

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**DETERMINACIÓN GEOMECÁNICA DE TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS EN  
LA CARRETERA SAN JUAN - HUACRARUCO ENTRE LOS KILÓMETROS  
3+000 - 6+200**

Para optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:  
Bach. Senddy Tathiana Marín Rojas

Asesor  
Dr. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado

CAJAMARCA – PERÚ

2019

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS, por permitirme estar acá en este momento, A cada uno de los Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, de la UNC, quienes fueron mi guía y me brindaron todo lo necesario académicamente para poder desarrollarme profesionalmente en cualquier instante de mi vida.

A mi Asesor el Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por sus conocimientos impartidos, dedicación, y motivación hasta el último momento.

S.T.M.R

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico a los motores de mi vida: Mis hijos Liam y Eithan, a mi esposo y compañero de vida, Enrique J. Sáenz Correa, quien con amor, dedicación y esfuerzo me apoya en todo momento.

A mis padres Bertha J. Rojas Abanto y Julio C. Marín Linares, quienes con su ejemplo me enseñaron desde niña que por más complicada sea la vida, me permita a mí misma seguir adelante, sin motivo alguno de rendirme, que en la persistencia está el éxito.

Finalmente, no menos importante quiero Agradecer a mis Hermanos, Amigos que de una u otra manera estuvieron motivándome para el desarrollo de la presente investigación.

S.T.M.R

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA .....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FOTOS .....	X
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I. ....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS. ....	4
2.2.1. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICAS DE LOS MACIZOS ROCOSOS .....	4
2.2.2. ANÁLISIS DE TALUDES .....	8
2.2.3. SISMICIDAD.....	15
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS. ....	17
CAPÍTULO III.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1. UBICACIÓN.....	19
3.2. ACCESIBILIDAD.....	19
3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN .....	20
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
3.4.1. Tipo y método de la Investigación.....	20
3.4.2 Población de estudio.....	20
3.4.3 Muestra.....	20
3.4.4 Unidad de análisis.....	21
3.4.5 Definición de variables.....	21

3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	21
3.6.	ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS. ....	22
3.7.	GEOLOGÍA LOCAL. ....	22
3.7.1.	Formación Farrat. ....	23
3.7.2.	Formación Inca. ....	24
3.7.3.	Formación Chúlec.....	24
3.7.4.	Formación Pariatambo.....	25
3.8.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL. ....	26
3.9.	UNIDADES MORFOGENÉTICAS.....	27
3.10.	HIDROLOGÍA. ....	31
3.11.	ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	33
3.11.1.	ESTACIÓN 01.....	34
3.11.2.	ESTACIÓN 02.....	39
3.11.3.	ESTACIÓN 03.....	44
3.11.4.	ESTACIÓN 04.....	49
3.11.5.	ESTACIÓN 05.....	55
3.11.6.	ESTACIÓN 06.....	60
	CAPITULO IV.....	66
	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	66
4.1.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
4.3.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	69
	CAPITULO V.....	70
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
5.1.	CONCLUSIONES.....	70
5.2.	RECOMENDACIONES.....	71
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
	ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Índice de resistencia Geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados. (Gonzales de Vallejo, 2004).....	8
Figura 2. Tipos de rotura en taludes rocosos, curva de resistencia para el macizo y relaciones entre inclinación y altura del talud. (Gonzales de Vallejo, 2004). ....	11
Figura 3. Representación estereográfica de los planos de discontinuidades con respecto a la orientación del talud para tipos de roturas en macizos rocosos. (Gonzales de Vallejo, 2004).....	11
Figura 4. Roturas planas en los bancos de un talud a favor de las superficies de estratificación. (Gonzales de Vallejo, 2004).....	12
Figura 5. Condiciones para rotura plana y rotura en cuña. (Gonzales de Vallejo, 2004).....	13
Figura 6. Representación estereográfica de cuñas. las cuñas A y B no tienen posibilidad de deslizarse por no cumplir con la condición, las cuñas C y D presentan condiciones de deslizamiento. es así como la comparación de los ángulos de inclinación del talud, de inclinación del talud, de los planos de cuña y de la fricción de los planos permite determinar si la cuña es estable o inestable. (Gonzales de Vallejo, 2004).....	14
Figura 7. Zonas sísmicas en el Perú y Cajamarca. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2016). ....	16
Figura 8. Columna Estratigráfica del tramo de Carretera San Juan – Huacraruco.....	23
Figura 9.Subcuenca hidrográfica de San Juan, mostrando un drenaje dendrítico.....	32
Figura 10. En la imagen podemos observar que existe Direct Toppling (derribo directo) de un 57.86 %, siendo un porcentaje mayor que el Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 4.35 %; presentando intersecciones críticas entre estratos y diaclasas de familia 1 y 2; que generarían una zona inestable, con un ángulo de fricción de 53°.....	35
Figura 11. Análisis Slide, el cual muestra el factor de seguridad real de 0.598 y un ideal de 1.027; determinando así una zona crítica, dado por caída de rocas.....	36
Figura 12. Análisis Rock data por el Método de Hoek – Brown y Mohr Coulomb de la estación N° 01, obteniendo datos que serán utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.....	37
Figura 13. Análisis Slide de la Estación N° 01, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.327, y una corrección de 1.002; siendo una zona altamente crítica, con posible caída de rocas, afectando gravemente a transeúntes y conservación de la carretera del área de estudio. ....	38

Figura 14. Análisis cinemático de la Estación N° 02, donde se puede observar la intersección entre diaclasas y estrato, generándose así intersecciones críticas, con Direct Toppling (derribo directo) con un 39.08% y un Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 16. 00 %, siendo las intersecciones críticas entre estrato y diaclasas de la familia 1,2 y 3, con un ángulo de fricción de 52°. ....	40
Figura 15. Análisis Slide de la Estación N° 02, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.339, con una corrección de 1.521, siendo así una zona inestable. ....	41
Figura 16. Análisis Rock data de la estación N° 02, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación. ....	42
Figura 17. Análisis Slide de la Estación N° 02, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.112 y 0.384 – 1.002, determinándose así que la zona siendo afectada a sismicidad es altamente critica, con tendencia de caída de rocas hacia la carretera, en la parte del pico del talud, siendo una zona altamente critica, con posible caída de rocas, afectando gravemente a transeúntes y conservación de la carretera del área de estudio. ....	43
Figura 18. Análisis cinemático de la Estación N° 03, donde se puede observar la intersección entre diaclasas y estratos, generándose así intersecciones críticas, con base plane (base planar) con un 19.23 % y un Oblique Toppling (derribo oblicuo) de un 3.69%, con un ángulo de fricción de 50°. ....	45
Figura 19. Análisis Slide de la Estación N° 02, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.410, siendo una zona critica por inestabilidad del talud, pero presenta una corrección de 1,356, es decir bajándole la pendiente de talud sería un talud relativamente estable. ....	46
Figura 20. Análisis Rock data de la estación N° 03, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación. ....	47
Figura 21. Análisis Slide de la Estación N° 03, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.121 y 1.001, determinándose que la zona es inestable aún más con la sismicidad. ....	48
Figura 22. Análisis cinemático de la Estación N° 04, donde se puede observar el análisis cinemático del tipo planar sliding (deslizamiento planar) con un 76.00%, con el ángulo de fricción de 55°. ...	50
Figura 23. Análisis cinemático de la Estación N° 04, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con la falla, generando una zona de mayor inestabilidad, el análisis cinemático es del tipo Wedge sliding (deslizamiento en cuña) con un 40.67 %, con un ángulo de fricción de 55°. ....	51
Figura 24. Análisis Slide de la Estación N° 04, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.328, siendo una zona critica por inestabilidad del talud, pero si se realizara una corrección de 1,074, siendo más estable. ....	52
Figura 25. Análisis Rock data de la estación N° 04, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación. ....	53

Figura 26. Análisis Slide de la Estación N° 04, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.115 y una corrección de 1.028, determinándose que la zona es muy inestable. ....	54
Figura 27. Análisis cinemático de la Estación N° 05, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con los estratos, el análisis cinemático es del tipo Direct Toppling (derribo directo) con un 5.07%, Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 42.75% y una base plane (base planar) de un 20.83 %, con un ángulo de fricción de 61° . ....	56
Figura 28. Análisis Slide de la Estación N° 05, donde muestra un Factor de Seguridad de 0, 549, siendo una zona critica por inestabilidad del talud, pero si se realizara una corrección de 1,056, siendo más estable. ....	57
Figura 29. Análisis Rock data de la estación N° 05, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación. ....	58
Figura 30. Análisis Slide de la Estación N° 05, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.285 y una corrección de 1.003, determinándose que la zona es inestable. ....	59
Figura 31. Análisis cinemático de la Estación N° 06, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con los estratos, el análisis cinemático es del tipo Direct Toppling (derribo directo) con un 2.60%, Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 36.36 %, y una base plane (base planar) con un 18.18% y un ángulo de fricción de 60° . ....	61
Figura 32. Análisis cinemático de la Estación N° 06, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con los estratos, el análisis cinemático es del tipo planar sliding (deslizamiento planar) con un 40.91% y un ángulo de fricción de 60° . ....	62
Figura 33. Análisis Slide de la Estación N° 06, donde muestra un Factor de Seguridad de 0, 481, siendo una zona critica por inestabilidad del talud, pero si se realizara una corrección de 1.009, siendo más estable. ....	63
Figura 34. Análisis Rock data de la estación N° 06, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación. ....	64
Figura 35. Análisis Slide de la Estación N° 06, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.256 y una corrección de 0.701, determinándose que la zona es inestable. ....	65



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Representación del RQD y descripción de la calidad de la roca.....	5
Tabla 2. Clasificación del espaciado de las juntas. ....	5
Tabla 3. Parámetros de clasificación RMR 1989. ....	6
Tabla 4. Factores Influyentes en la Inestabilidad de los Taludes. ....	10
Tabla 5. Variables de sismicidad, para obtener los componentes sísmicos Horizontales y Verticales. .....	17
Tabla 6. Coordenadas UTM: DATUM WGS - 84 de los límites de la carretera. ....	19
Tabla 7. Acceso a Tramo de Carretera en estudio.....	20
Tabla 8. Variables dependientes e independientes. ....	21
Tabla 9: Unidades Morfogenéticas establecidas según su pendiente. ....	28
Tabla 10. Estación N° 01 de datos geotécnicos del talud de la Formación Pariatambo.....	34
Tabla 11. Estación N° 02 de datos geotécnicos del talud de la Formación Chúlec. ....	39
Tabla 12. Estación N° 03 de datos geotécnicos del talud de la Formación Inca. ....	44
Tabla 13. Estación N° 04 de datos geotécnicos del talud de la Formación Inca. ....	49
Tabla 14. Estación N° 05 de datos geotécnicos del Talud de la Formación Farrat. ....	55
Tabla 15. Estación N° 06 de datos geotécnicos del talud de la Formación Farrat. ....	60
Tabla 16. Factores de Seguridad de las seis estaciones.....	67
Tabla 17. Zonificación del área de estudio según los factores de seguridad.....	67
Tabla 18. Clasificación Geomecánica de las estaciones analizadas.....	68

## ÍNDICE DE FOTOS

Pág.

Foto N° 1. Estratos pertenecientes a la Formación Farrat, y lechos de lutitas, con notable presencia de plegamiento por esfuerzos compresionales. Coordenadas: 9191786 – 779548. ....	23
Foto N° 2. Formación Inca, Lutitas fisibles Ferruginosas. Coordenadas: 9192580 – 778281.....	24
Foto N° 3. Calizas alteradas pertenecientes a la Formación Chúlec. Coordenadas: 9192783 – 778044. ....	25
Foto N° 4. Estratos de rocas calizas bituminosas pertenecientes a la Formación Pariatambo. Coordenadas: 9192948 – 778059.....	26
Foto N° 5. Falla Inversa, con relleno de brecha cataclástica, evidenciado en rocas areniscas de la formación Inca. Coordenadas: 9192594 – 778470.....	27
Foto N° 6. Planicie, ubicada al margen izquierdo del río Huacraruco. Coordenadas: 9191498 – 779250.....	28
Foto N° 7. Lomas en el margen derecho de la Quebrada las Bateas. Coordenadas: 9192621 - 778484.....	29
Foto N° 8. Ladera ubicada al margen Izquierdo de la Quebrada de Sarsa. Coordenadas: 9192000 - 779125.....	30
Foto N° 9. Escarpa formada al margen derecho del Río Huacraruco. Coordenadas: 9192278-779785. ....	30
Foto N° 10. Río Huacraruco. Coordenadas: 9191558 – 781580.....	33
Foto N° 11. NE – SW, Macizo rocoso perteneciente a la Estación N° 01.....	34
Foto N° 12. Estación N° 02, formada por rocas calizas nodulares de la Formación Chúlec. ....	39
Foto N° 13. Talud de estación N° 03, evidenciándose lutitas y areniscas calcáreas ferruginosas, altamente meteorizadas. ....	44
Foto N° 14. Talud de la estación N° 04, formada por macizos rocosos de areniscas. ....	49
Foto N° 15. Talud de la Estación N° 5, formada por areniscas de la Formación Farrat. ....	55
Foto N° 16. Talud de la Estación N° 6, conformada por Areniscas de la Formación Farrat. ....	60

## ABREVIATURAS

c	: Cohesión
D	: Factor de disturbación del macizo rocoso
DD	: Dip Direction (Dirección del Buzamiento)
DIP	: Buzamiento
FS	: Factor de seguridad
GSI	: Índice de Resistencia Geológica
GPS	: Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
Kh	: Amplificación Estratigráfica (Sismicidad)
Km	: Kilómetro
KN	: Kilo Newton
Kv	: Parámetro de zona (Sismicidad)
mi	: Parámetro de la roca intacta
mb	: Valor reducido de la constante del material mi
Qda.	: Quebrada
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
s	: Constante que depende de las propiedades del macizo rocoso
TT	: Tensiones Totales
TT + Sism.:	Tensiones Totales en condiciones de sismicidad
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS – 84	: World Geodetic System 1984
Z1	: Zona número 1

## RESUMEN

En los taludes de la carretera San Juan – Huacraruco, afloran rocas sedimentarias del cretácico, conformado por las Formaciones: Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo, evaluada en seis estaciones, donde se analizó el comportamiento geotécnico de los taludes, así como los factores detonantes, siendo la precipitación, sismicidad y factores geométricos del talud, los que afectan directamente la estabilidad.

Esta investigación comprende la evaluación geotécnica de los macizos rocosos que conforman los taludes, determinando las zonas críticas de la carretera, procesando la información en diversas etapas, desde el reconocimiento del área de estudio, búsqueda y recopilación de información bibliográfica, hasta el procesamiento y análisis de la data obtenida en campo, para luego mediante el softwares DIPS se realizó el análisis cinemático, en el software Rock Data se determinó los coeficientes que se utilizaron en el software Slide, del cual se obtuvo los Factores de Seguridad, entre 0.328 – 0.625 en valores determinísticos y en valores medios de 1.009 – 1.521 y en condiciones de sismicidad variando de 0.115 – 0.384; siendo resultado del análisis de inestabilidad sometida a condiciones de Tensiones Totales y condiciones de sismicidad, según los parámetros geomecánicos y geotécnicos.

**Palabras claves:** Precipitación, Sismicidad, Geometría del talud, Parámetros geomecánicos, Factor de Seguridad, Inestabilidad de taludes.

## ABSTRACT

On the slopes of the San Juan - Huacraruco highway, Cretaceous sedimentary rocks emerge, formed by the Farrat, Inca, Chúlec and Pariatambo Formations, evaluated in six stations, where the geotechnical behavior of the slopes was analyzed, as well as the detonating factors, being the precipitation, seismicity and geometric factors of the slope, those that directly affect the stability.

This investigation includes the geotechnical evaluation of the rock masses that make up the slopes, determining the critical areas of the road, processing information in various stages, from the recognition of the study area, search and collection of bibliographic information, to the processing and analysis of the data obtained in the field, then using the DIPS softwares, the kinematic analysis was performed, in the Rock Data software, the coefficients that were used in the Slide software were determined, from which the Safety Factors were obtained, between 0.328 - 0.625 in deterministic values and in average values of: 1,009 - 1,521 and in seismicity conditions varying from 0.115 – 0.384; being the result of the instability analysis subjected to conditions of Total Tensions and seismicity conditions, according to geomechanical and geotechnical parameters.

**Keywords:** Precipitation, Seismicity, Slope Geometry, Geomechanical Parameters, Safety Factor, Slope Instability.

## **CAPÍTULO I.**

### **INTRODUCCIÓN**

En el tramo de carretera San Juan-Huacraruco, que une los Distritos de San Juan-Asunción, y San Juan – Jesús, afloran macizos rocosos pertenecientes a las Formaciones Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo, los cuales presentan rocas calcáreas, areniscas y lutitas; asociadas al Tectonismo Regional y Local; evidenciándose por la presencia de discontinuidades como fracturas y fallas, afectando la calidad de roca y la inestabilidad de los taludes.

Los macizos rocosos debido a la meteorización, el fracturamiento y el factor detonante la infiltración de agua en tiempos de precipitaciones, dan lugar a condiciones geomecánicas inestables en los taludes de la carretera. Por ello se plantea la siguiente interrogante: ¿Qué influye en el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos de las Formaciones: Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo, para generar la inestabilidad de los taludes del tramo de carretera San Juan-Huacraruco comprendida entre los kilómetros 3+000 - 6+200, 2018?, donde podemos decir que el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, está asociado a la litología, morfología, discontinuidades y principalmente al factor detonante la precipitación, la cual afecta directamente a la calidad de la roca, provocando la inestabilidad geomecánica de los taludes.

Siendo la justificación de la tesis que la carretera San Juan-Huacraruco, es una vía de comunicación utilizada para el transporte de vehículos, peatones y sobre todo para realizar intercambio de productos de primera necesidad y ganado vacuno, es por ello su importancia, puesto que es una carretera generalmente de una sola vía, construida sobre rocas del cretácico inferior; las cuales se encuentran en condiciones inestables, debido a la falta de conservación de los taludes, presencia de discontinuidades y a la infiltración de agua que existe por tramos, afectando seriamente en la calidad del macizo rocoso, siendo de suma importancia realizar un estudio geomecánico de las rocas y su comportamiento, para determinar la estabilidad de las mismas.

Además, el alcance de esta investigación es del tipo no experimental-transversal o transeccional y descriptiva- correlacional.

Por lo tanto, la investigación se llevará a cabo en el tramo de carretera San Juan – Huacraruco entre los kilómetros antes indicados.

El objetivo principal de la investigación es determinar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos para definir la inestabilidad de los taludes críticos mediante el cálculo del Factor de Seguridad en el tramo de carretera San Juan – Huacraruco. Asimismo, cartografiar litología y estructuras, determinar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos y taludes, además de definir las zonas críticas por inestabilidad de deslizamientos y calcular los Factores de Seguridad de los taludes. La tesis comprende los siguientes capítulos:

Capítulo I. Presenta la Introducción de la Investigación, donde se da la ubicación a grandes rasgos de la zona de investigación, se formula el problema, la justificación, el alcance, y los objetivos principales y específicos.

Capítulo II: Se desarrolló la descripción de antecedentes y bases teóricas que serán fundamentales para la realización de la Investigación.

Capítulo III: Presenta la descripción de Materiales y Métodos, la cual incluye: la Ubicación de la Investigación, tanto Geográfica como Política, Accesibilidad, Clima, Vegetación, Hidrología y Geomorfología, Asimismo se describe: Procedimientos de investigación: Metodología a usar, definición de variables, Técnicas e Instrumentos y Equipos utilizados. Por último, se desarrolló el análisis de datos y presentación de resultados, abordando: Geología, Estratigrafía, Geología Estructural y Geotecnia.

Capítulo IV: En este capítulo presentamos la descripción y discusión de resultados, así como la contrastación de la Hipótesis, determinando así la veracidad de esta.

Capítulo V: En este último capítulo describimos las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

**Javier (2010).** Estudio realizado en la carretera Federal de Guadalajara – Saltillo, en el tramo km 17 + 200 al km 18 + 200, se analizó la inestabilidad de taludes para poder determinar las fuerzas que lo originan y así proponer un diseño de soporte artificial para dar seguridad al talud.

**Zavala & Rosado (2011).** “Boletín N° 44 – Riesgo Geológico en la Región de Cajamarca”, en el Ámbito Regional como parte de las cuencas medio – altas de la vertiente pacífica, donde se identifican las zonas con deslizamientos y otros eventos geodinámicos.

**Sáenz (2015).** Realizó la investigación en el tramo de Carretera El Gavilán – Chigden, el cual se centra en la evaluación Geotécnica de los taludes, donde analizó la relación de la inestabilidad de los taludes con factores asociados a: propiedades geomecánicas de las rocas, precipitación e infiltración, vibraciones causadas por tránsito vehicular, mediante descriptores geológicos y Geomecánicos/geotécnicos.

**Montoya (2014).** “Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán”, donde analiza la inestabilidad de los taludes de dicha carretera, teniendo en cuenta el contexto geológico local, regional y la estrecha relación que existe con los agentes geodinámicos.



## 2.2. BASES TEÓRICAS.

### 2.2.1. Métodos de clasificación Geomecánicas de los macizos rocosos

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. El término macizo rocoso está referido al conjunto de uno o varios tipos de rocas atravesados por planos de discontinuidad. Su caracterización requiere de conocimiento de los siguientes parámetros:

- Resistencia y comportamiento de la roca.
- Familias de discontinuidades existentes.
- Espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo.
- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades: continuidad, rugosidad, separación y resistencia, meteorización y relleno.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Tensiones in situ, naturales o inducidas.
- Alteraciones producidas por el macizo rocoso.

