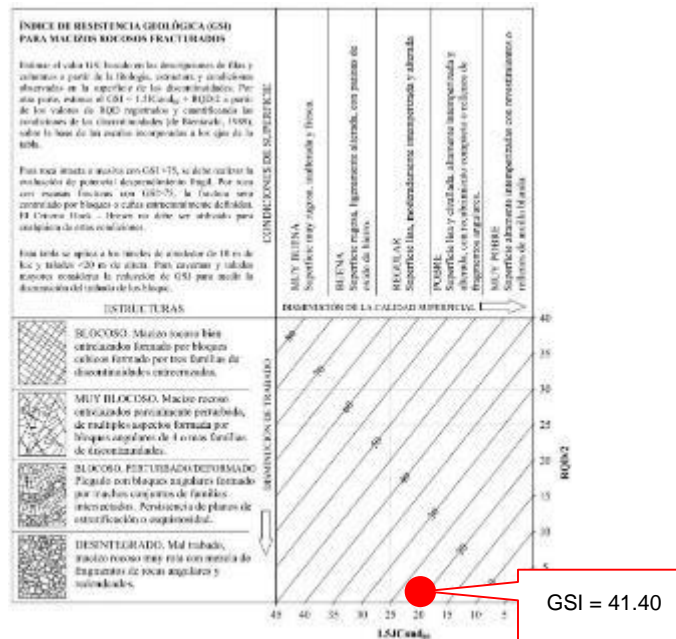
Resumen de resultados características de rocas estación 04.

COORDENADAS			SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM			
NORTE	ESTE	COTA	DATUM: WGS 84			
9164631	827911	3551 m.s.n.m.	ZONA: 17S			
Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)						
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (MPa)</b>						
Puntuación	4					
<b>2 RQD = <math>100 \cdot e^{-0.1 \lambda} (0.1 \lambda + 1)</math></b>			ND	L (m)	$\lambda$	RQD
			60	6	10.00	73.80
Puntuación	13					
<b>3 Separación entre diaclasas</b>						
Puntuación	8					
Clasificación de condiciones de las discontinuidades						
Longitud de la discontinuidad		Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración JCond <sub>g9</sub>
Puntuación	0	1	1	0	1	3
<b>5 Agua Freática</b>						
Puntuación	7					
<b>VALORACIÓN RMR (1989)</b>					<b>35</b>	
Estimación del Geological Strength Index ( GSI )						
<b>GSI = 1.5JCond<sub>g9</sub> + RQD/2</b>			<b>GSI =</b>		<b>41.40</b>	

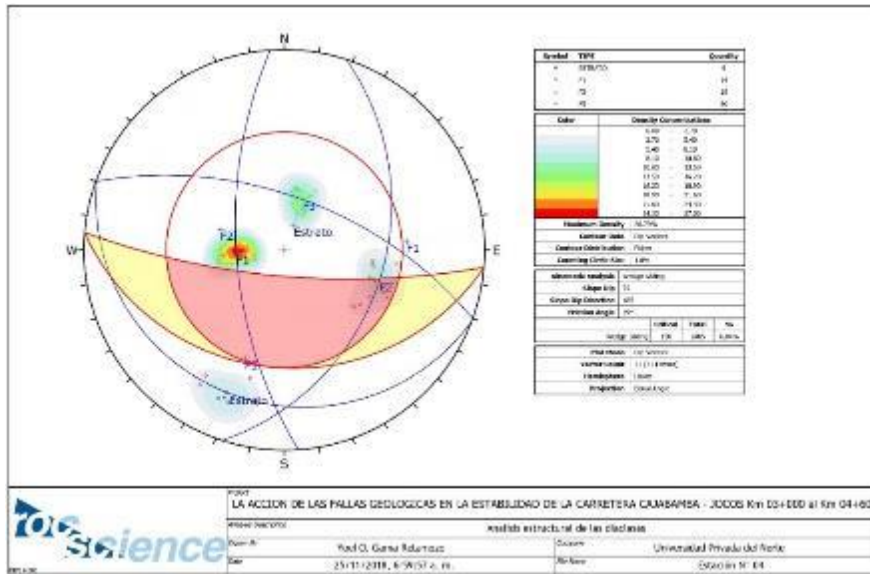
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Estación N° 03 - Índice de Resistencia Geológica GSI