Las clasificaciones más utilizadas actualmente son la de Bieniawski 1989 (RMR). (Ramirez & Alejano) y el GSI (Geological Strength Index: Hoek y Marinos, 2000). Proporciona un sistema para estimar 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.

#### 2.2.1.1. RQD (Rock Quality Designation).

El parámetro RQD, fue propuesto por Deere donde se cuenta con testigos de sondeos o perforación, es así que para taludes se utiliza el método modificado por Priest y Hudson (1976), realizando la medición de discontinuidades en una superficie con la consideración que exista una longitud mínima de 10 cm:

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

donde:  $\lambda$ , es el número promedio de discontinuidades por metro.

Tabla 1. Representación del RQD y descripción de la calidad de la roca.

<i><b>RQD (Designación de la Calidad de la Roca)</b></i>	<i><b>Descripción de la calidad de la roca</b></i>
0 – 25%	Muy Pobre/ Muy mala
25 – 50%	Pobre / Mala
50 – 75%	Regular/ Media
75 – 90%	Bueno
90 – 100%	Muy bueno

Fuente: Deere (1989)

### **2.2.1.2. RMR (Rock Mass Rating).**

Propuesta por Bieniawski en 1976 para luego ser sintetizada y modificada en el año 1989 por el mismo autor, este Parámetro se utiliza para determinar la calidad del macizo rocoso, se divide en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, dentro de las cuales la estructura del macizo comprende el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas propias de una determinada región. La clasificación RMR se basa en las siguientes características geomecánicas del macizo rocoso:

- Resistencia de la roca intacta.
- Parámetro RQD. Grado de fracturamiento del macizo rocoso:
- Espaciado de las discontinuidades. su espaciado es la distancia media entre los planos de discontinuidad de cada familia.

Tabla 2. Clasificación del espaciado de las juntas.

<i><b>Descripción</b></i>	<i><b>Espaciado de las juntas</b></i>	<i><b>Tipo de Macizo Rcoso</b></i>
Muy ancho	<3 mm	Sólido
Ancho	1 – 3 mm	Masivo
Moderadamente	0.3 – 1 mm	En bloques
Cerrado	50 – 300 mm	Fracturado
Muy cerrado	>50 mm	Machacado

Fuente: Deere (1967)

- Condición de las discontinuidades. Para describir el estado de las juntas se utilizan los siguientes parámetros: Apertura de la discontinuidad, continuidad (dimensión) de la junta según rumbo y buzamiento, rugosidad de la discontinuidad.
- Relleno de las juntas.
- Condiciones hidrogeológicas: En un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene mucha influencia en su comportamiento, debiendo estimarse el flujo de agua en Litros/min, cada 10 m.
- Orientación de las discontinuidades con respecto al corte o talud.

Tabla 3. Parámetros de clasificación RMR 1989.

Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)								
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual Compresión simple	>10 >250	10 - 4 250 - 100	4 - 2 100 - 50	2 - 1 50 - 25	Compresión simple (MPa) 25-5 5-1 <1	
	<i>Puntuación</i>		15	12	7	4	2 1 0	
	2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
<i>Puntuación</i>		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		
	<i>Puntuación</i>		20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m	
		<i>Puntuación</i>		6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
		<i>Puntuación</i>		6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		<i>Puntuación</i>		6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
		<i>Puntuación</i>		6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
	<i>Puntuación</i>		6	5	3	1	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 de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
		<i>Puntuación</i>		15	10	7	4	0

Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2004, pág. 232).

### 2.2.1.3. Clasificación GSI (Geological Strength Index).

Es un índice de calidad de macizos rocosos que se fundamenta en una cuidadosa observación del macizo rocoso, primordialmente cualitativa, teniéndose en cuenta características como: litología, estructura y condición de las superficies de discontinuidad tanto de afloramiento como en cortes de excavación, es así donde considera dos aspectos fundamentales: el grado y tipo de fragmentación y las condiciones de las superficies de continuidad. ( Lillo & Oyarzun, 2013).

Mientras la clasificación RMR es aplicable a los macizos donde la estabilidad está condicionada por la presencia de estructuras, la utilización de la clasificación GSI parece más adecuada cuando se trata de masas de roca muy debilitadas, poco resistentes, donde la estabilidad está controlada sobre todo por la resistencia de la matriz rocosa. (Gonzales de Vallejo, 2004).

Notas sobre las condiciones de las discontinuidades.

- Muy buena: superficie muy rugosas y sanas
- Buena: superficie rugosa, ligeramente meteorizada y teñida de óxidos.
- Media: superficies lisas y moderadamente meteorizadas y alteradas.
- Mala: superficie con espejos de falla y altamente meteorizada, con relleno de fragmentos angulares o con recubrimiento compacto.
- Muy mala: superficie con espejo de falla altamente meteorizada con recubrimiento o rellenos de arcilla blandas.

No se recomienda utilizar la correlación que se presenta a continuación en macizos débiles y heterogéneos; con  $GSI < 35$ . (Marinos et al.,2005). En los macizos rocos de mejor calidad el GSI se puede estimar directamente a partir de la versión de 1976 del RMR, pero valorando con un 10 (macizo rocoso seco) el parámetro correspondiente al agua y con cero el que recoge el efecto de la orientación de las discontinuidades (orientación muy favorable), para la versión de RMR de 1989 de Bieniawski:

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

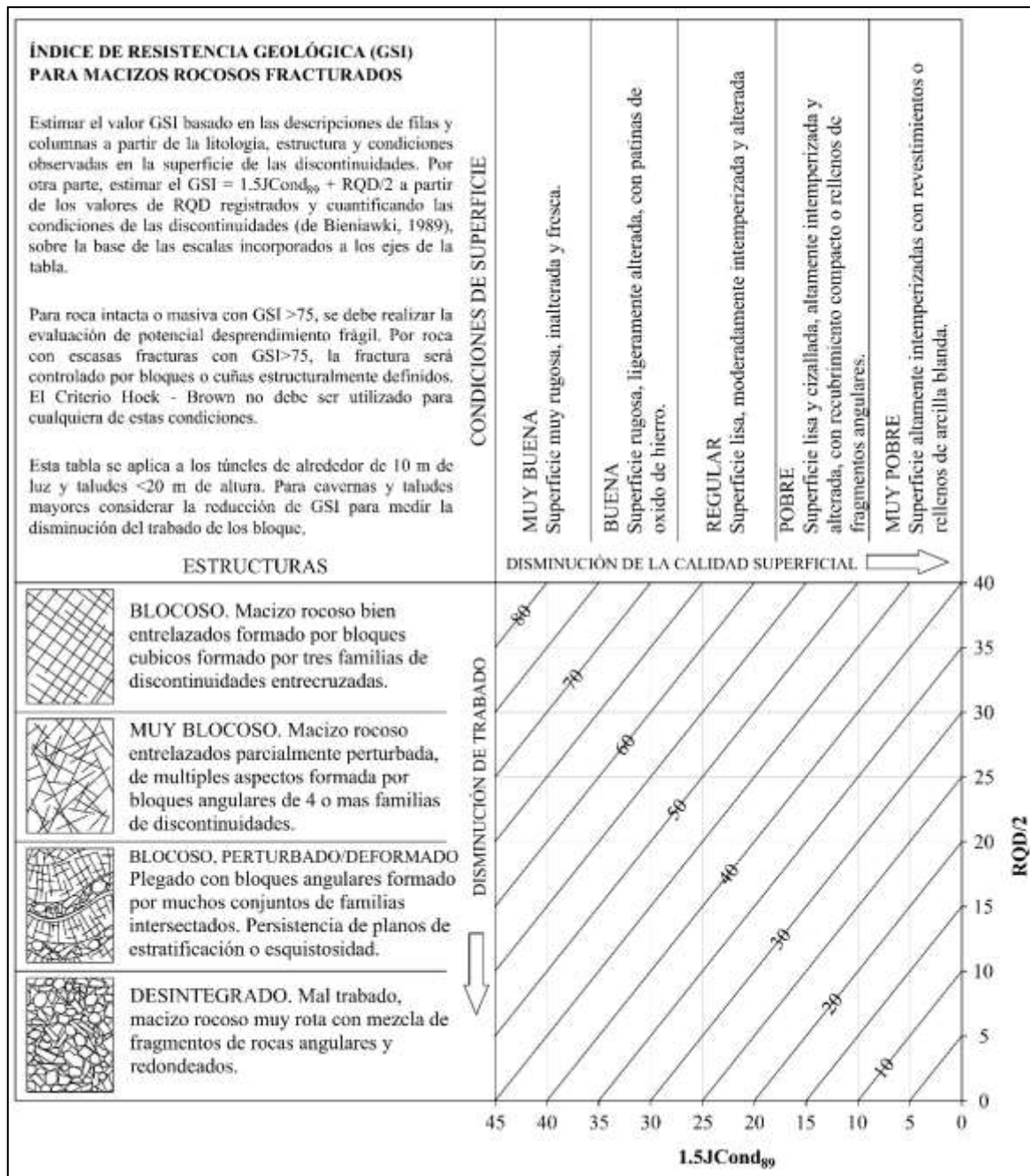


Figura 1. Índice de resistencia Geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados. (Gonzales de Vallejo, 2004).

## 2.2.2. ANÁLISIS DE TALUDES

El estudio de las inestabilidades de taludes no puede realizarse a nivel general, sino talud por talud, ya que las inestabilidades suelen ir asociadas a la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones determinadas. La estabilidad de taludes suele estar muy condicionada por la presencia de agua, que en muchos casos es el factor determinante, ya

que los coeficientes de seguridad suelen ser muy diferentes para un talud excavado en un macizo rocoso totalmente seco o totalmente saturado (Ramirez & Alejano).

Hoek y Brown, (1980). Criterio de rotura de macizos rocosos, para determinar la resistencia del macizo rocoso, teniendo en cuenta: tamaño de la muestra, influencia del agua, propiedades de la roca intacta, índice geológico de resistencia y módulo de deformación de Hoek-Brown (2002). Proponiendo Hoek-BRAY (2008) el Índice Geológico de Resistencia GSI (Geological Strength Index), que evalúa la calidad del macizo, en función del grado y las características de las discontinuidades (Hoek Wood y Shah, 1992).

Los análisis de estabilidad permiten diseñar los taludes mediante el cálculo de su Factor de Seguridad, y definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadoras que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales. Es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen condicionan y desencadenan las inestabilidades (Gonzales de Vallejo, 2004).

Como norma general, cada proyecto de excavación debe ser analizado teniendo en cuenta:

- Las dimensiones previstas (profundidad y longitud de los taludes)
- La posición del nivel freático y condiciones hidrogeológicas.
- La litología y estructura geológica.
- Los requisitos del proyecto (taludes a largo o corto plazo, condiciones geométricas. (Gonzales de Vallejo, 2004).

**Factores influyentes en la estabilidad.** Los factores que determinan la estabilidad son: factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad) (Gonzales de Vallejo, 2004).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos. Los Factores Geológicos, Hidrológicos y Geotécnicos se consideran factores

condicionantes y son intrínsecos a los materiales naturales. En los suelos, la litología, estratigrafía y las condiciones hidrológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de macizo rocosos competentes el principal factor condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidades y el grado de fracturación, en materiales blandos y el grado de alteración juegan también un papel predominante (Gonzales de Vallejo, 2004).

Tabla 4. Factores Influyentes en la Inestabilidad de los Taludes.

Factores Condicionantes	Factores Desencadenantes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estratigrafía y litología</li> <li>- Estructura geológica</li> <li>- Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los macizos rocosos.</li> <li>- Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.</li> <li>- Tensiones naturales y estado tenso – deformacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobrecarga estática.</li> <li>- Cargas dinámicas</li> <li>- Cambios en las condiciones hidrogeológicas.</li> <li>- Factores climáticos</li> <li>- Variaciones en la geometría</li> <li>- Reducción de parámetros resistentes.</li> </ul>

Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2004).

## TALUDES EN ROCAS.

Los diferentes tipos de roturas condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura.

**Rotura plana.** Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, una junta tectónica, una falla, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad, y su buzamiento debe ser mayor que su ángulo (Gonzales de Vallejo, 2004).

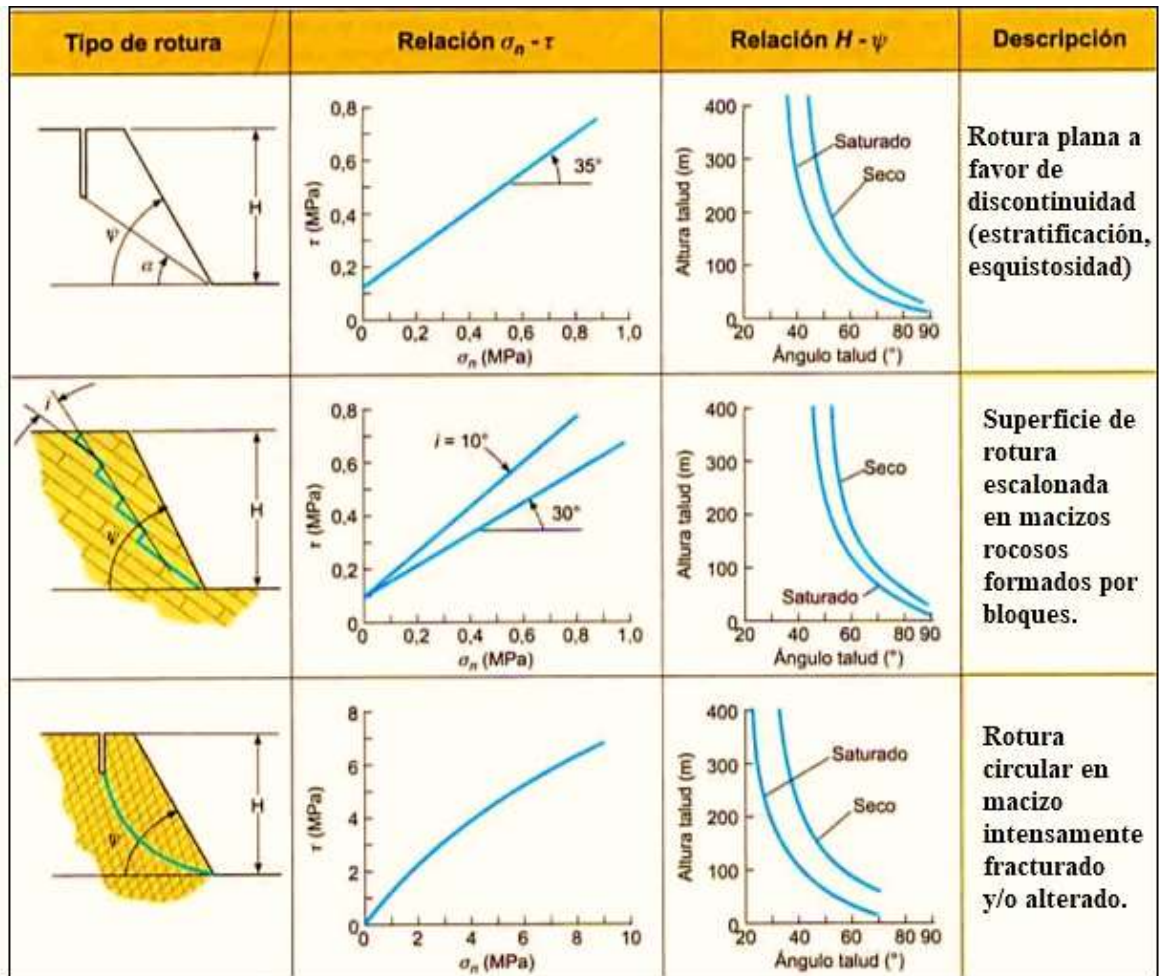


Figura 2. Tipos de rotura en taludes rocosos, curva de resistencia para el macizo y relaciones entre inclinación y altura del talud. (Gonzales de Vallejo, 2004).

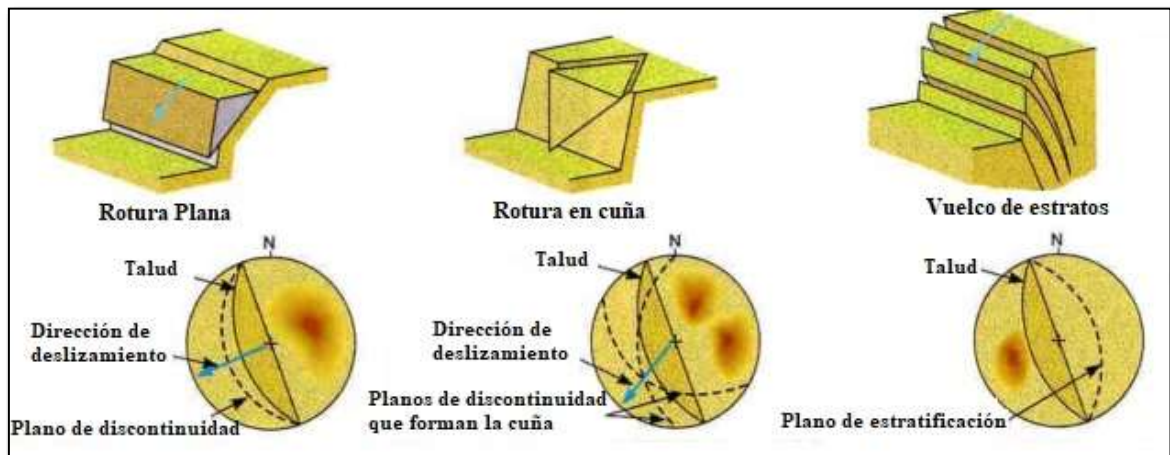


Figura 3. Representación estereográfica de los planos de discontinuidades con respecto a la orientación del talud para tipos de roturas en macizos rocosos. (Gonzales de Vallejo, 2004).



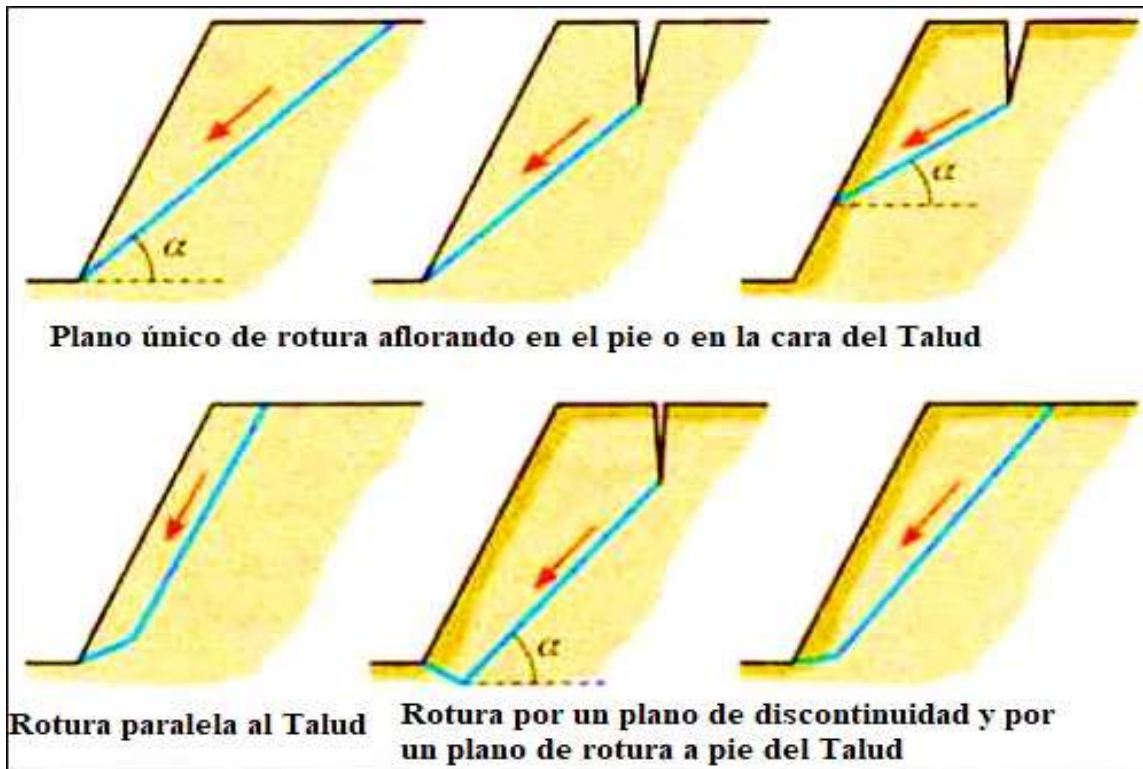


Figura 4. Roturas planas en los bancos de un talud a favor de las superficies de estratificación. (Gonzales de Vallejo, 2004).

**Rotura en cuña.** Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección, para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana; este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determina la forma y el volumen de la cuña (Gonzales de Vallejo, 2004).