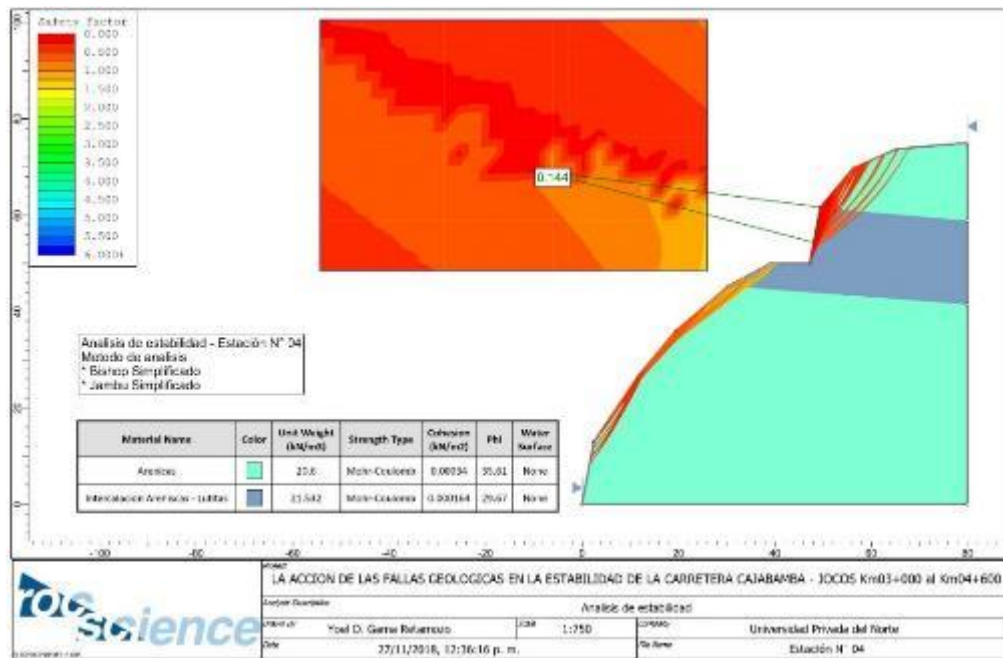
Estación N° 04 - Análisis estructural de diaclasas



A diferencia de las estaciones anteriores, esta presenta estructuras diferenciadas en su litología, ya que es parte del miembro inferior de la formación Farrat, presentando unas intercalaciones que hace variar el análisis tanto Dips como Slide.

**Figura N° 26:**

Estación N° 04 - Análisis de estabilidad



La presente estación se encuentra próxima a una falla estructural de gran envergadura la cual proyecta más de 2 kilómetros con un rumbo de N70, al ser una falla prolongada nos da la certeza de que los esfuerzos formadores fueron muy grandes y perduraron por mucho tiempo.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

A partir de los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis general que establece que el análisis estructural de los taludes influye significativamente en la determinación de la estabilidad de la Carretera Cajabamba - Jocos Km 03+000 al 04+000 + 600. ya que al realizar el análisis estructural se logró determinar que las cuatro zonas de estudio son altamente inestables, el factor de seguridad en la estación uno presenta un factor de seguridad de 0.35, estación dos 0.19, estación tres 0.16, estación cuatro 0.14, de acuerdo a la Resistencia de compresión uniaxial es 35 MPa valorando a la roca como moderadamente resistente.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Ramos, 2017 en su tesis de Maestría “Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas, nos dice que los análisis de estabilidad permiten diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad” que se debe acudir a investigaciones in situ con el fin de obtener la información necesaria para el análisis de estabilidad, y de ser necesario, se complementa dicha información con ensayos de laboratorio y correlaciones empíricas.

Durante la investigación, se lograron identificar cuatro zonas que presenta problemas geotécnicos – estructurales, de los cuales obtuvimos sus propiedades geomecánicas para poder realizar el análisis estructural, se utilizó los métodos rápidos y efectivos como son clasificaciones cuantitativas como son: el RQD de Priest y Hudson, el método índice GSI de Hoek 2002, la determinación del RMR de Bienawski 1976, verificando que los resultados guardan relación con lo que señala Valeriano, F. 2015, quien también señala que la

aplicación de las metodologías propuestas para este tipo de análisis y la forma como se presentan los resultados es una muestra de la interacción del empirismo y la aplicación de softwares especializados en geotecnia, dando nos resultados confiables que se asemejan a la realidad del sitio.