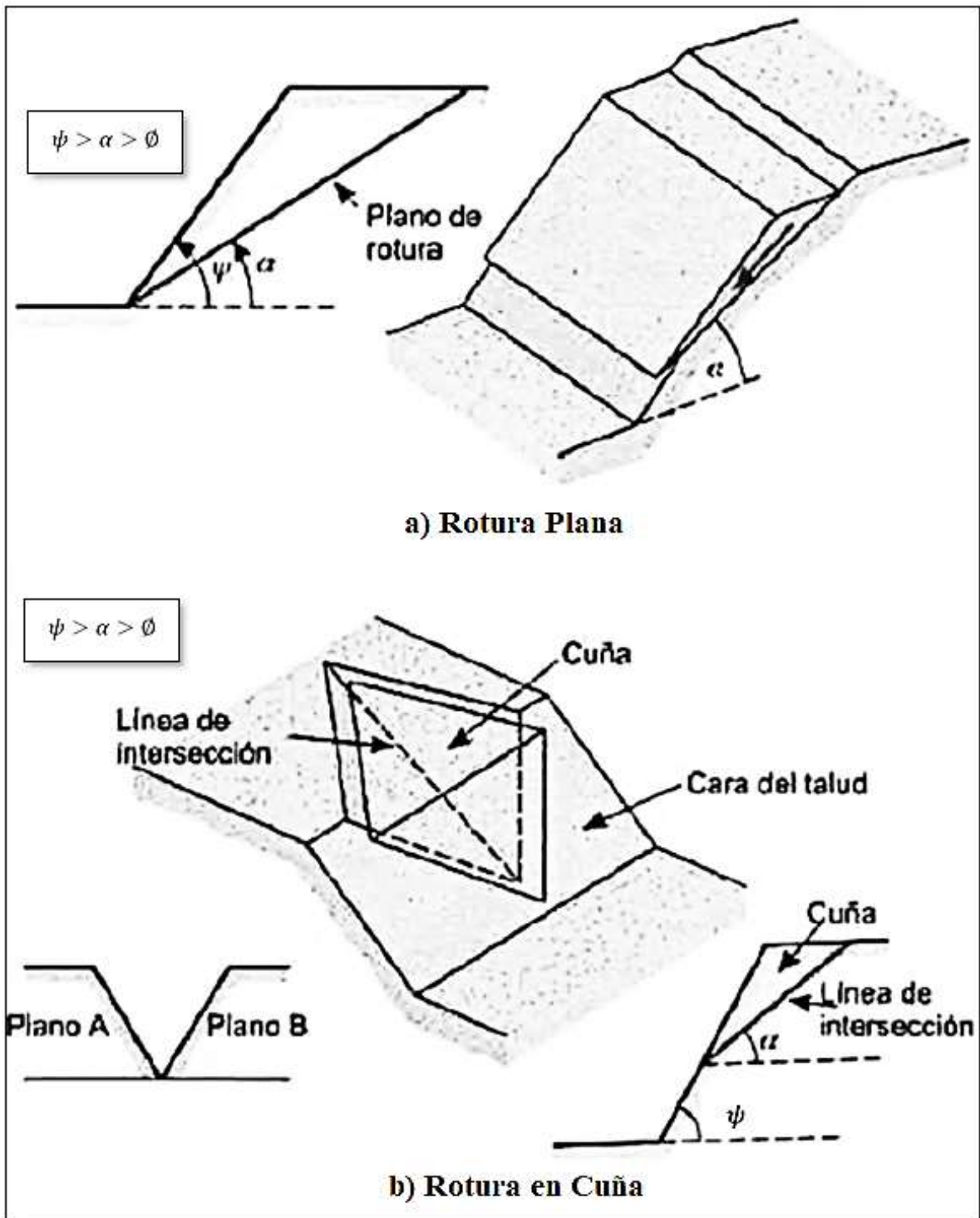


Figura 5. Condiciones para rotura plana y rotura en cuña. (Gonzales de Vallejo, 2004).

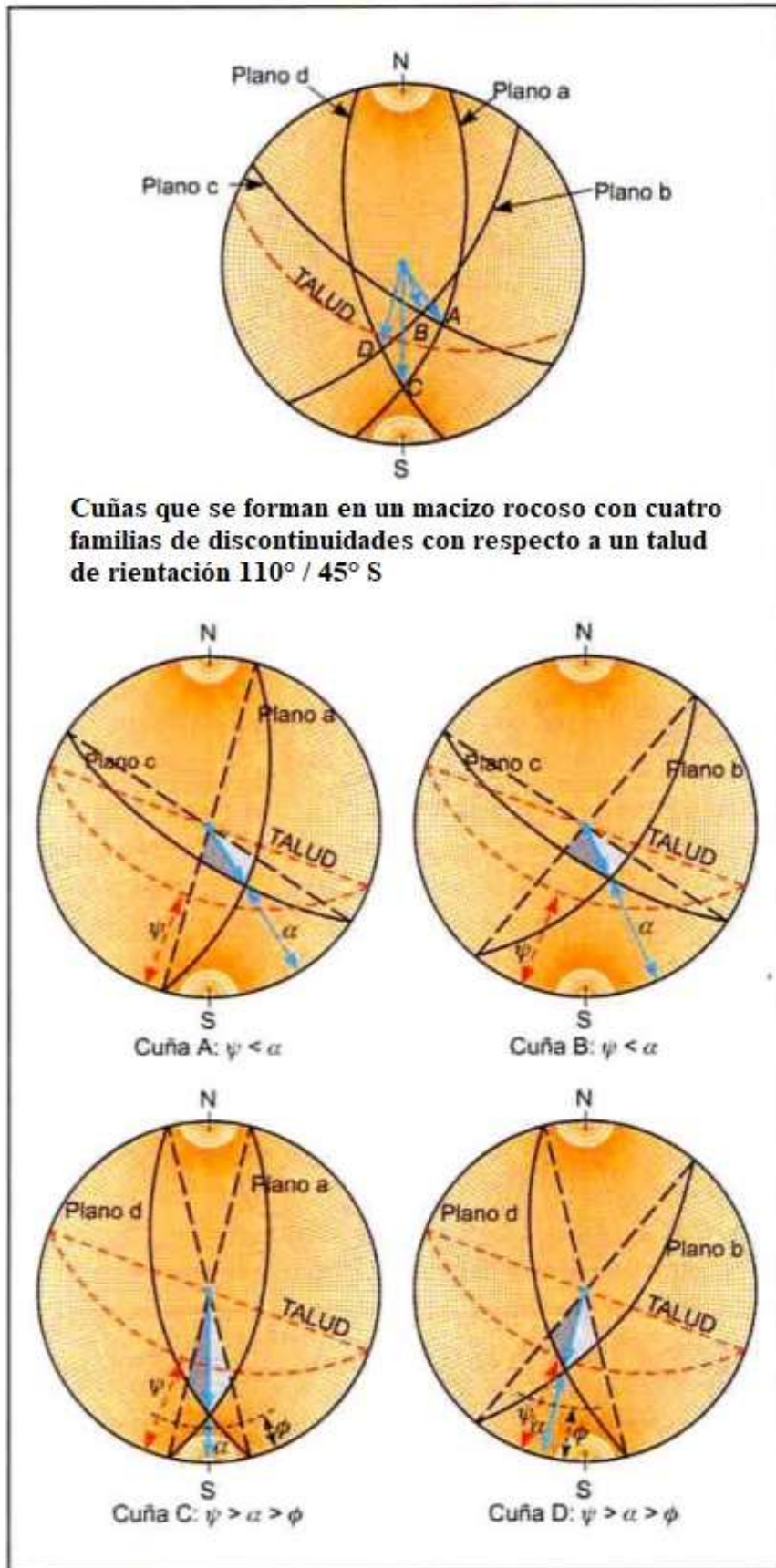


Figura 6. Representación estereográfica de cuñas. las cuñas A y B no tienen posibilidad de deslizarse por no cumplir con la condición, las cuñas C y D presentan condiciones de deslizamiento. es así como la comparación de los ángulos de inclinación del talud, de inclinación del talud, de los planos de cuña y de la fricción de los planos permite determinar si la cuña es estable o inestable. (Gonzales de Vallejo, 2004).

## **Factor de Seguridad (F. S)**

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \text{Resistencia al cortante disponible} / \text{esfuerzo al cortante actuante}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S.=\text{Momento resistente disponible} / \text{Momento actuante}$$

Existen, además, otros sistemas para plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud, métodos probabilísticos, así como tablas empíricas locales basadas en el comportamiento típico de los taludes. (Suarez, 2009)

Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1.5, e incluso 2.0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en los cálculos; para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1.3, pero en ocasiones pueden adoptarse valores inferiores.

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0 (Suarez, 1998).

### **2.2.3. SISMICIDAD.**

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y gran poder, las cuales viajan a través de las rocas (Suarez, 2009).

La fuente del movimiento o zona de liberación de energía no es generalmente un punto, sino una línea o un área comúnmente alargada en la dirección de la falla. La profundidad del foco o hipocentro determina en buena parte, la magnitud del sismo y sus efectos. Los sismos que generalmente producen un mayor daño son los sismos relativamente superficiales. (Suarez, 2009).

Tenemos zonas sísmicas definidas por el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2016), donde considera que el territorio nacional está dividido en cuatro zonas sísmicas, basándose dicha zonificación en: la zonificación espacial de la sismicidad observada, las características generales de movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información geotectónica.

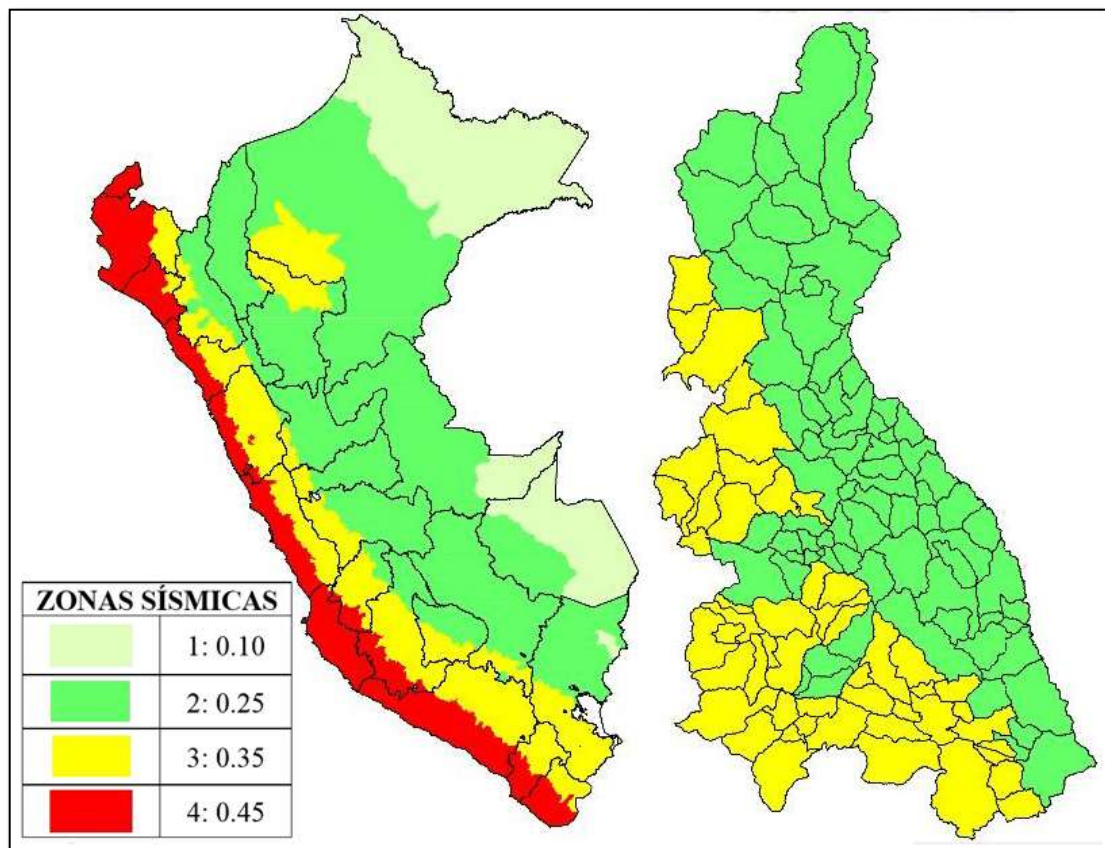


Figura 7. Zonas sísmicas en el Perú y Cajamarca. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2016).

### ***Análisis de Sismicidad.***

Para el análisis de sismicidad necesitamos las componentes de sismicidad:

Kh y Kv, que se obtienen de la siguiente tabla.



Tabla 5. Variables de sismicidad, para obtener los componentes sísmicos Horizontales y Verticales.

a: Zonas sísmicas del Perú	b: Coeficiente de amplificación topográfica	c: Categoría del perfil estratigráfico
1= 0.10 2= 0.25 3= 0.35 4= 0.45	<b>1:</b> Laderas y taludes con pendientes menores a 15°. <b>1.2:</b> Laderas y taludes aislados con pendientes mayores a 15°. <b>1.4:</b> Taludes y laderas con pendiente menor que de base, con pendientes mayores a 30°	<b>0: S1</b> (Depósitos con niveles de más de 10m de arcillas/limos blandos con un índice de plasticidad alto (IP>40) y alto contenido de agua. <b>S2</b> (Depósitos de suelos licuefactables, arcillas sensibles) <b>1: A</b> (Roca u otra formación geológica similar a roca, incluyendo como máximo 5 m de material más débil en superficie) <b>1.25: B</b> (Depósitos de arena muy densa, gravas, o arcilla muy dura, de decenas de metros de espesor caracterizado por un incremento de las propiedades mecánicas en profundidad). <b>C</b> (Depósitos de arena densa o media, grava o arcilla dura con un espesor de unas decenas hasta centenares de metros). <b>E</b> (Un perfil de suelo formado por una capa aluvial superficial. <b>1.35: D</b> (Depósitos de suelo suelto de cohesión media a no cohesivo, con o sin capas de débil cohesión, o de ligera a gran cohesión predominantemente).

Fuente: LoadCap, 2014

Así los factores sísmicos se definen como:

- Amplificación estratigráfica:

$$Kh = (a \times b \times c)/2$$

- Parámetros de zona:

$$Kv = (a \times b \times c)/4$$

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

**Talud:** Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Suarez, 2009).

**Precipitación:** Caída de agua de la atmósfera por el cambio de temperatura, en forma de lluvia, nieve o granizo (Dávila, 2011).

**Factor de seguridad.** Es igual a sumatoria de momentos resistente disponibles sobre sumatoria de momentos actuantes, es decir, se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla (Suarez, 2009).

**Superficie de falla.** Se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o rotura del talud (Suarez, 2009).

**Discontinuidad.** Son superficies de debilidad que imparten a la roca la condición de anisotropía de resistencia de resistencia, es decir diaclasas, fallas, foliaciones y estratificación, teniendo en cuenta que la resistencia al cizallamiento en estas superficies es menor que la resistencia de la roca intacta que constituye el macizo. (Salcedo, 1988).

**Matriz rocosa.** Masa de minerales finos, dentro de la cual sobresalen minerales desarrollados. (Dávila, 2011).

**Macizo rocoso.** Es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. La presencia de discontinuidades de discontinuidades de diversos tipos confiere al macizo rocoso un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad y condiciona su comportamiento geomecánico e hidráulico. (Férrer y Vallejo, 1999).

**Pendiente / grado de inclinación:** Es la medida de inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/l, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: pendiente de 45°, 100% o 1H: 1V. (Suarez, 1998).

**Litología.** Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. (Dávila, 2011).

**Sismos:** Movimiento súbito de la corteza terrestre debido a desplazamiento de los bloques o placas tectónicas, puede ser ocasionado entre otras causas por desplazamientos de masas rocosas. (Dávila, 2011).

**Inestabilidad.** Cuando al introducir un cambio en el estado tensional del terreno, debido a la construcción de una obra, sucede la rotura, lo cual ocurrirá si los esfuerzos resultantes exceden a la que puede soportar el terreno. (Anónimo).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN.**

Políticamente se encuentra ubicado en el Distrito de San Juan, Provincia y departamento de Cajamarca.

Geográficamente el Tramo de la Carretera San Juan – Huacraruco, se encuentra en la cordillera Occidental de los Andes del Norte del Perú, comprende los cuadrángulos de Cajamarca y San Marcos; con Coordenadas UTM: DATUM WGS - 84, ZONA – 17S, en la carta 15g.

Tabla 6. Coordenadas UTM: DATUM WGS - 84 de los límites de la carretera.

<b>Vértices</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
<b>Punto inicial (Km 3+000)</b>	778057	9193040
<b>Punto final (Km 6+200)</b>	780010	9191724

#### **3.2. ACCESIBILIDAD**

La carretera San Juan – Huacraruco, está ubicada a 3 km de la ciudad de San Juan, siendo necesario ir de Cajamarca a San Juan en movilidad, teniendo como acceso principal a la zona de investigación la carretera tipo Trocha, en malas condiciones físicas y mecánicas, debido a ello se estima un tiempo aproximado de 20 minutos desde San Juan a Huacraruco.



Tabla 7. Acceso a Tramo de Carretera en estudio.

<b>Ruta Terrestre</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Estado de carretera</b>
<i>Cajamarca – San Juan</i>	40	35 - 40	Asfaltada	Buena / en constante mantenimiento
<i>San Juan - Huacraruco</i>	6	20	Trocha	Por mantenimiento

### **3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN**

La Carretera San Juan – Huacraruco, según SENAMHI tiene un clima de templado a frío, las temperaturas promedio mínima varía de 8.2 °C a 14.2 °C y las máximas varían de 21.2°C a 30.6 °C (en base al mes de septiembre del 2018), presentando una variación en cuanto a la temperatura mínima varía entre 3°C y 8°C en las partes más altas, presentado un enfriamiento durante las noches y por consecuencia aumentan las heladas. (SENAMHI, 2018).

En cuanto a la vegetación perteneciente a la Región Quechua se observó pastizales, pencas llamadas Tuyos, zarzas y plantas bajas de eucaliptos.

### **3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **3.4.1. Tipo y método de la Investigación.**

Tipo: Descriptivo - Analítico - Transversal.

Método de investigación: Inductivo – Analítico y Explicativo.

#### **3.4.2 Población de estudio.**

Taludes en el Tramo de la carretera San Juan-Huacraruco entre los kilómetros 3+000 - 6+200.

#### **3.4.3 Muestra.**

Taludes inestables.

### 3.4.4 Unidad de análisis.

Litología, discontinuidades, resistencia del macizo rocoso, precipitación, Taludes, en la carretera San Juan – Huacraruco.

### 3.4.5 Definición de variables.

Tabla 8. Variables dependientes e independientes.

<b>Variables Dependientes</b>	<b>Variables Independientes</b>
- Inestabilidad de talud.	- Factor de Seguridad (resistencia del talud).
- Deslizamientos	- Precipitación e infiltración y condiciones geodinámicas externas.

## 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

### 3.6.1 Técnicas.

La recolección de datos se realizará usando:

- Una técnica de análisis documental mediante observación directa: propiedades del talud y actividad de este.
- Recolección de data en campo usando fichas geotécnicas, donde se mide: dimensiones del talud, información del macizo rocoso, discontinuidades, DIP y DD.
- Fotografías de campo.

### 3.6.2 Instrumentos y Equipos.

La toma de datos se realiza con los siguientes instrumentos y equipos:

- GPS Garmin 64 S Map: Usado para la ubicación de puntos de toma de data en la zona de trabajo.
- Brújula Brunton Azimutal: Con la cual se mide los Dip, Dip Direction y Azimut.
- Picota geológica Estwing: Para poder medir la resistencia a los golpes de las rocas.
- Wincha (50m) y Flexómetro (5m): Para medir las estaciones.
- Lupa 20x -10x: Para observar y medir la granulometría de las rocas.
- Lápiz de dureza (Rayador). Para evaluar la dureza de las rocas.
- Plano: Topográficos y Geológico: Sirve para tener una buena ubicación.

- Cámara fotográfica Digital Sony DSC-WX80: Para las evidencias fotográficas que nos servirán para la presentación de la tesis.
- Laptop Hp Pavilion 6: Para la elaboración del informe y planos de tesis.
- Libreta de campo Rite in the Rain: Para la toma de datos en campo.

### **3.6. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.**

El análisis e interpretación de datos se realizó en gabinete, depurando data y procesando la misma, habiéndose obtenido en campo, mediante mediciones y observación dirigida, donde se recopiló información de los macizos rocosos utilizando la matriz geológica – geotécnica, la cual contiene datos específicos como: DIP, DD, además de las mediciones de data de GPS, y Propiedades de las discontinuidades y mediciones de talud, esto se realizó usando el método de Bieniawski (1989). La información recopilada, fue procesada para su posterior análisis en los Softwares: Arc Gis 10.5, AutoCAD 2016, Slide v7.0, Dips v6.0, y Roc Data v5.0. Determinando así el comportamiento geotécnico de los taludes, demostrando la veracidad de la información obtenida en campo, procesada y corroborada en gabinete. Para el control de data se usó instrumentos previamente calibrados, como brújula y GPS, tratando de minimizar errores.

### **3.7. GEOLOGÍA LOCAL.**

En el Tramo de carretera de San Juan – Huacraruco del km 3 + 000 al km 6 +200, afloran cuatro Formaciones: Farrat perteneciente al Grupo Goyllarisquizga, además de las Formaciones: Inca, Chúlec y Pariatambo; de la era Mesozoica, periodo del Cretácico inferior; encontrándose estas formaciones entre las edades del Aptiano al Albiano, siendo la formación Farrat el piso estratigráfico de la zona de investigación, conformadas por rocas sedimentarias: Calizas, areniscas, lutitas y margas.

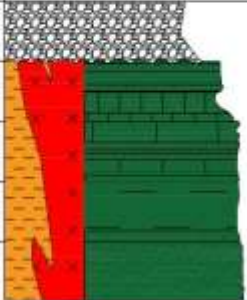
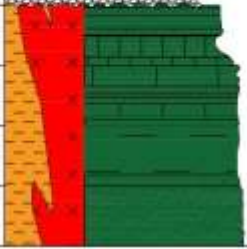
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA					
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA		LITOLOGIA
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos fluviales y aluviales		
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Grupo Crisnejas	Formación Pariatambo	
				Formación Chúlec	
			Formación Inca		
			Grupo Goyllarisquizga	Formación Farrat	

Figura 8. Columna Estratigráfica del tramo de Carretera San Juan – Huacraruco.

A continuación, se describe cada una de las Formaciones estudiadas:

### 3.7.1. Formación Farrat.

Litológicamente está compuesta por estratos de Areniscas cuarzosas de 65 cm con intercalación de grano, de medio a grueso y horizontes de lutitas arenáceas de 6 cm.