Structuralia, (2019), señala que en el mundo los procesos geológicos como el desprendimiento de rocas y deslizamientos de suelo, son los procesos más peligrosos que generan muertes y pérdidas económicas de millones de dólares, generalmente los desprendimientos afectan a zonas aisladas, aunque en ocasiones se puede producir el colapso de una masa importante, siendo muy peligrosos y produciendo grandes daños en la infraestructura., teniendo en cuenta esta afirmación, se puede corroborar que el factor de seguridad obtenido en nuestras cuatro estaciones en estudio son despreciables, lo que nos da a entender que estas zonas son del alto riesgo para la vida y la economía.

Además, que con los datos obtenidos podemos corroborar lo enunciado por Mendo (2018), quien señala que ahora podemos realizar cálculos con mayor precisión gracias a los nuevos softwares como Geoslope, Slide, Unwedge, Swedge, Geo entre otras, dando fe a los softwares que se utilizaron en el presente proyecto de investigación.

Con los datos obtenidos en el presente proyecto, corroboramos que el uso del software SLIDE es muy confiable, así como lo afirma Zamora, L. (2018), quien nos menciona que para el estudio de Vulnerabilidad y riesgo se definió un cuadrángulo puntual y específico. Se partió del análisis de laderas mediante el método equilibrio límite (Software Slide v7), en distintos escenarios elaborados en base a perfiles definidos a criterio, los cuales determinaron

datos interesantes y que corroboran el grado de vulnerabilidad no muy favorable para el valle.

Analizando los resultados obtenidos verificamos que guardan relación con los que sostiene Mamani, R. (2016), quien nos indica que la clasificación geomecánica de determinó a partir de la caracterización del macizo rocoso y la resistencia a la compresión simple; y el factor de seguridad se realizó aplicando la metodología de la proyección estereográfica, y del método de equilibrio límite para cada tipo de rotura; los resultados obtenidos para cada talud analizado es: Catarata km 1+400 al 1+580 RMR=64, Clase II, GSI=59, FS=1.79; km 1+580 al 1+700 RMR=54, Clase III, GSI=49, FS=1.02; Mirador km 2+500 al 2+620 RMR=69, Clase II, GSI=59, FS=1.87; km 2+620 al 2+760 RMR=72, Clase II, GSI=67, FS=3.89; y Huancoiri km 6+400 al 6+700 RMR=43, Clase III, GSI=38; y para las secciones km 6+400 FS=0.93; km 6+540 FS=1.41; km 6+620 FS=0.85 y km 6+660 FS=0.94.

## 4.2 Conclusiones

Se realizó el estudio geológico de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600, observando que las zonas críticas se ubican a riberas de quebradas, en los márgenes de cárcavas, en los extremos del paleo deslizamiento y en las zonas de fallas, las formaciones geológicas presentes en el lugar de estudio son formación Cajabamba y Formación Condebamba.

Al realizar el análisis estructural para la estabilidad de la carretera Cajabamba – Jocos Km 03+000 Al Km 04+600, se obtuvo que el comportamiento que presenta la zona de estudio está establecido por la geología estructural regional, la cual ha generado el fracturamiento del lugar, definiendo los esfuerzos principales con dirección Este-Oeste y Oeste-Este, con esfuerzos secundarios en dirección N340-N160 y N30-N210, los cuales se ven reflejados en los estratos y en las familias de discontinuidades.

Se identificaron en las cuatro estaciones zonas inestables, la primera zona inestable se encuentra en la progresiva 3 + 300, segunda zona inestable en la progresiva tres más novecientos, tercera zona inestable en la progresiva 4+170, cuarta zona inestable en la progresiva 4+170, los factores de seguridad muy por debajo de las consideraciones estables, en ninguna de las cuatro estaciones superan el 0.5 de factor de seguridad, considerándose estas zonas como moderadamente estables.