Por sus características litológicas según Reyes, 1980, es común encontrar a la Formación Farrat conformando escarpas y altas cumbres. La Formación Farrat pertenece a la edad del Aptiano.



Foto N° 1. Estratos pertenecientes a la Formación Farrat, y lechos de lutitas, con notable presencia de plegamiento por esfuerzos compresionales. Coordenadas: 9191786 – 779548.

### 3.7.2. Formación Inca.

Litológicamente formada por la intercalación de areniscas cuarzosa, limolitas y lutitas ferruginosas fisibles, y horizontes de lutitas grises deleznales; dando en superficie un matiz amarillento – anaranjado como se muestra en la Foto N°3. En el Boletín N° 31 del Ingemmet, Tafur (1950) designa a esta Formación llamándola “Capas Rojas” del Barremiano, para luego ser definida por Benavides (1956) como Formación Inca, quien estableció que dicha Formación pertenecía a la edad del Albiano.



Foto N° 2. Formación Inca, Lutitas fisibles Ferruginosas. Coordenadas: 9192580 – 778281.

### 3.7.3. Formación Chúlec.

Compuesta litológicamente por calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, evidenciándose estructuras nodulares, las mismas que por el intemperismo muestran color amarillento, con pátinas negras producto de la oxidación, confundiéndose a simple vista con la Formación Pariatambo.



En campo se pudo observar a esta formación con patinas de óxidos, producto de la meteorización, es así que MC LAUGHLIN (1925), descrito en el Boletín N°31 del Ingemmet, determina que esta formación al igual que en los andes centrales, se extiende en la zona Norte del Perú suprayaciendo concordantemente a la Formación Inca e infrayaciendo en la misma relación a la Formación Pariatambo. Es así que los sedimentos calcáreos de esta Formación pertenecen al Albiano Medio.



Foto N° 3. Calizas alteradas pertenecientes a la Formación Chulec. Coordenadas: 9192783 – 778044.

#### **3.7.4. Formación Pariatambo.**

Esta unidad fue estudiada en el Boletín N°55 del INGEMMET, donde determinaron que pertenece al Albiano superior, debido a que esta formación está representada por amonites, bivalvos y crinoides de esta edad.

Es así que, según la litología observada en campo, está formada por la alternancia de lutitas grises de estratificación delgada, con lechos de calizas bituminosas, con predominante zona

de óxidos, siendo diferenciada de la Formación Chúlec por presentar estratos calcáreos con nódulos silíceos, los cuales al someterlos a fracturamiento emanan un olor fétido.



Foto N° 4. Estratos de rocas calizas bituminosas pertenecientes a la Formación Pariatambo. Coordenadas: 9192948 – 778059.

### **3.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.**

Las rocas que afloran en el área de estudio del Km 3 +000 al Km 6 +200 de la carretera San Juan - Huacraruco, se encuentran afectadas por procesos de deformación tectónica regional, además de micro plegamientos y plegamientos generado por esfuerzos compresionales, y fallamiento en la formación Inca, de la estación N°4, donde la falla tiene una dirección de NE – SW, cortando a los estratos y a las dos familias de Diaclasas, afectando así en la resistencia de las rocas que conforman estos macizos.

Las estaciones están constituidas por dos o tres familias de Diaclasas, las cuales generalmente al ser analizadas en el software DIPS, cortan a los estratos, formando intersecciones críticas, con ángulos de fricción que van de 50 – 60°, generando derribo directo, deslizamientos planares y deslizamiento en cuña, generando así una zona de mayor inestabilidad.





Foto N° 5. Falla Inversa, con relleno de brecha cataclástica, evidenciado en rocas areniscas de la formación Inca. Coordenadas: 9192594 – 778470.

### **3.9. UNIDADES MORFOGENÉTICAS.**

Las unidades morfogénicas se determinaron en base a la clasificación de pendientes según su ángulo, realizándolo topográficamente mediante las altitudes máximas y mínimas, que oscilan entre: 2200 y 3000 m.s.n.m., siendo procesado en el Software ArcGIS 10.5, obteniendo los resultados presentados mediante la siguiente tabla:



Tabla 9: Unidades Morfogenéticas establecidas según su pendiente.

UNIDADES MORFOGENÉTICAS	
Pendiente	Tipo de Unidad
0° - 8°	Planicie
8° - 20°	Lomada
20° - 50°	Ladera
50° - 90°	Escarpas

Fuente: Rodríguez, R. (2016).

### 3.9.1. Planicies (0° - 8°).

Observado en un tramo corto de carretera, ubicado al margen Izquierdo del Río Huacraruco, ya que la mayoría presentan un relieve con pendientes más elevadas, consta de paisajes con pendiente muy bajas, oscilando entre los 7°, semi horizontales, siendo utilizados para cultivos de gramíneas y pastizales; y sobre todo ganadería.



Foto N° 6. Planicie, ubicada al margen izquierdo del río Huacraruco. Coordenadas: 9191498 – 779250.

### 3.9.2. Lomadas (8° - 20°).

Terreno de superficie heterogénea, con pendientes de bajo ángulo, en la zona de investigación aprovechada para pastoreo y establecimiento de ganado vacuno bravo, que sirven para distribución a diferentes distritos y provincias taurinas, tales como: San Juan, Jesús, Celendín y Chota.



Foto N° 7. Lomadas en el margen derecho de la Quebrada las Bateas. Coordenadas: 9192621 -778484.

### 3.9.3. Laderas (25° - 50°).

De mayor predominancia en el área de investigación, relieves con una inclinación más elevada que los anteriores, se caracteriza por constar de una zona de forestación de plantas de eucalipto, este tipo de geofoma sobresale en el área de estudio, siendo la generadora de zonas críticas.





Foto N° 8. Ladera ubicada al margen Izquierdo de la Quebrada de Sarsa. Coordenadas: 9192000 -779125

#### 3.9.4. Escarpas (50° - +).

De menor predominancia, este tipo de geoforma presenta una elevada pendiente, dando lugares a zonas críticas, esto debido a los agentes erosivos e hidrodinámicos los cuales socaban las rocas, perjudicando la resistencia y estabilidad de los macizos rocosos, debido que se presenta en un punto, a escala usada en el plano de unidades morfogénéticas no es notoria.



Foto N° 9. Escarpa formada al margen derecho del Río Huacraruco. Coordenadas: 9192278-779785.

### **3.10. HIDROLOGÍA.**

La hidrología, se realizó mediante la cuenca denominada Jequetepeque, localizada en la cordillera occidental de los Andes Peruanos, presentándose bien drenada y con bifurcaciones, para determinar el tipo de drenaje que presenta, siendo dendrítico, la subcuenca de forma alargada oval. La hidrología en el área está determinada por la presencia de quebradas y ríos, tomándose el drenaje en nuestra área de investigación a partir de la Quebrada Las Bateas y la Quebrada de Sarsa, a través de las cuales, se genera una bifurcación hacia el margen izquierdo el Río Huacraruco y a la derecha el Río Pacachal, estos son los principales alimentadores hídricos para la realización tanto de actividades domésticas, como agrícolas y sobre todo ganaderas de la zona. La subcuenca presenta:

- Área: 138.708534 km<sup>2</sup>
- Perímetro: 59.762144 km.

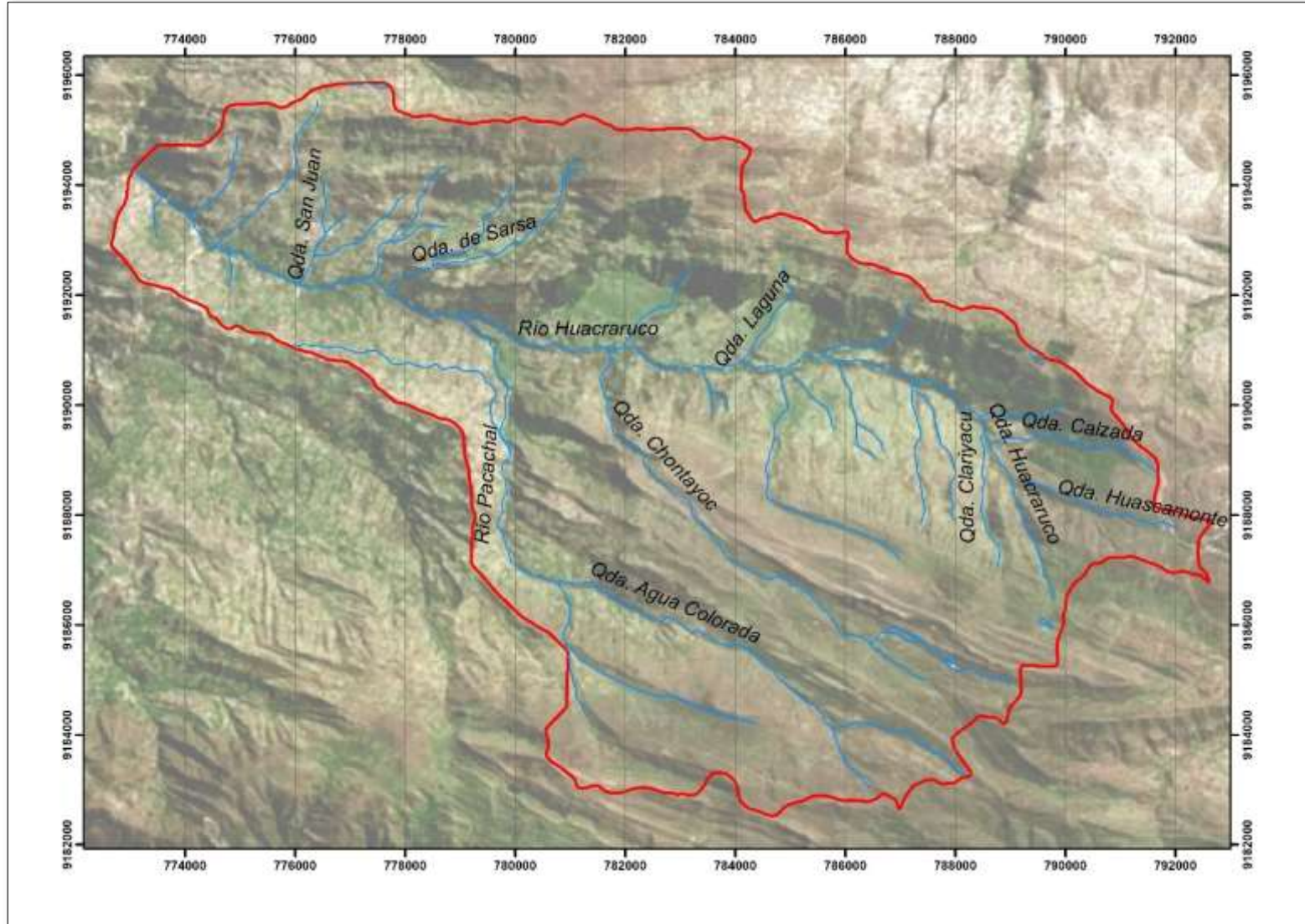


Figura 9. Subcuenca hidrográfica de San Juan, mostrando un drenaje dendrítico.





Foto N° 10. Río Huacraruco. Coordenadas: 9191558 – 781580.

### **3.11. ESTUDIO GEOTÉCNICO.**

El estudio Geotécnico se realizó con data recolectada en campo, mediante seis estaciones, para luego ser procesada y analizada en gabinete, las cuales abarcan tramos de la carretera San Juan – Huacraruco desde el km 3 + 000 al km 6 + 200; todas ubicadas al margen Izquierdo de dicha carretera, ubicando las estaciones por zonas críticas en rocas, para lo cual se usó el método de Hoek & Brown generalizado, usando datos básicos del talud, realizando secciones transversales en campo para luego ser digitalizadas mediante AutoCAD, mediciones de DIP y DD en estratos, diaclasas y Fallas encontradas y data obtenida con el formato geotécnico \_ geomecánico usado en campo; además de cálculos de RMR, RQD Y GSI, con lo cual se halló el Factor de Seguridad mediante el análisis de estabilidad con el software Slide v7.0; determinándose así la inestabilidad de las estaciones del tramo estudiado.

### 3.11.1. ESTACIÓN 01.

El talud se encuentra constituido por rocas pertenecientes a la Formación Pariatambo, inestable en épocas de lluvia, ya que se produce caída de rocas, dificultando el libre tránsito por dicho tramo.



Foto N° 11. NE – SW, Macizo rocoso perteneciente a la Estación N° 01.

Tabla 10. Estación N° 01 de datos geotécnicos del talud de la Formación Pariatambo.

Geometría del Talud N° 01- (Fm. Pariatambo).		DATOS GEOMECAÑICOS – GEOTÉCNICOS				
Altura(m)	6.00	RMR		RQD		GSI
Pendiente del Talud	89°	Valoración	Clase / Calidad	Valoración ( $\lambda=8$ )	Tipo	Valoración
Dirección del Talud	N150°	63	II - Buena	80.88	Bueno	58
Coordenadas			FACTOR DE SEGURIDAD			
Norte	Este	Cota	F.S. Natural		F.S. Sismicidad	
9192948	778059	2489	0.598		0.327	

## A. Análisis Cinemático de la Estación 01.

Análisis cinemático generado en el software DIPS v.6.

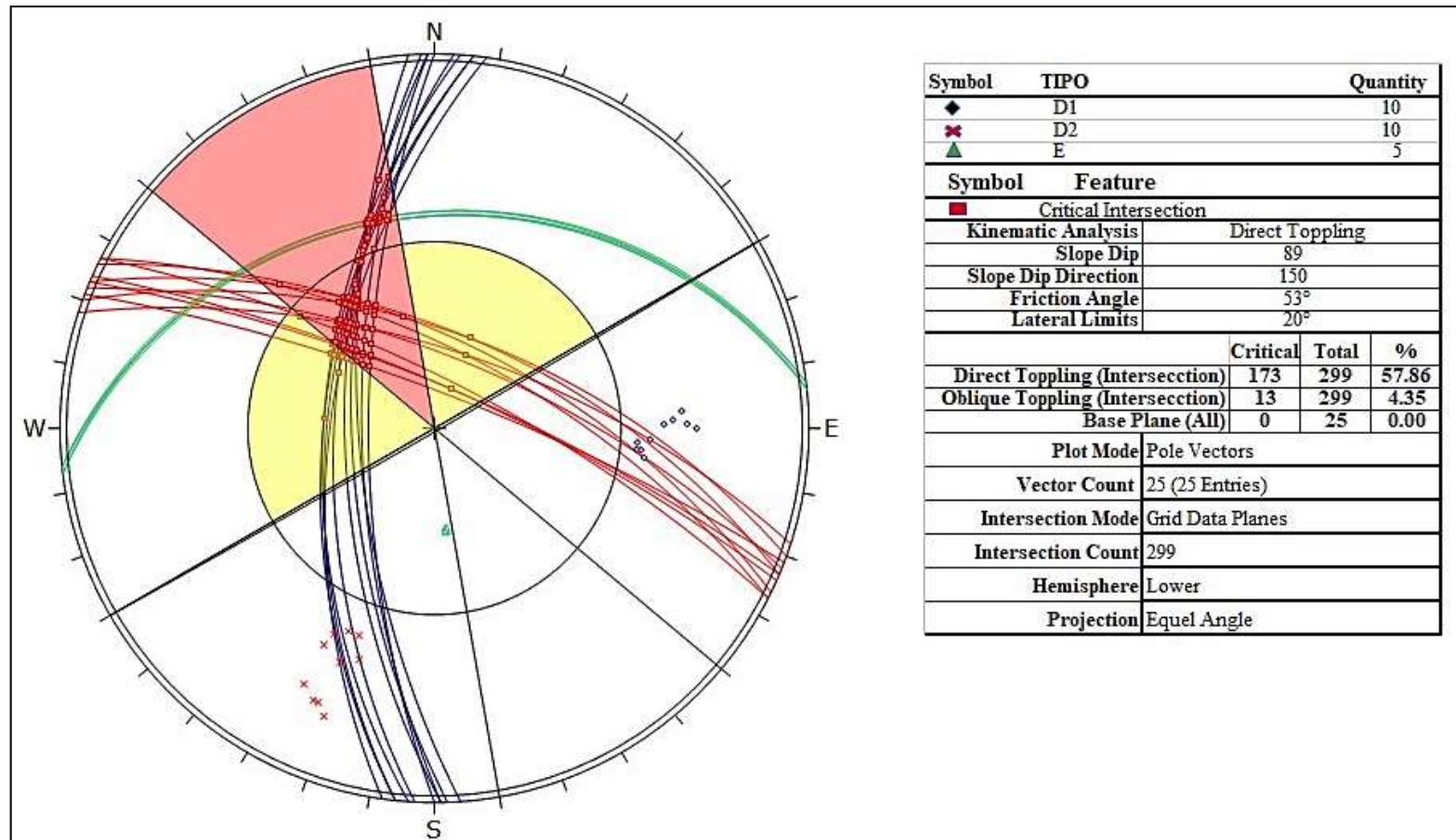


Figura 10. En la imagen podemos observar que existe Direct Toppling (derribo directo) de un 57.86 %, siendo un porcentaje mayor que el Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 4.35 %; presentando intersecciones críticas entre estratos y diaclasas de familia 1 y 2; que generarían una zona inestable, con un ángulo de fricción de 53°.



## B. Análisis slide de la estación N° 01 en condiciones normales.

Modelo geomecánico generado en el software Slide v.6, en condiciones normales, determinando la inestabilidad de la estación la cual esta alojada sobre rocas sedimentarias de la Fm. Pariatambo.

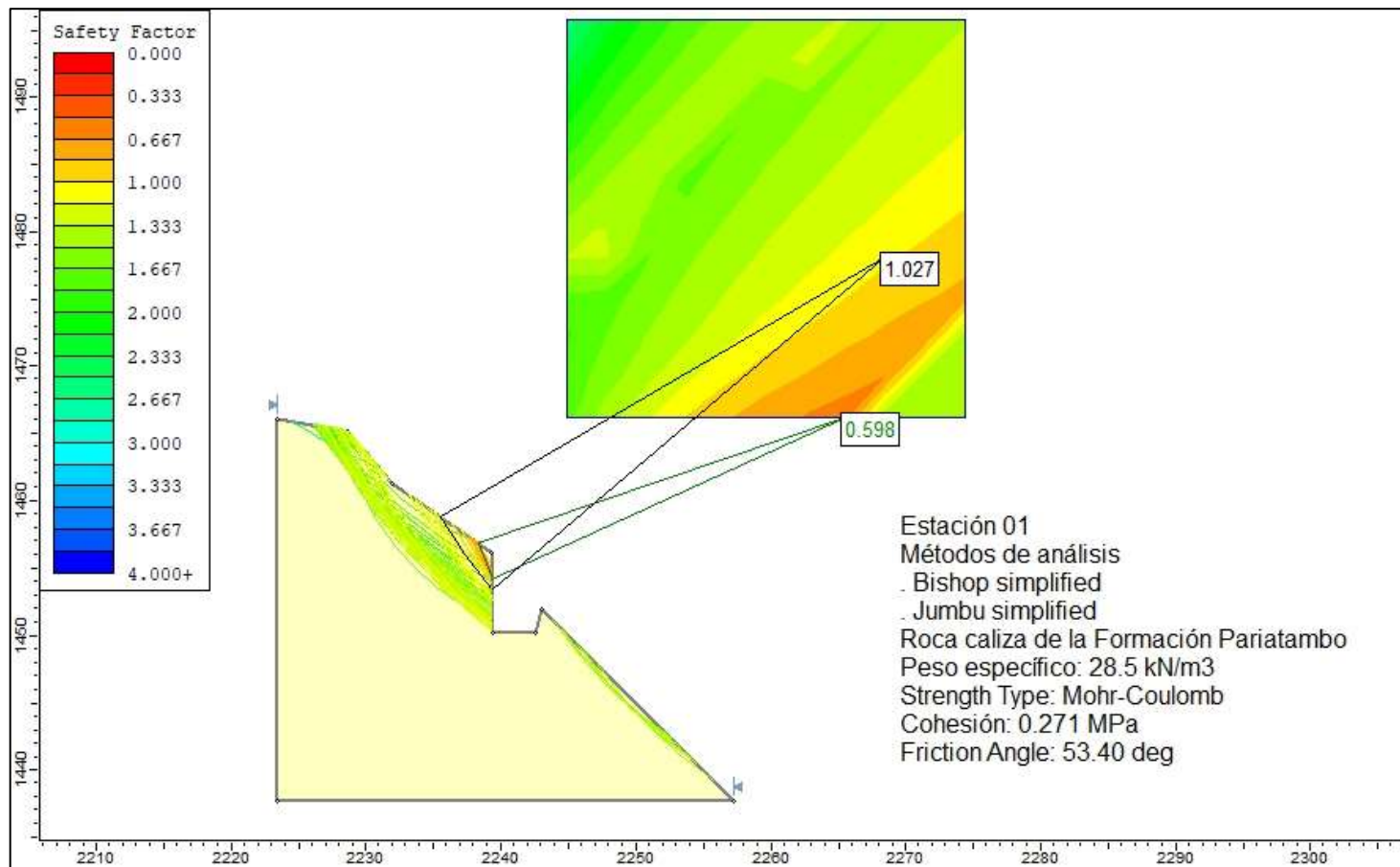


Figura 11. Análisis Slide, el cual muestra el factor de seguridad real de 0.598 y un ideal de 1.027; determinando así una zona crítica, dado por caída de rocas.

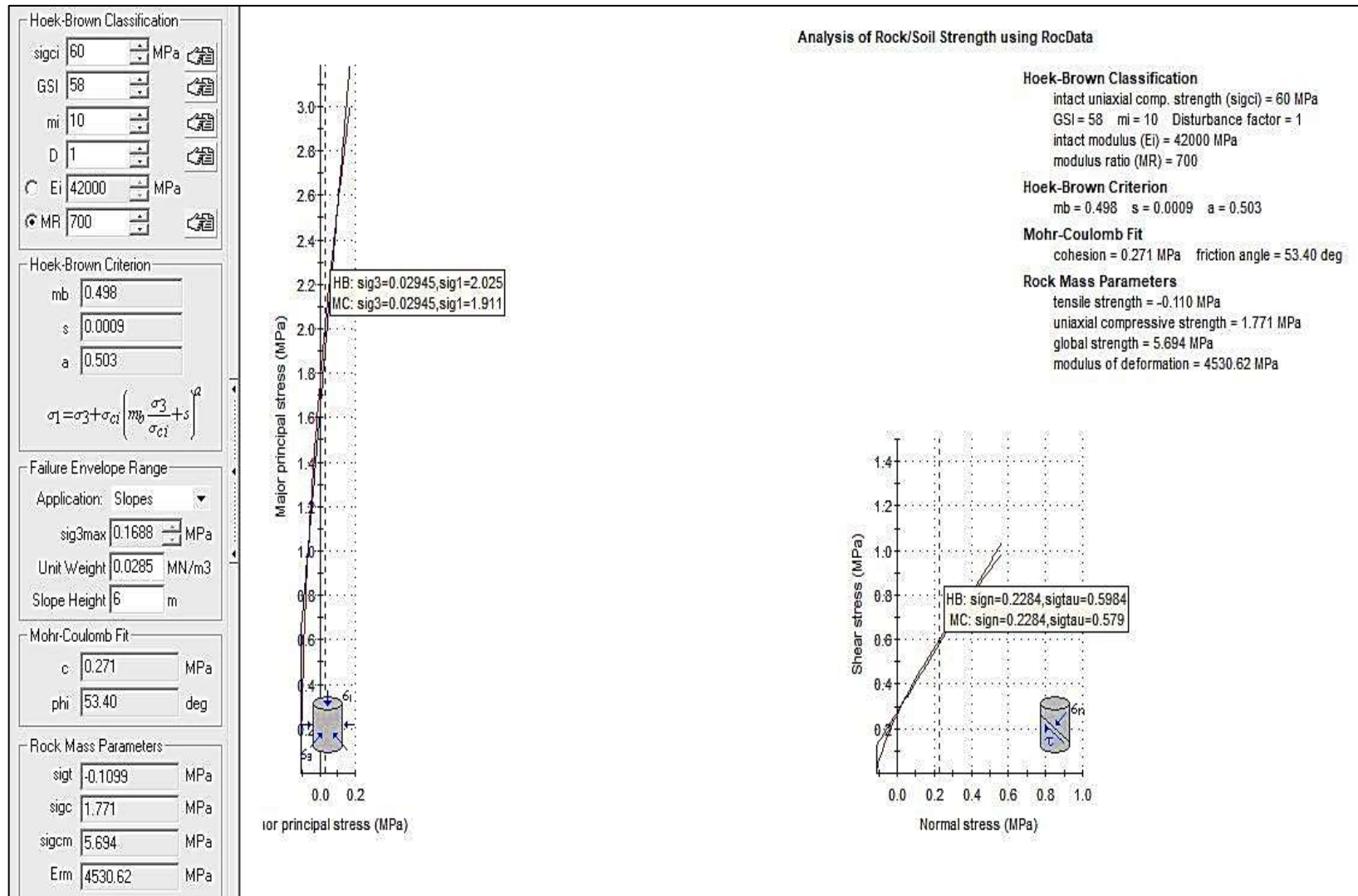


Figura 12. Análisis Rock data por el Método de Hoek – Brown y Mohr Coulomb de la estación N° 01, obteniendo datos que serán utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.

C. Análisis slide de la estación 01 en condiciones normales sometidas a sismicidad.

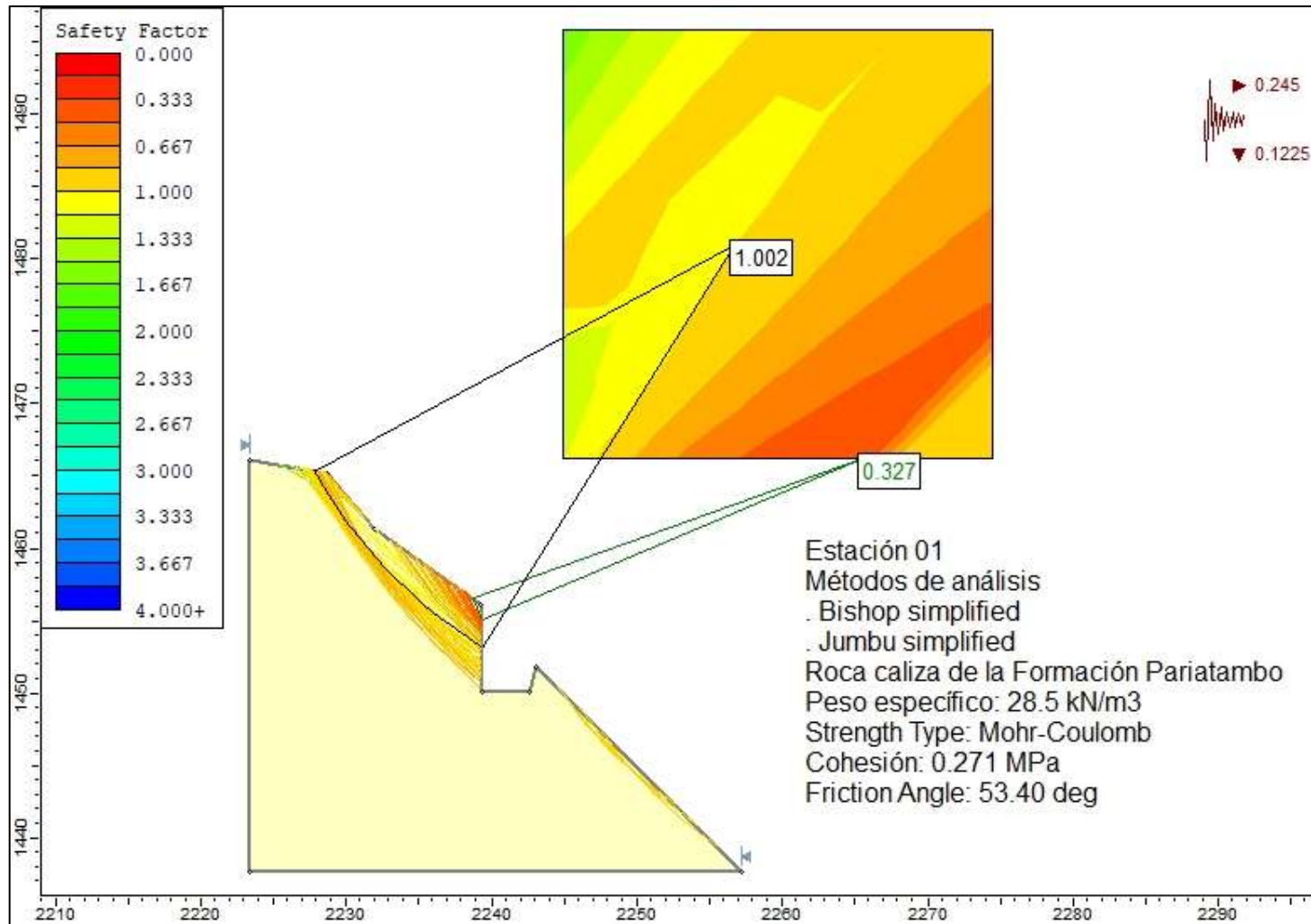


Figura 13. Análisis Slide de la Estación N° 01, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.327, y una corrección de 1.002; siendo una zona altamente crítica, con posible caída de rocas, afectando gravemente a transeúntes y conservación de la carretera del área de estudio.

### 3.11.2. ESTACIÓN 02.

El talud de la estación N° 02 , esta constituida por rocas calizas bituminosas nodulares pertenecientes a la Formación Chúllec, con macizos rocosos de calidad y tipo Buena, pero con bloques fracturados y pendiente elevada, lo cual puede desestabilizarlos generando caída de rocas.



Foto N° 12. Estación N° 02, formada por rocas calizas nodulares de la Formación Chúllec.

Tabla 11. Estación N° 02 de datos geotécnicos del talud de la Formación Chúllec.

<b>Geometría del Talud</b> N°2 - Fm Chúllec		<b>DATOS GEOMECAÑICOS – GEOTÉCNICOS</b>				
<i>Altura del talud(m)</i>	12.00	<b>RMR</b>		<b>RQD</b>		<b>GSI</b>
<i>Pendiente del Talud</i>	88°	<i>Valoración</i>	<i>Clase/ Calidad</i>	<i>Valoración (<math>\lambda=6</math>)</i>	<i>Tipo</i>	<i>Valoración</i>
<i>Dirección del Talud</i>	N215°	68	II - Buena	87.81	Bueno	63
<b>Coordenadas</b>			<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>			
<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>F.S Natural</i>		<i>F.S Sismicidad</i>	
9192783	778044	2502	0.625	0.339	0.384	



## A. Análisis Cinemático de la Estación 02.

Análisis cinemático de la Estación N° 02, realizado en el DIPS v.6.

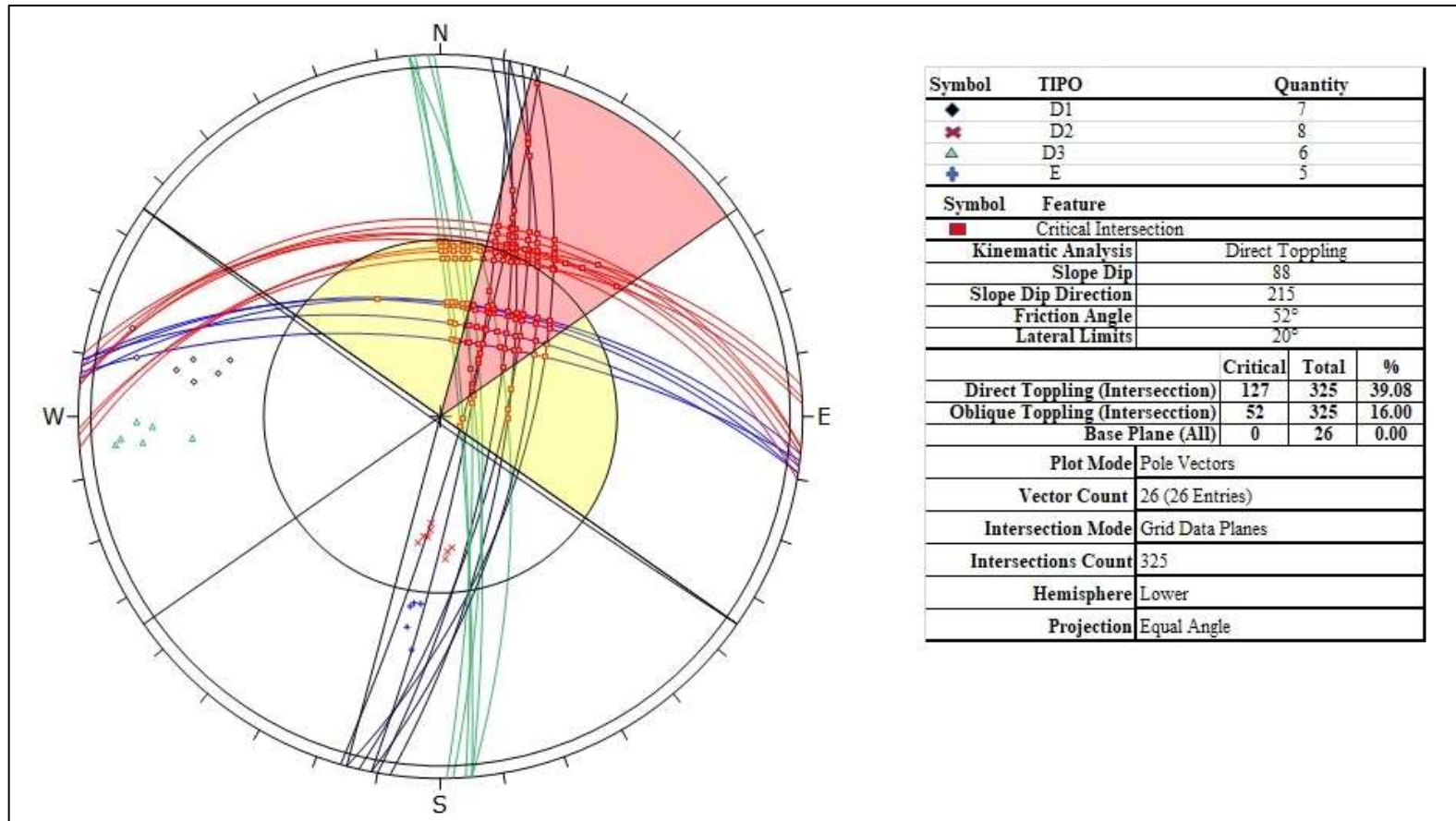


Figura 14. Análisis cinemático de la Estación N° 02, donde se puede observar la intersección entre diaclasas y estrato, generándose así intersecciones críticas, con Direct Toppling (derribo directo) con un 39.08% y un Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 16.00 %, siendo las intersecciones críticas entre estrato y diaclasas de la familia 1,2 y 3, con un ángulo de fricción de 52°.

## B. Análisis slide de la estación 02 en condiciones normales.

Modelo geomecánico generado en el software Slide v.6, en condiciones naturales con datos obtenidos del Rock Data.

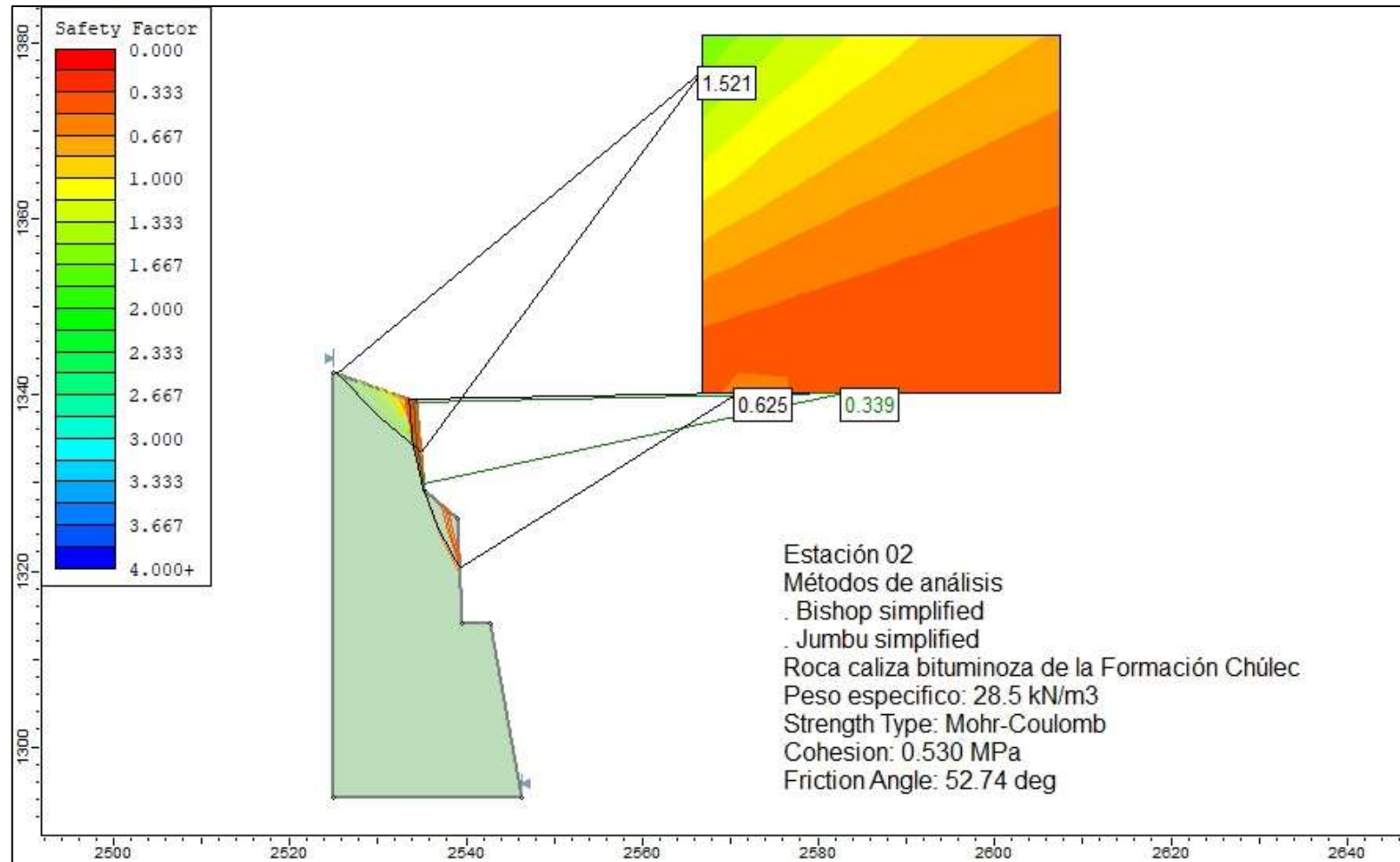


Figura 15. Análisis Slide de la Estación N° 02, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.339, con una corrección de 1.521, siendo así una zona inestable.

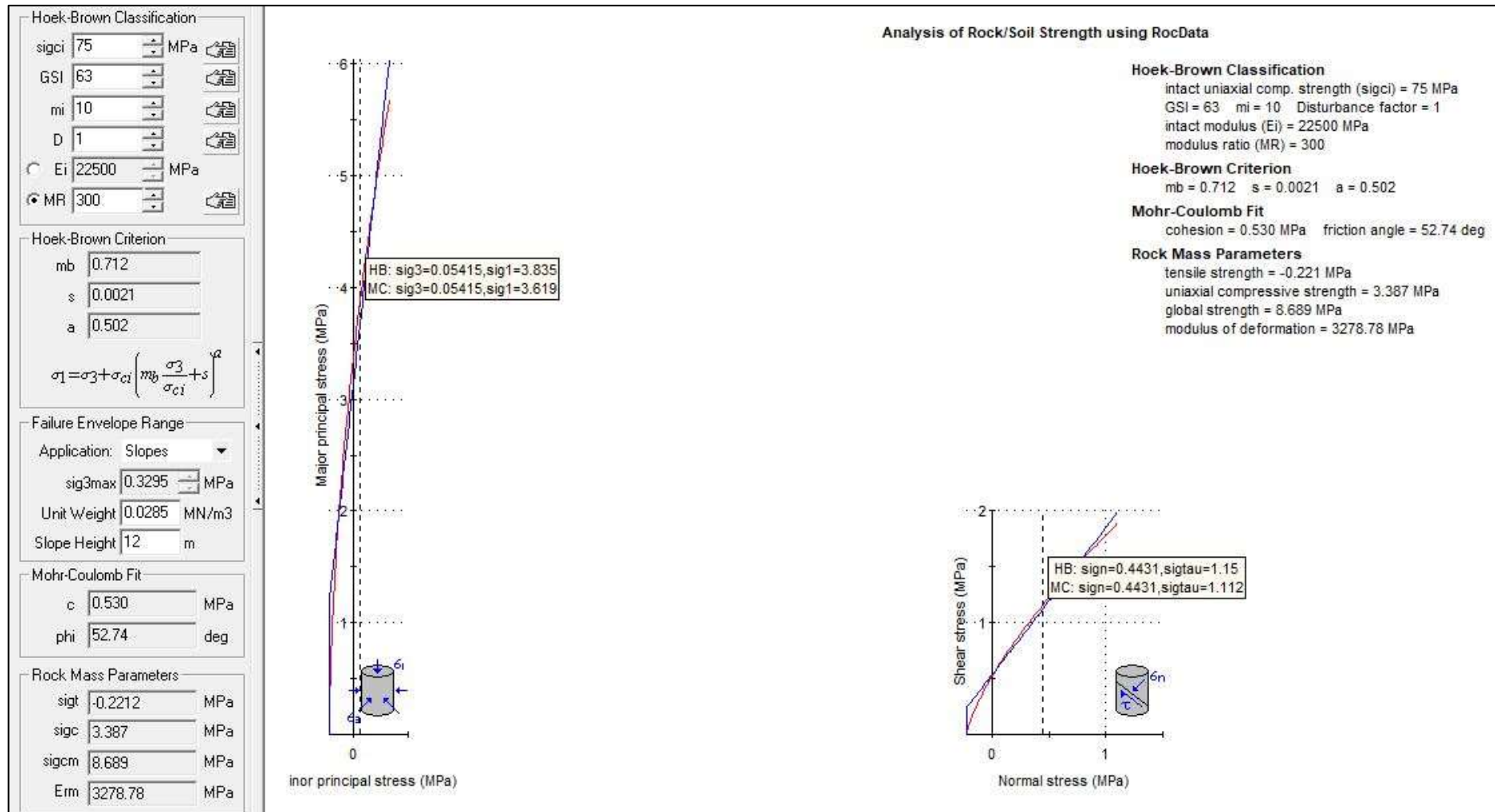


Figura 16. Análisis Rock data de la estación N° 02, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.