## REFERENCIAS

- Benavides. (1956). Geología de Cajamarca: sociedad geológica del Perú. Lima.
- Bray, H. y. (1974). aspectos genéricos de ingeniería de taludes en roca/mecánica de suelos aplicada.
- CENAPRED. (2002). El clima en la inestabilidad de laderas. México: Cenapred.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). Inestabilidad de laderas. México.
- Cornforth, D. H. (2005). Landslides in practice. Hoboken.
- Corominas, J. (s.f.). Tipos de rotura en laderas y taludes.
- Das, B. M. (2001). Fundamentos de la geotecnia. California: Pedro de la Graza Rosales.
- Dávila Burga, J. (2001). Diccionario geológico. Perú.
- Deere, D. U. (1989). Rock Quality Designation (RQD) After twenty years. Florida.
- Díaz, J. S. (2009). Deslizamientos: Análisis geotécnico. U.I.S. Escuela de filosofía.
- Díaz, J. S. (s.f.). Control de Erosión.
- Díaz, J. S. (s.f.). Respuesta hidrogeológica de los deslizamientos de tierra. II Congreso colombiano de hidrogeología, 12.
- Gerscovich, D. (2013). Estabilidad de Taludes. São Paulo: Oficina de Textos.
- Gidahatar (2017). “Modelamiento de Erosión de suelos”
- González de Vallejo, L. I. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: Isabel Capella.
- Hoek, E. (2013). Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.
- Hoek, E., Carranza Torres, C., & Corkum, B. (2002). El criterio de rotura de Hoek - Brown - Edición 2002. Minnesota.



Hurtado, J. E., & Chang Chang , L. A. (1897). Mapa de áreas de deslizamientos por sismos en el Perú. V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 11.

Mendo, D (2018). “Análisis de estabilidad del talud del Mega centro comercial 30 de enero y propuesta de solución con el sistema Soil Nailing- Jicamarca, 2018”

Mendoza Paredes, W. (2015). Modelamiento hidrogeológico en las zonas de cimentación de relaves del proyecto Conga mediante el software GMS. Cajamarca.

Reyes Rivera, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Lima.

Rodríguez Cruzado, R. (2014). Unidades Geomorfológicas. Cajamarca.

Suárez Díaz, J. (s.f.). Deslizamientos: Análisis geotécnico.

Suarez, J. (2009). Análisis de Estabilidad. En Deslizamientos, Análisis Geotécnico.

Toroverero, F. R. (abril de 2014). Evaluación Geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca - El Gavilán. Cajamarca, Cajamarca, Perú.

United States Geological Survey. (2004). Landslide Types and Processes. Virginia.

Vallejo, L. I. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: Isabel Capella.

Mamani, R. (2016). “análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera sina yanahuaya tramo iii - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple”.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2976>

Breña, C. (2019). Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, Cajamarca-Perú.

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11386>

Díaz, M. y Rodríguez, J. (2017). “estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera ciudad de dios - Cajamarca”.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12738>

García, J. (2017). la estabilidad de taludes y la transitabilidad en la carretera longitudinal de la sierra, provincia de chota – Cajamarca.

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/1443>

Sackschewski, C. (2017). Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110.