C. Análisis slide de la estación 02 en condiciones normales sometidas a sismicidad.

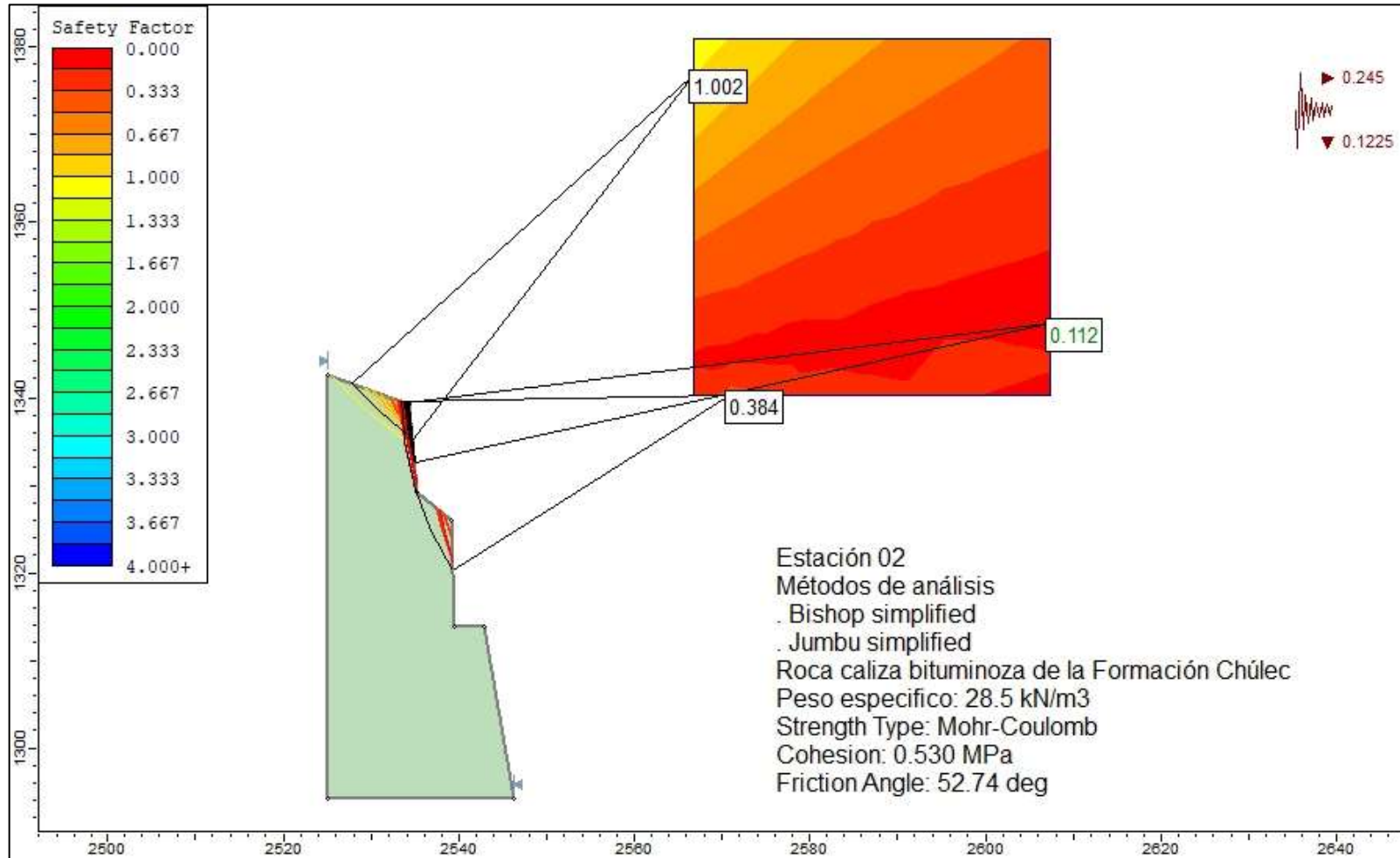


Figura 17. Análisis Slide de la Estación N° 02, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.112 y 0.384 – 1.002, determinándose así que la zona siendo afectada a sismicidad es altamente crítica, con tendencia de caída de rocas hacia la carretera, en la parte del pico del talud, siendo una zona altamente crítica, con posible caída de rocas, afectando gravemente a transeúntes y conservación de la carretera del área de estudio.



### 3.11.3. ESTACIÓN 03.

Talud de la Estación N° 03, conformada por areniscas y lutitas ferruginosas, con presencia de meteorización, presentando mayor inestabilidad en épocas de lluvia, generándose derrumbes.



Foto N° 13. Talud de estación N° 03, evidenciándose lutitas y areniscas calcáreas ferruginosas, altamente meteorizadas.

Tabla 12. Estación N° 03 de datos geotécnicos del talud de la Formación Inca.

Geometría del Talud N° 3 - Fm. Inca		DATOS GEOMECAÑICOS – GEOTÉCNICOS				
Altura del talud(m)	5.00	<b>RMR</b>		<b>RQD</b>		<b>GSI</b>
Pendiente del Talud	80°	Valoración	Clase/Calidad	Valoración ( $\lambda=11$ )	Tipo	Valoración
Dirección del Talud	N170°	51	III - Media	69.90	Regular	46
<b>Coordenadas</b>			<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>			
Norte	Este	Cota	<b>F.S Natural</b>		<b>F.S Sismicidad</b>	
9192580	778281	2508	0.371		0.121	

### A. Análisis Cinemático de la Estación 03.

Análisis cinemático de la Estación N° 03, realizado en el DIPS v.6.

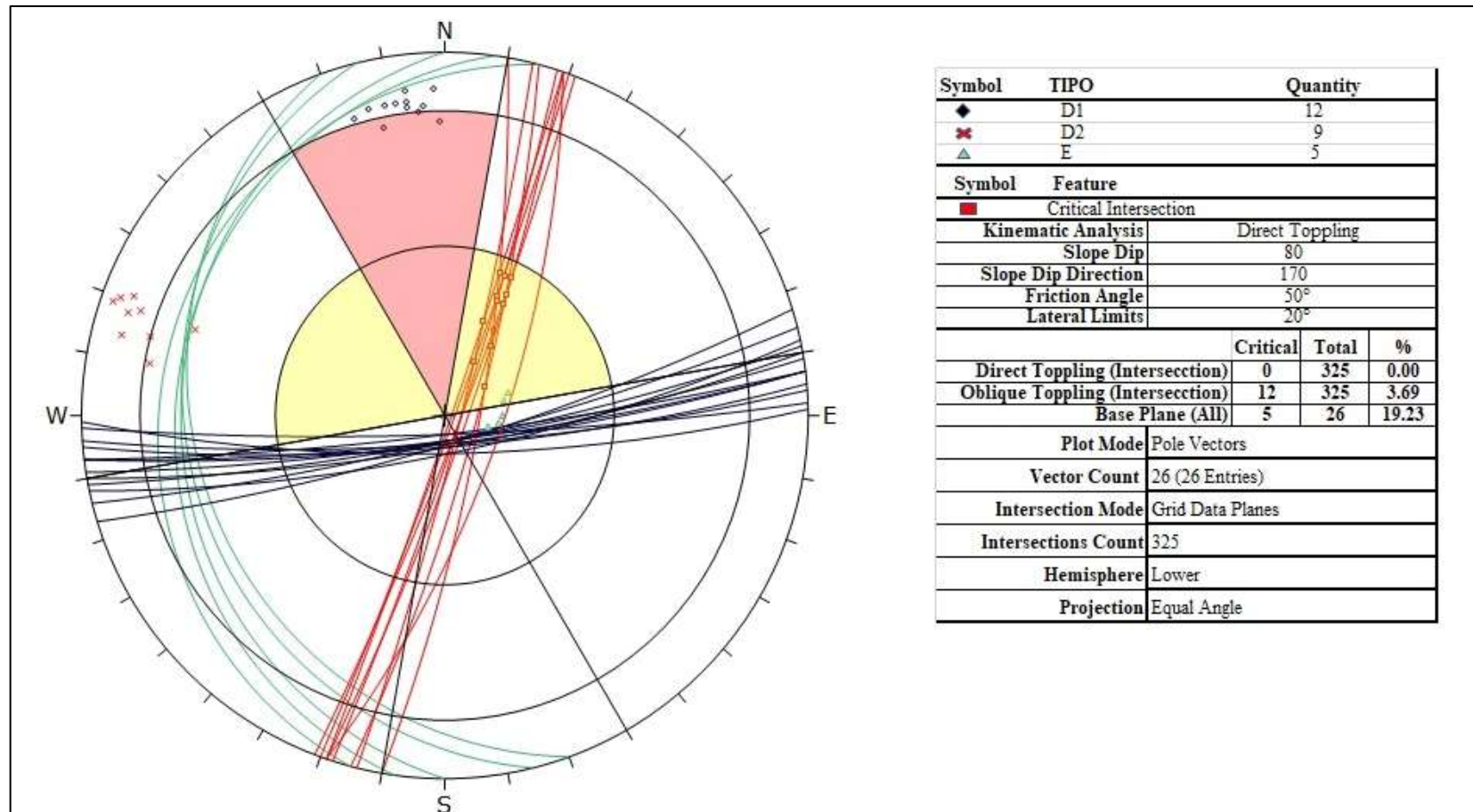


Figura 18. Análisis cinemático de la Estación N° 03, donde se puede observar la intersección entre diaclasas y estratos, generándose así intersecciones críticas, con base plane (base planar) con un 19.23 % y un Oblique Toppling (derribo oblicuo) de un 3.69%, con un ángulo de fricción de 50°.

## B. Análisis slide de la estación 03 en condiciones normales.

Modelo geomecánico generado en el software Slide v.6, en condiciones naturales con datos obtenidos del Rock Data.

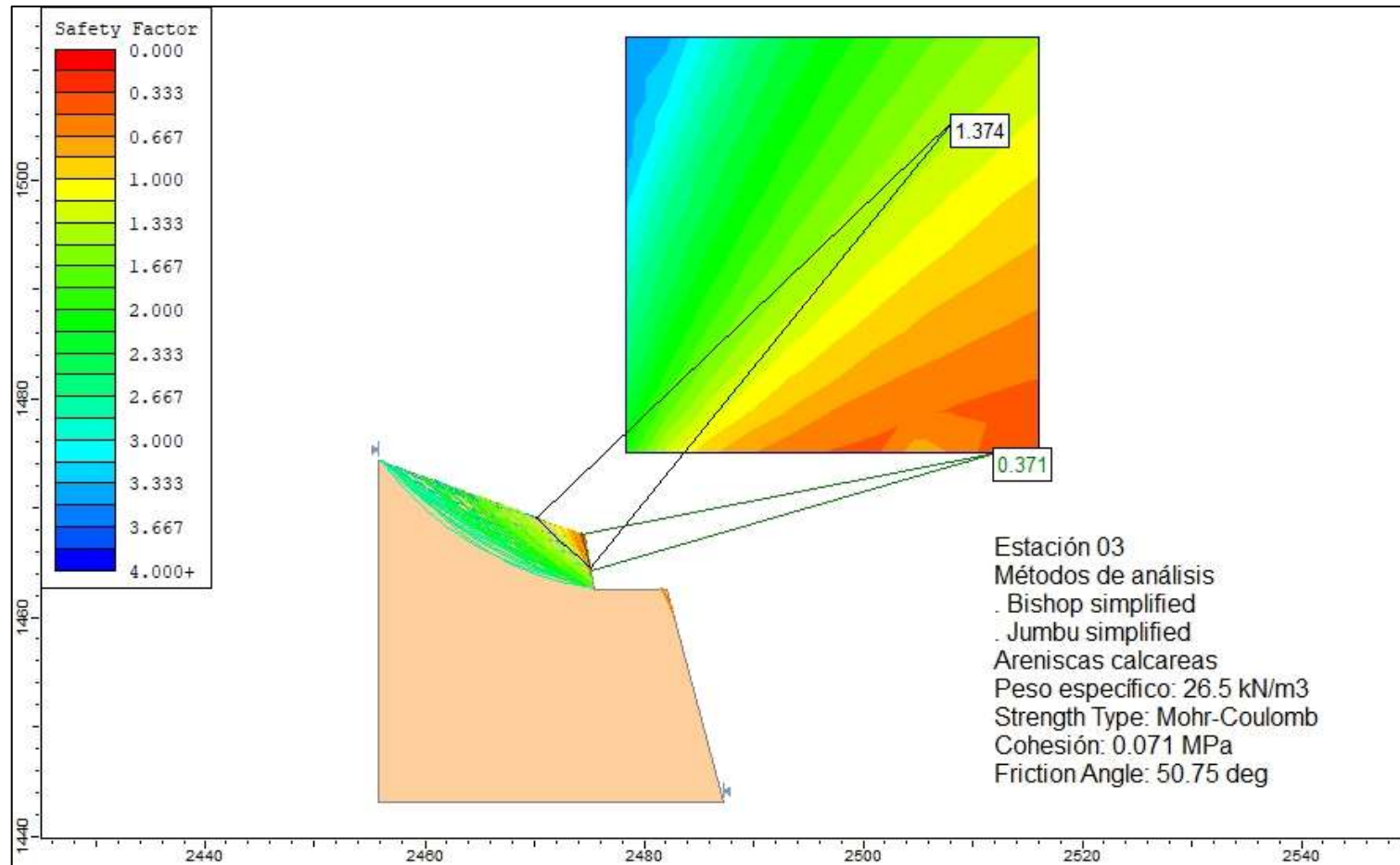


Figura 19. Análisis Slide de la Estación N° 02, donde muestra un Factor de Seguridad de 0,410, siendo una zona crítica por inestabilidad del talud, pero presenta una corrección de 1,356, es decir bajándole la pendiente de talud sería un talud relativamente estable.

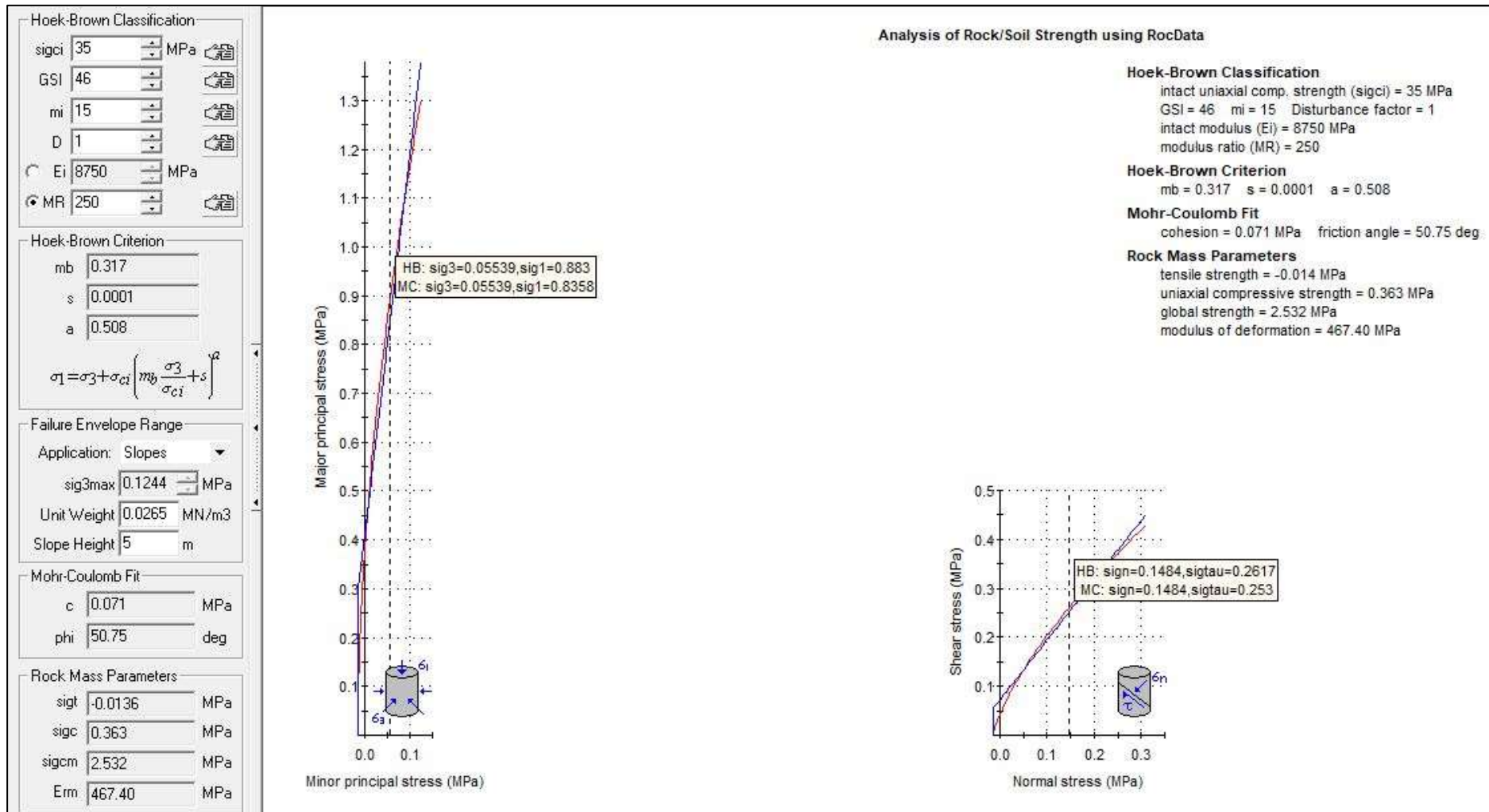


Figura 20. Análisis Rock data de la estación N° 03, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.



C. Análisis slide de la estación 03 en condiciones normales sometidas a sismicidad.

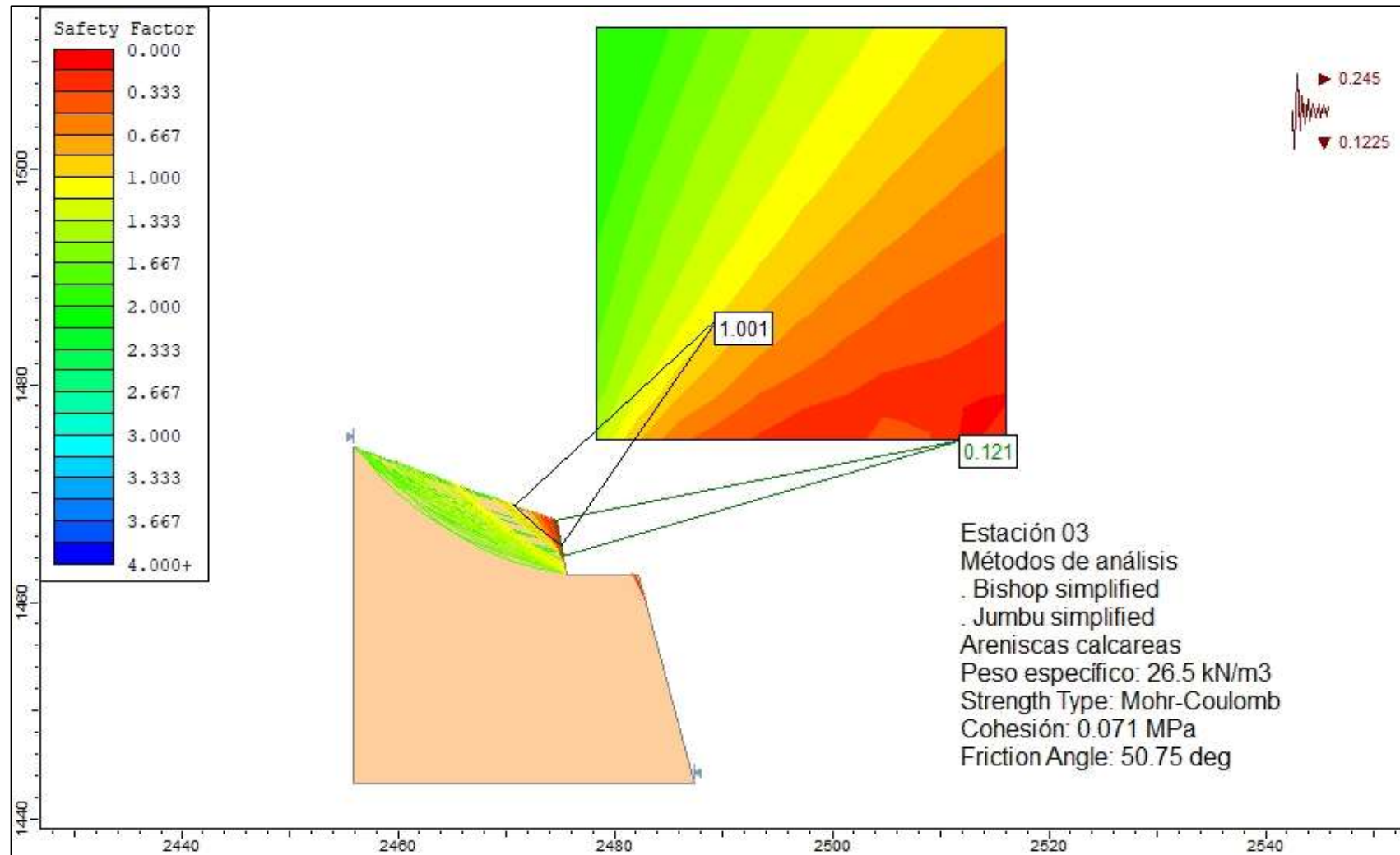


Figura 21. Análisis Slide de la Estación N° 03, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.121 y 1.001, determinándose que la zona es inestable aún más con la sismicidad.

### 3.11.4. ESTACIÓN 04.

Talud de la Estación N° 04, conformada por areniscas ferruginosas, con pendiente elevada, en épocas de lluvia con tendencia a mayor inestabilidad, debido a la infiltración de agua en el macizo rocoso, disminuyendo notablemente su resistencia.



Foto N° 14. Talud de la estación N° 04, formada por macizos rocosos de areniscas.

Tabla 13. Estación N° 04 de datos geotécnicos del talud de la Formación Inca.