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5743>

## ANEXOS

Plano N° 01 - Ubicación – localización

Plano N° 02 - Modelo digital de elevaciones

Plano N° 03 - Ortomosaico

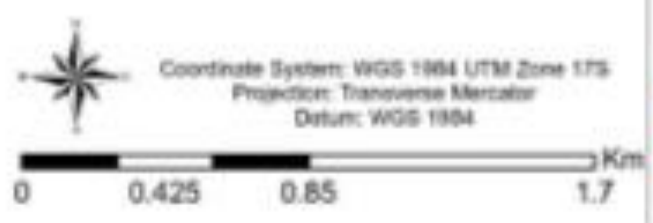
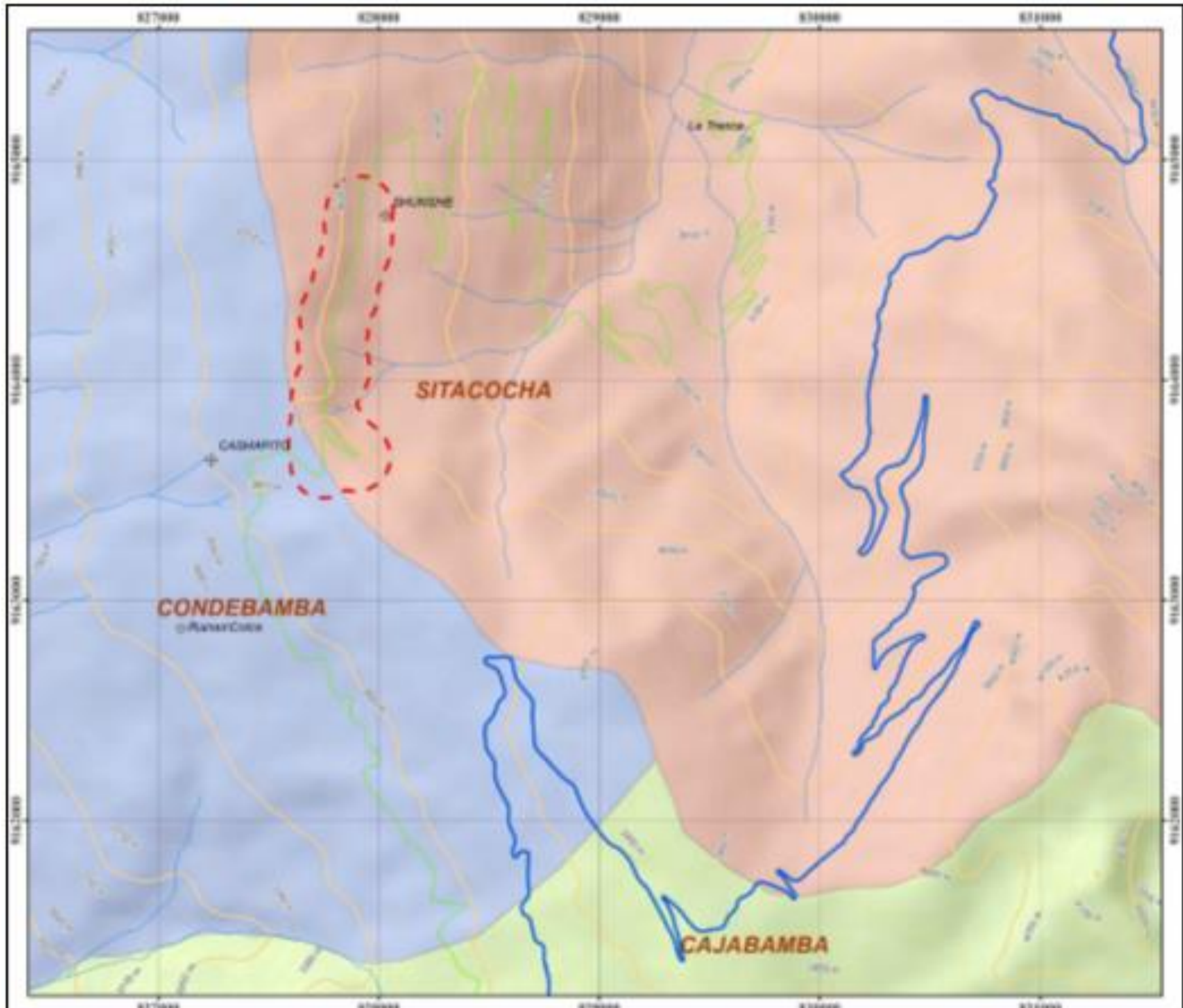
Plano N° 04 - Unidades Geomorfológicas y pendientes

Plano N° 05 - Unidades Geomorfológicas y pendientes. Detalle

Plano N° 06 - Geológico Estructural

Plano N° 07 – Geotécnico

Plano N° 08 – Geomecánico.



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

SIMBOLOGIA	
	Estación
	Proyecto
	Rio
	Carretera
	Camino
	Carretera
	Carretera
	Distrito
	CONDEBAMBA
	SITACOCHA
	CAJABAMBA

	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS	
TÍTULO:	ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA LA ESTABILIDAD DE LA CARRETERA CAJABAMBA - ICDS KM 0+000 AL KM 0+600	
PLANO:	UBICACIÓN - LOCALIZACIÓN	
Autor:	Ing. Mg. Rafael Oros Bolten	PLANO N° <b>01</b>
Asesor:	Tral. Dirección General Ejecutiva	
Escala:	1:25,000	Fecha: Abril de 2020