Geometría del Talud N° 4 - Fm. Inca		DATOS GEOMECÁNICOS – GEOTÉCNICOS				
Altura del talud (m)	15	<b>RMR</b>		<b>RQD</b>		<b>GSI</b>
Pendiente del Talud	-85°	Valoración	Clase/ Calidad	Valoración ( $\lambda=11$ )	Tipo	Valoración
Dirección del Talud	N145°	59	III- Media	73.58	Regular	54
<b>Coordenadas</b>			<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>			
<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	F.S. Natural		F.S. Sismicidad	
9192592	778451	2498	0.328		0.115	



### A. Análisis Cinemático de la Estación 04.

Análisis cinemático de la Estación N° 04, realizado en el DIPS v.6.

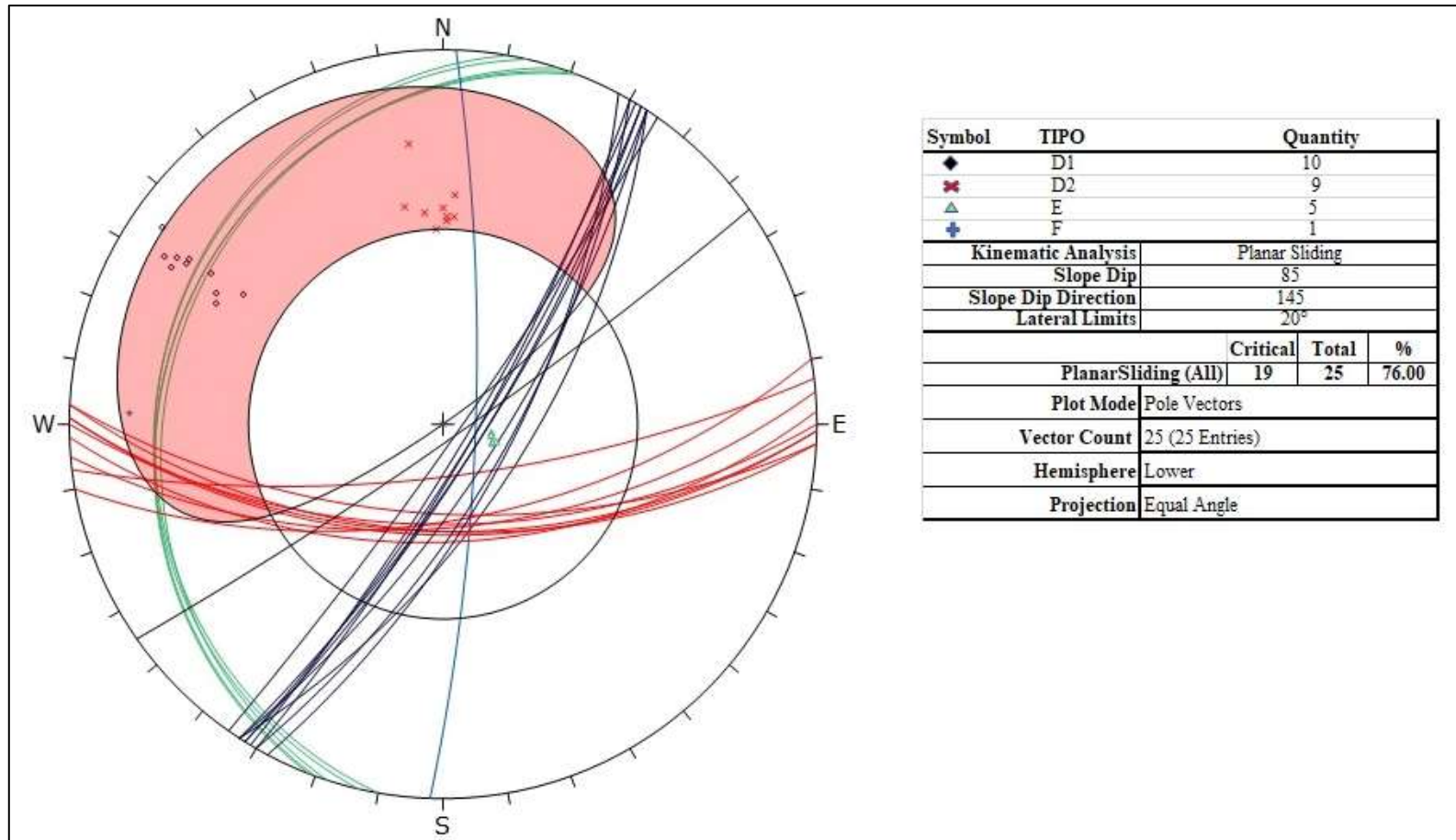


Figura 22. Análisis cinemático de la Estación N° 04, donde se puede observar el análisis cinemático del tipo planar sliding (deslizamiento planar) con un 76.00%, con el ángulo de fricción de 55°.

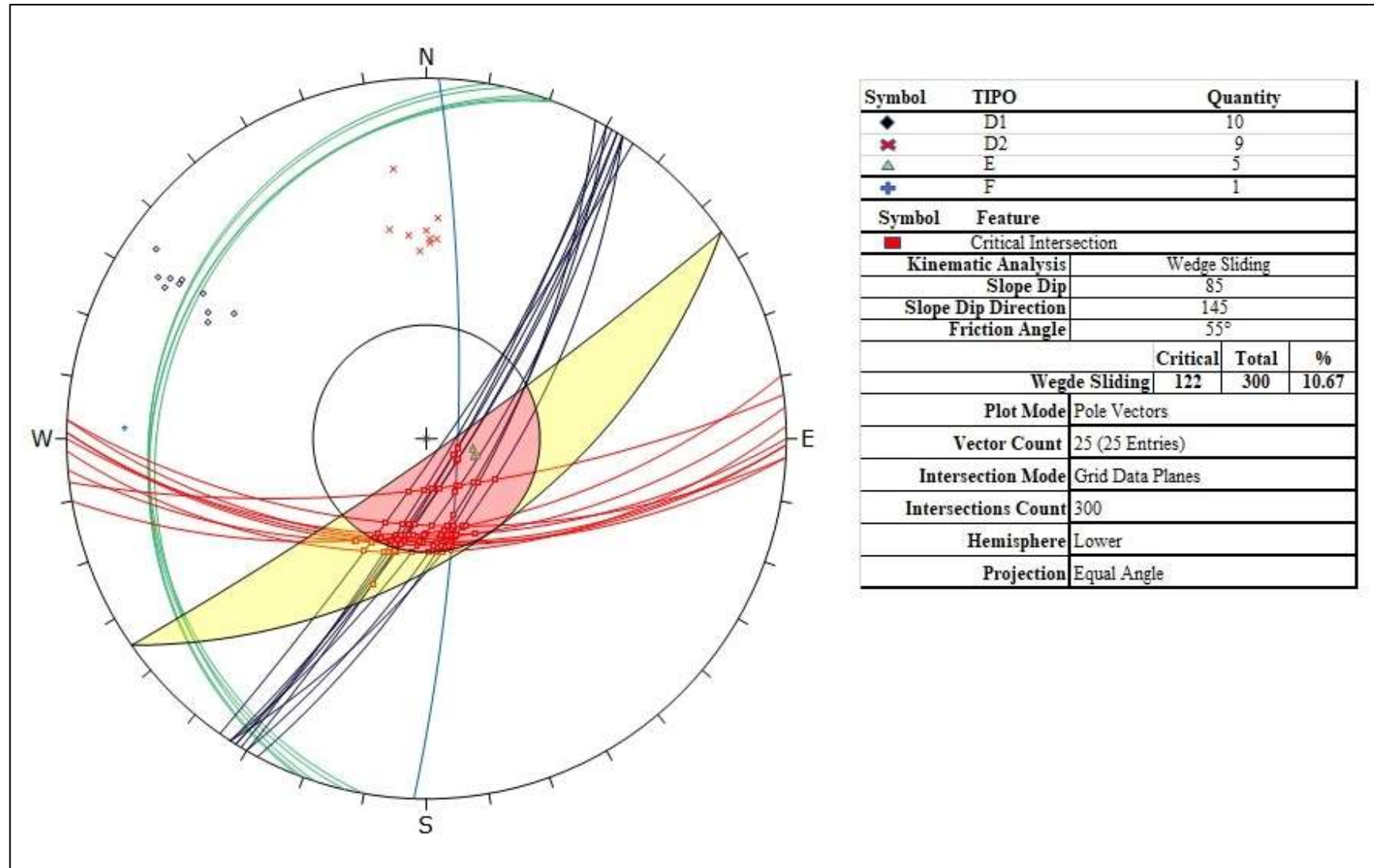


Figura 23. Análisis cinemático de la Estación N° 04, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con la falla, generando una zona de mayor inestabilidad, el análisis cinemático es del tipo Wedge sliding (deslizamiento en cuña) con un 40.67 %, con un ángulo de fricción de 55°.

## B. Análisis slide de la estación 04 en condiciones normales.

Modelo geomecánico generado en el software Slide v.6, en condiciones naturales con datos obtenidos del Rock Data.

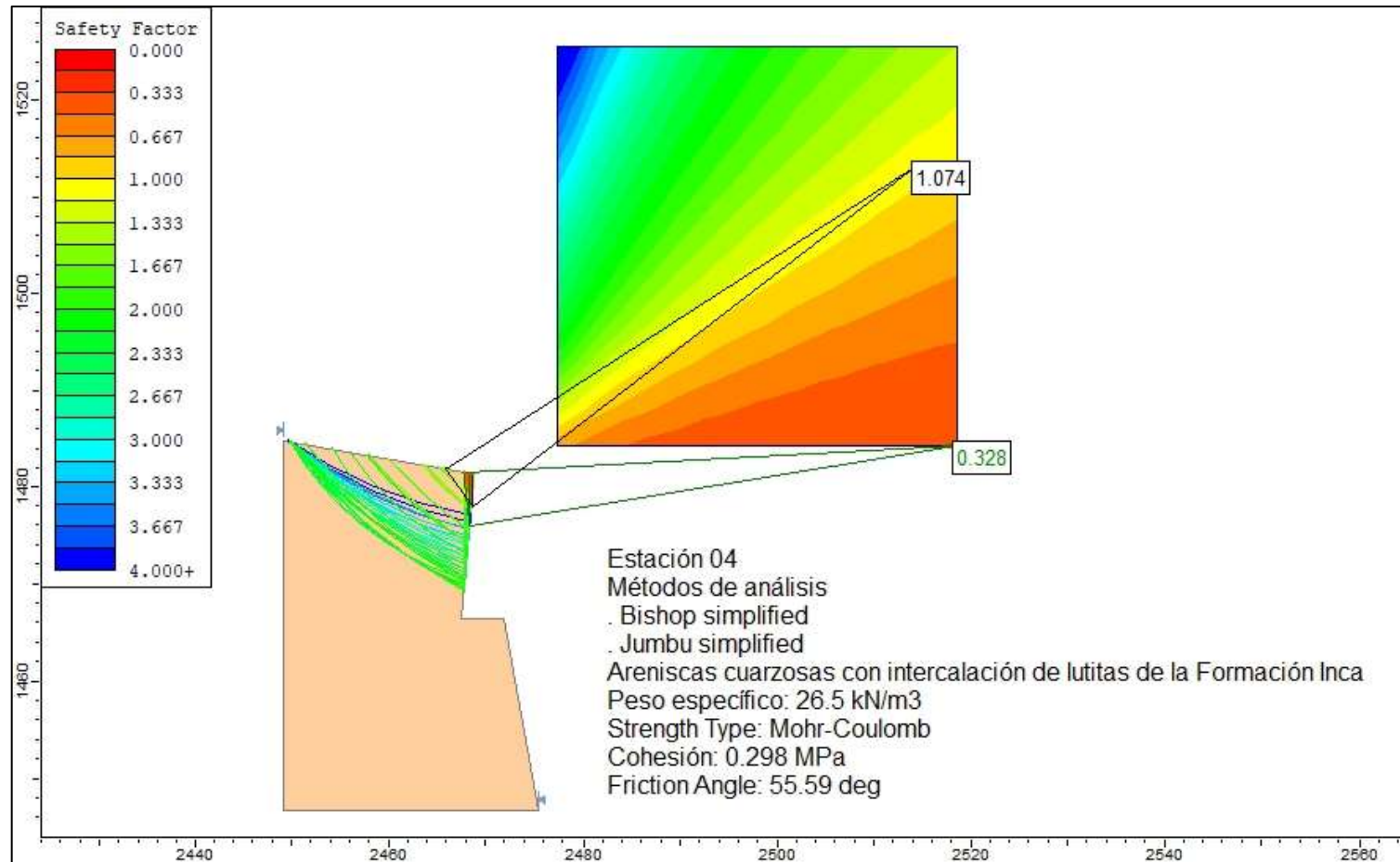


Figura 24. Análisis Slide de la Estación N° 04, donde muestra un Factor de Seguridad de 0,328, siendo una zona crítica por inestabilidad del talud, pero si se realizara una corrección de 1,074, siendo más estable.

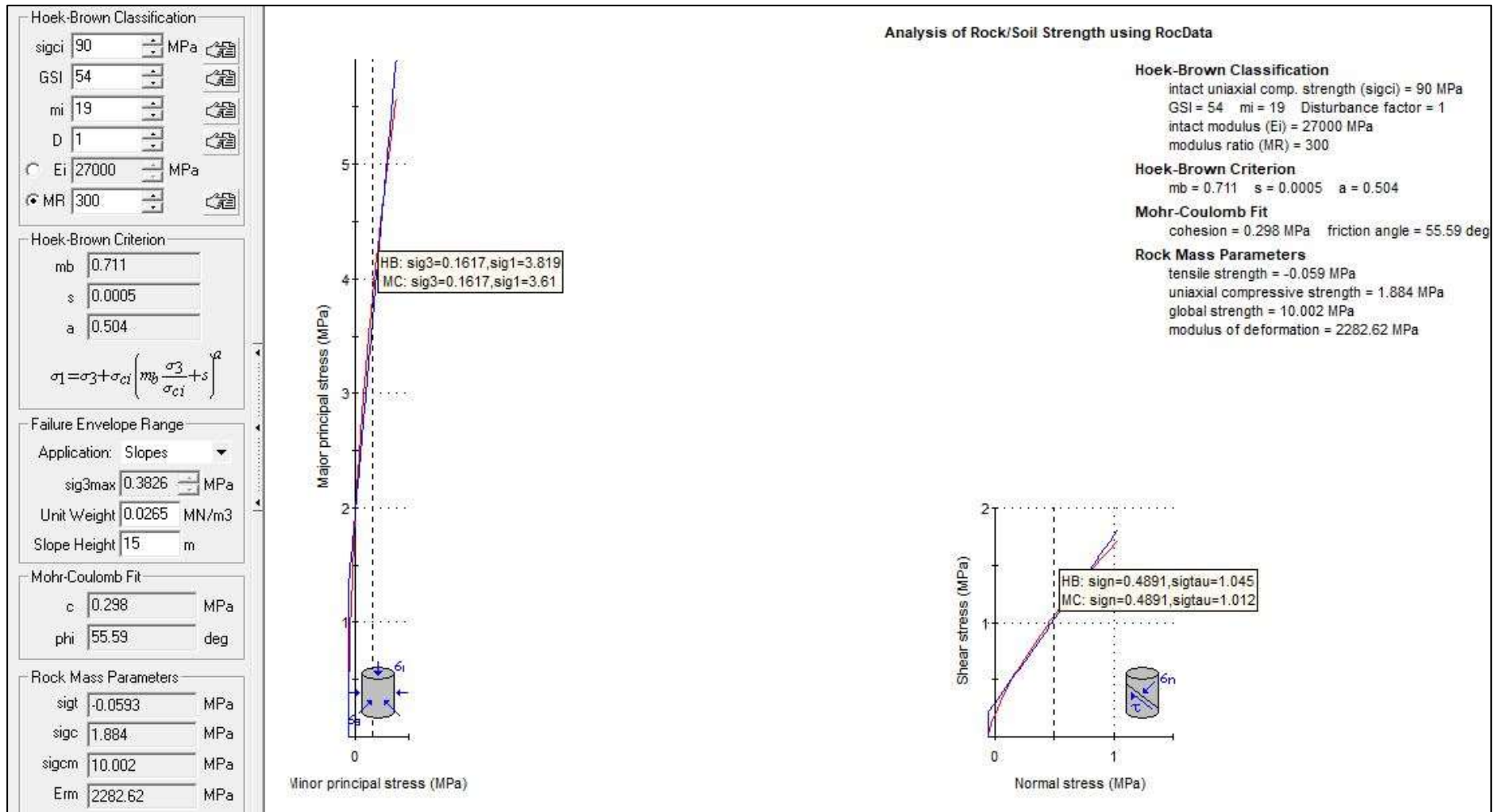


Figura 25. Análisis Rock data de la estación N° 04, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.

C. Analisis slide de la estacion 04 en condiciones normales sometidas a sismicidad.

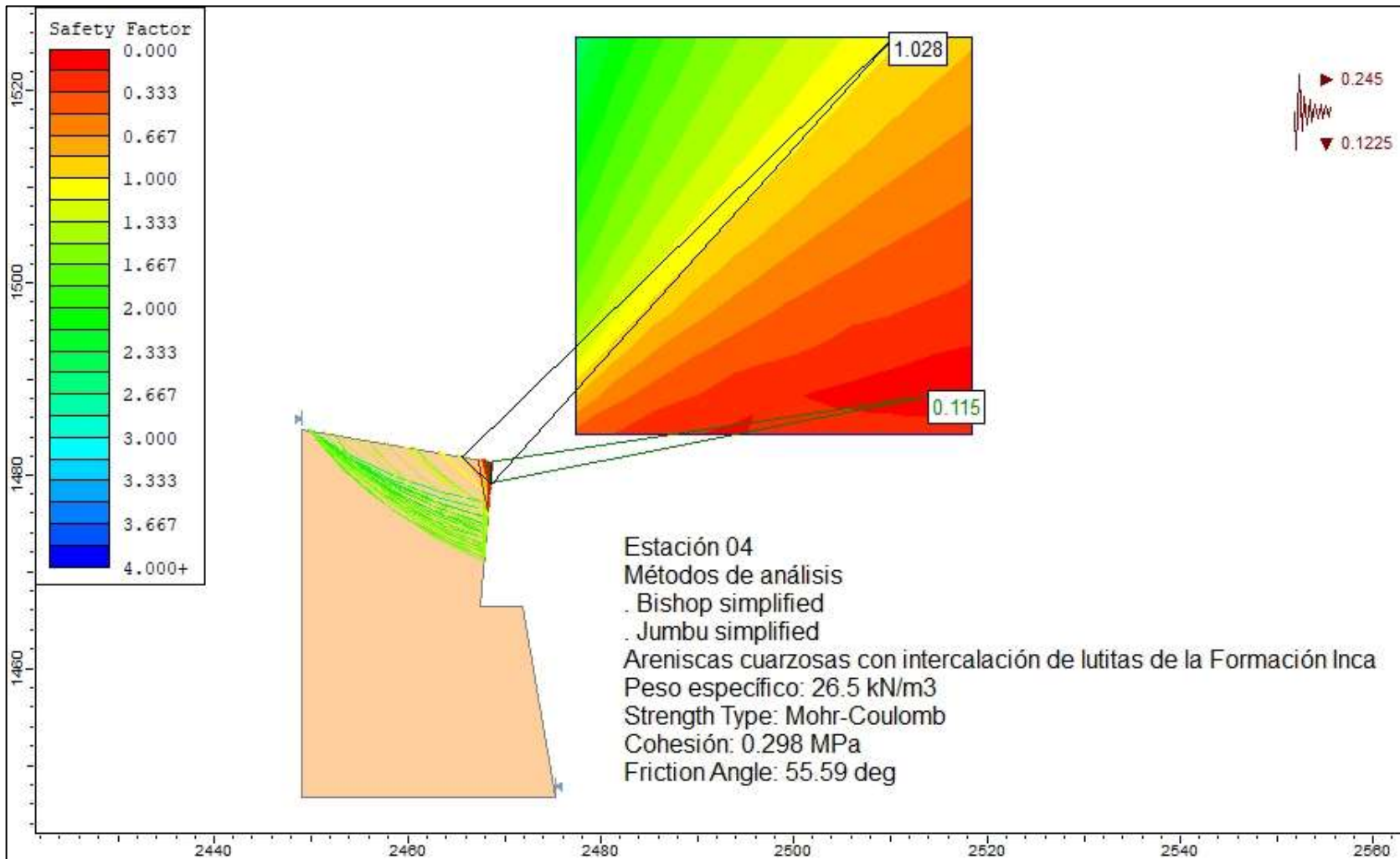


Figura 26. Análisis Slide de la Estación N° 04, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.115 y una corrección de 1.028, determinándose que la zona es muy inestable.



### 3.11.5. ESTACIÓN 05.

Talud de la Estación N° 05, constituida por estratos de areniscas blanquecinas deleznales, producto de la meteorización, de la Formación Farrat, en épocas de lluvia con infiltración de agua, lo cual disminuye la resistencia del macizo, generando deslizamientos y caída de rocas de las partes altas del talud.



Foto N° 15. Talud de la Estación N° 5, formada por areniscas de la Formación Farrat.

Tabla 14. Estación N° 05 de datos geotécnicos del Talud de la Formación Farrat.

<b>Geometría del Talud N° 05 - Fm. Farrat</b>		<b>DATOS GEOMECÁNICOS – GEOTÉCNICOS</b>				
<i>Altura del talud (m)</i>	19	<b>RMR</b>		<b>RQD</b>		<b>GSI</b>
<i>Pendiente del Talud</i>	83°	<i>Valoración</i>	<i>Clase/ Calidad</i>	<i>Valoración (λ=8)</i>	<i>Tipo</i>	<i>Valoración</i>
<i>Dirección del Talud</i>	N175°	75	II -Buena	80.88	Bueno	70
<b>Coordenadas</b>			<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>			
<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>F.S Natural</i>		<i>F.S Sismicidad</i>	
9191817	779457	2539	0.549		0.285	



### A. Análisis Cinemático de la Estación 05

Análisis cinemático de la Estación N° 05, realizado en el DIPS v.6.

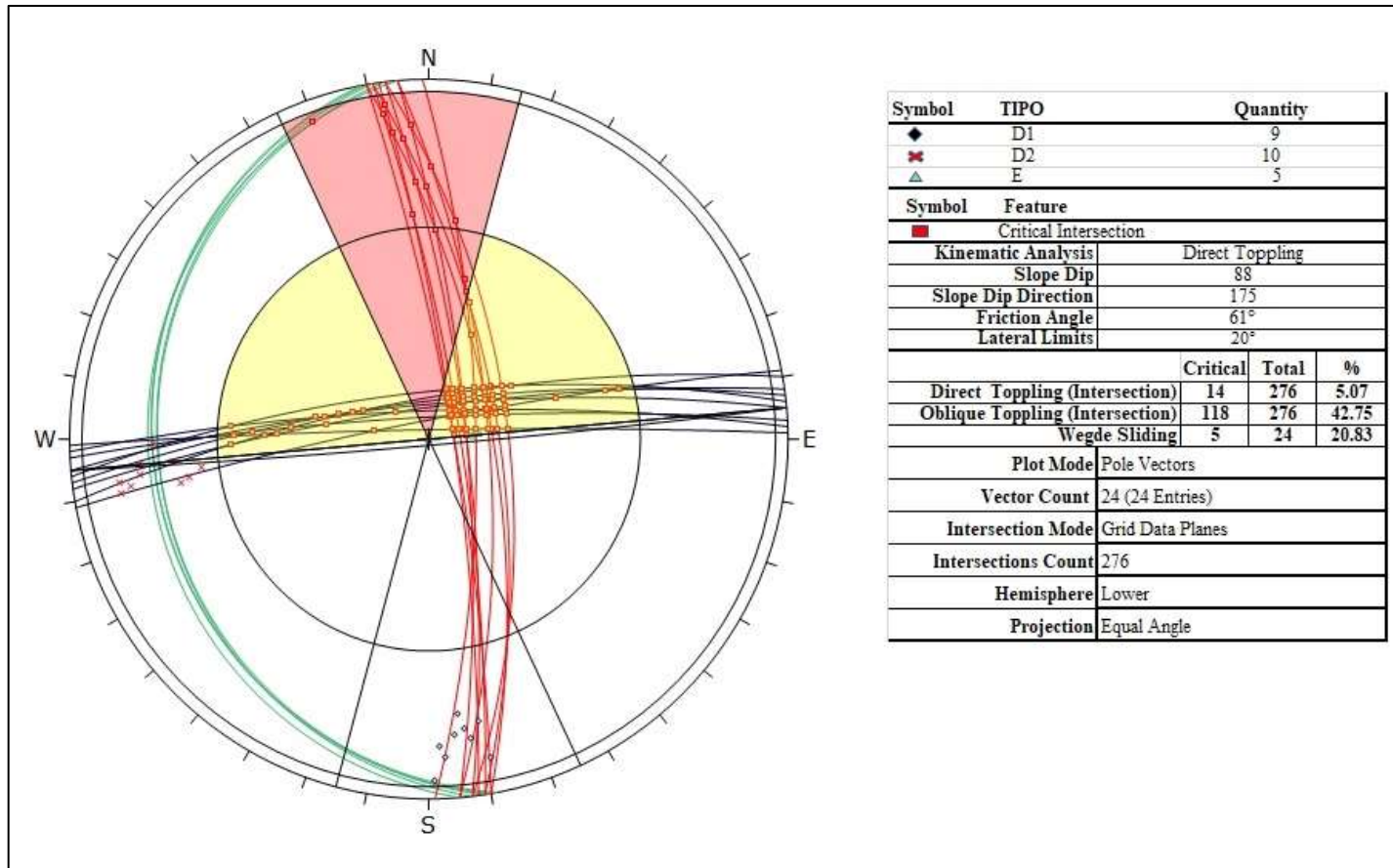


Figura 27. Análisis cinemático de la Estación N° 05, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con los estratos, el análisis cinemático es del tipo Direct Toppling (derribo directo) con un 5.07%, Oblique Toppling (derribo directo) con un 5.07%, Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 42.75% y una base plane (base planar) de un 20.83 %, con un ángulo de fricción de 61°.

**B. Análisis slide de la estación 05 en condiciones normales.**

Modelo geomecánico generado en el software Slide v.6, en condiciones naturales con datos obtenidos del Rock Data.

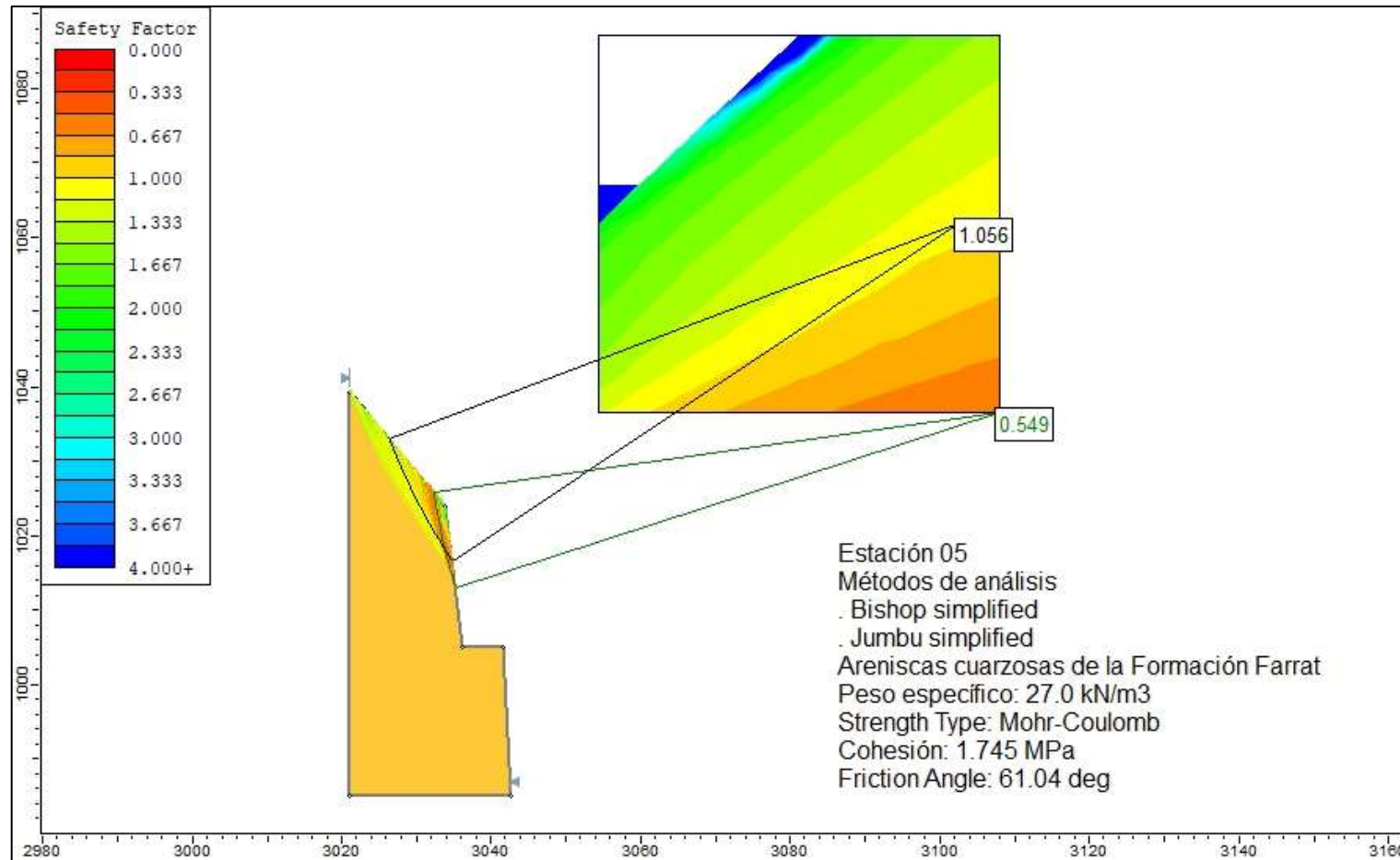


Figura 28. Análisis Slide de la Estación N° 05, donde muestra un Factor de Seguridad de 0, 549, siendo una zona crítica por inestabilidad del talud, pero si se realizara una corrección de 1,056, siendo más estable.

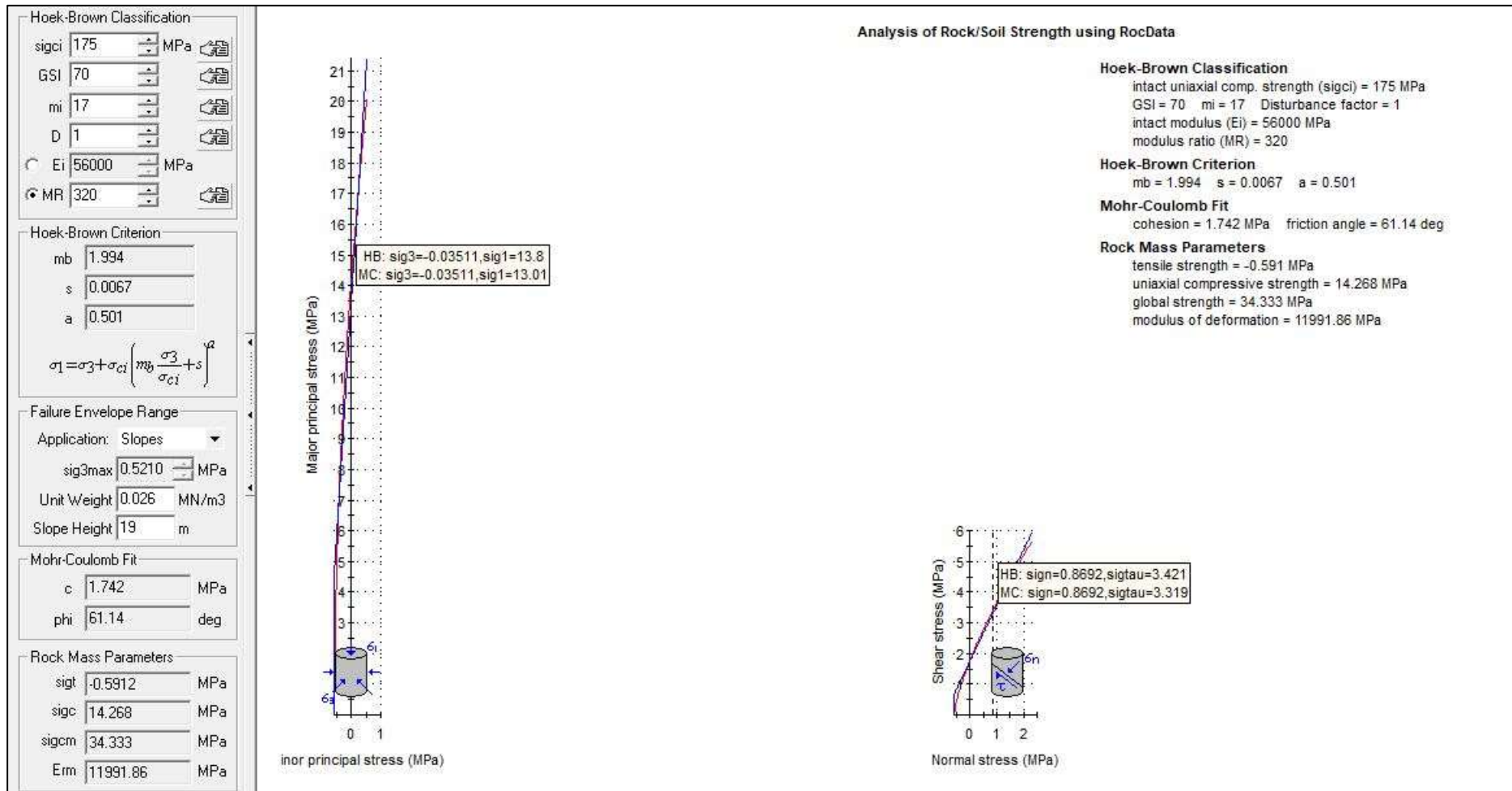


Figura 29. Análisis Rock data de la estación N° 05, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.

C. Análisis slide de la estación 05 en condiciones normales sometidas a sismicidad.

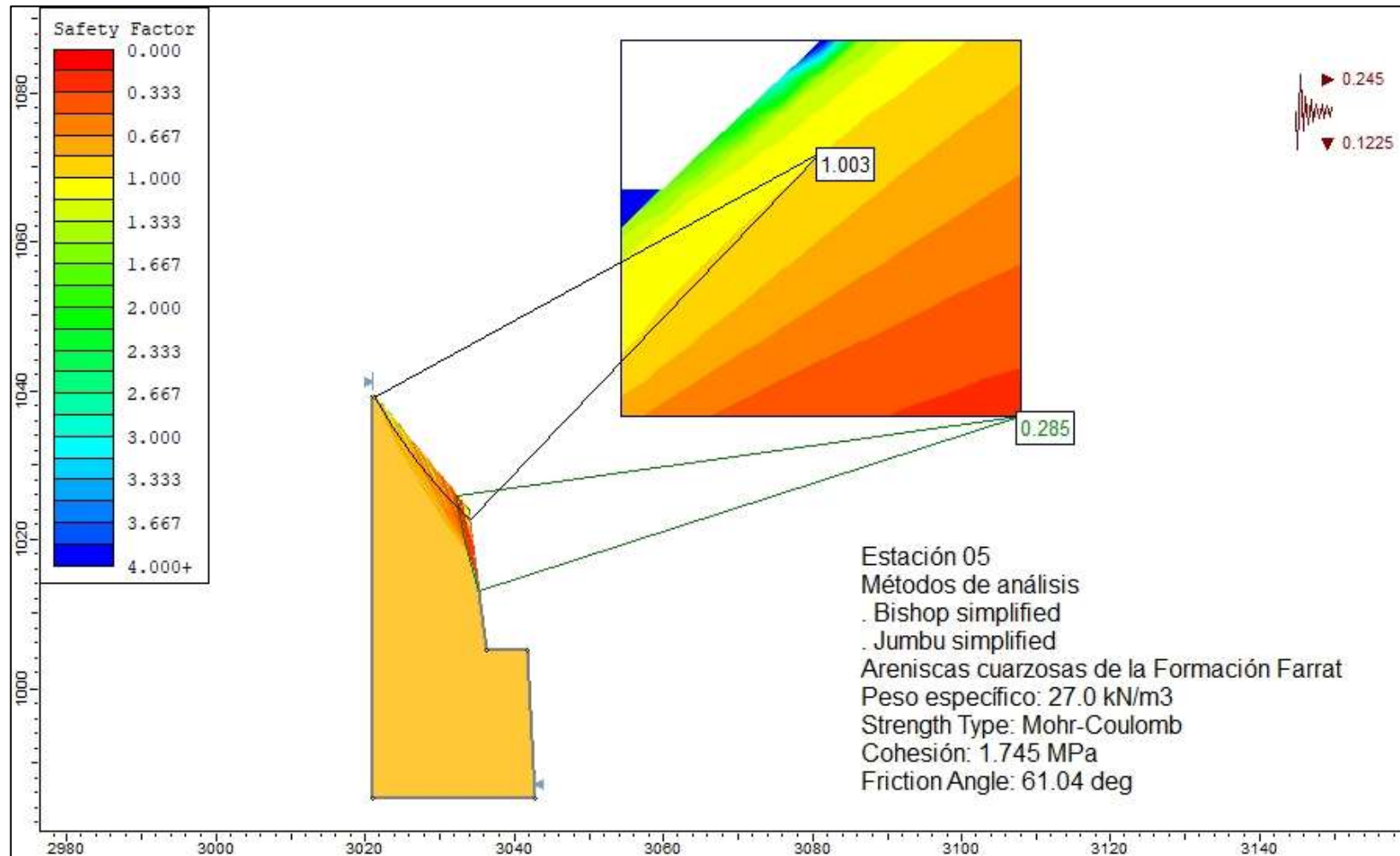


Figura 30. Análisis Slide de la Estación N° 05, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.285 y una corrección de 1.003, determinándose que la zona es inestable.

### 3.11.6. ESTACIÓN 06.

Talud de la Estación N° 06, constituida por estratos potentes de areniscas de la Formación Farrat, el talud presenta una pendiente elevada, lo cual favorece para la caída de rocas.



Foto N° 16. Talud de la Estación N° 6, conformada por Areniscas de la Formación Farrat.

Tabla 15. Estación N° 06 de datos geotécnicos del talud de la Formación Farrat.

Geometría del Talud N° 06 - Fm. Farrat		DATOS GEOMECÁNICOS – GEOTÉCNICOS				
<i>Longitud del talud (m)</i>	25	<b>RMR</b>		<b>RQD</b>		<b>GSI</b>
<i>Pendiente del Talud</i>	89°	<i>Valoración (%)</i>	<i>Clase/ Calidad</i>	<i>Valoración (λ=9)</i>	<i>Tipo</i>	<i>Valoración</i>
<i>Dirección del Talud</i>	N20 5°	63	II- Buena	77.25	Bueno	58
<b>Coordenadas</b>			<b>Cálculo del Factor de Seguridad</b>			
<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>F.S Natural</i>		<i>F.S Sismicidad</i>	
9191756	779838	2536	0.481		0.256	



## A. Análisis Cinemático de la Estación 06

Análisis cinemático de la Estación N° 06, realizado en el DIPS v.6.

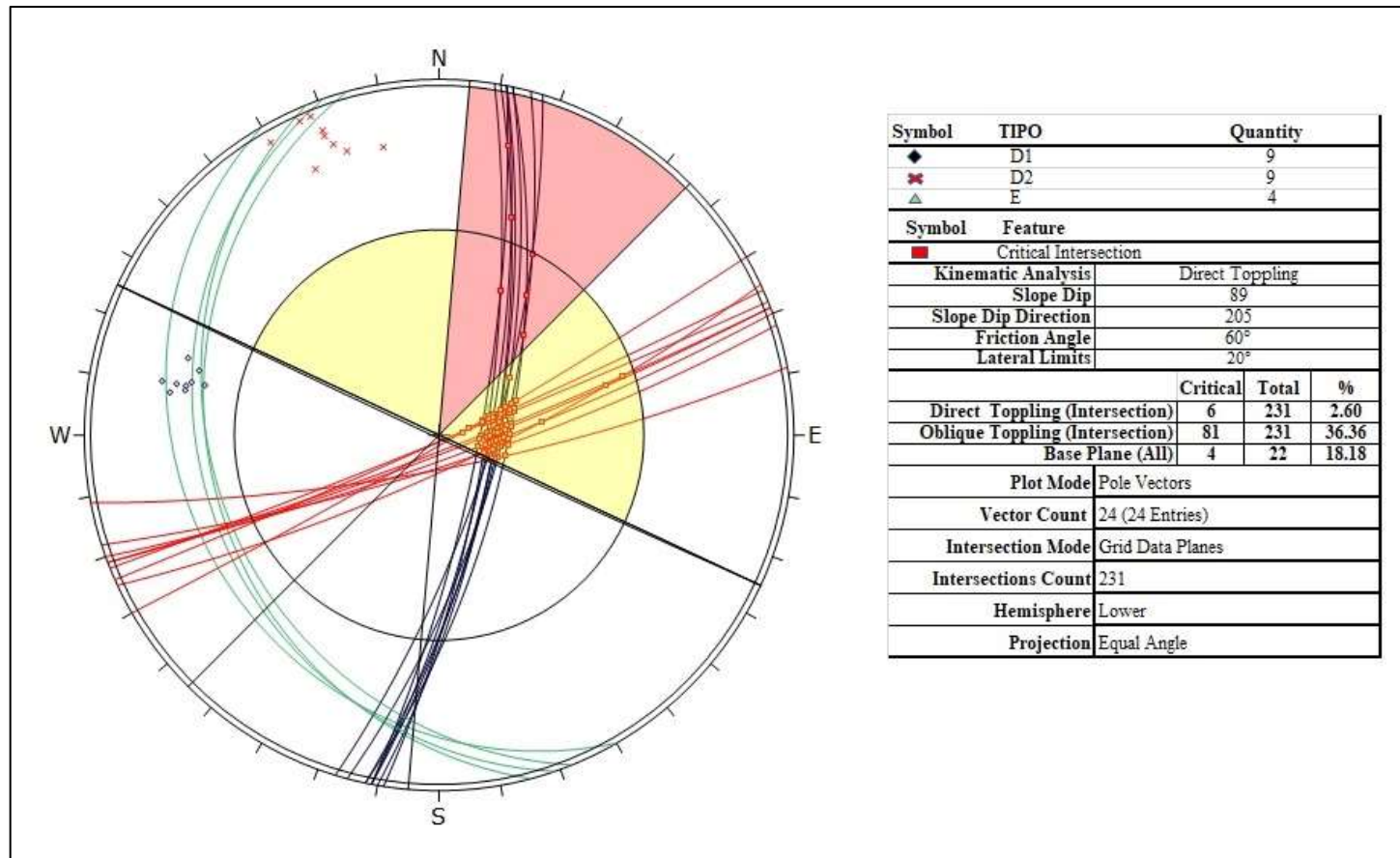


Figura 31. Análisis cinemático de la Estación N° 06, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con los estratos, el análisis cinemático es del tipo Direct Toppling (derribo directo) con un 2.60%, Oblique Toppling (derribo directo) con un 2.60%, Oblique Toppling (derribo oblicuo) con un 36.36 %, y una base plane (base planar) con un 18.18% y un ángulo de fricción de 60°.



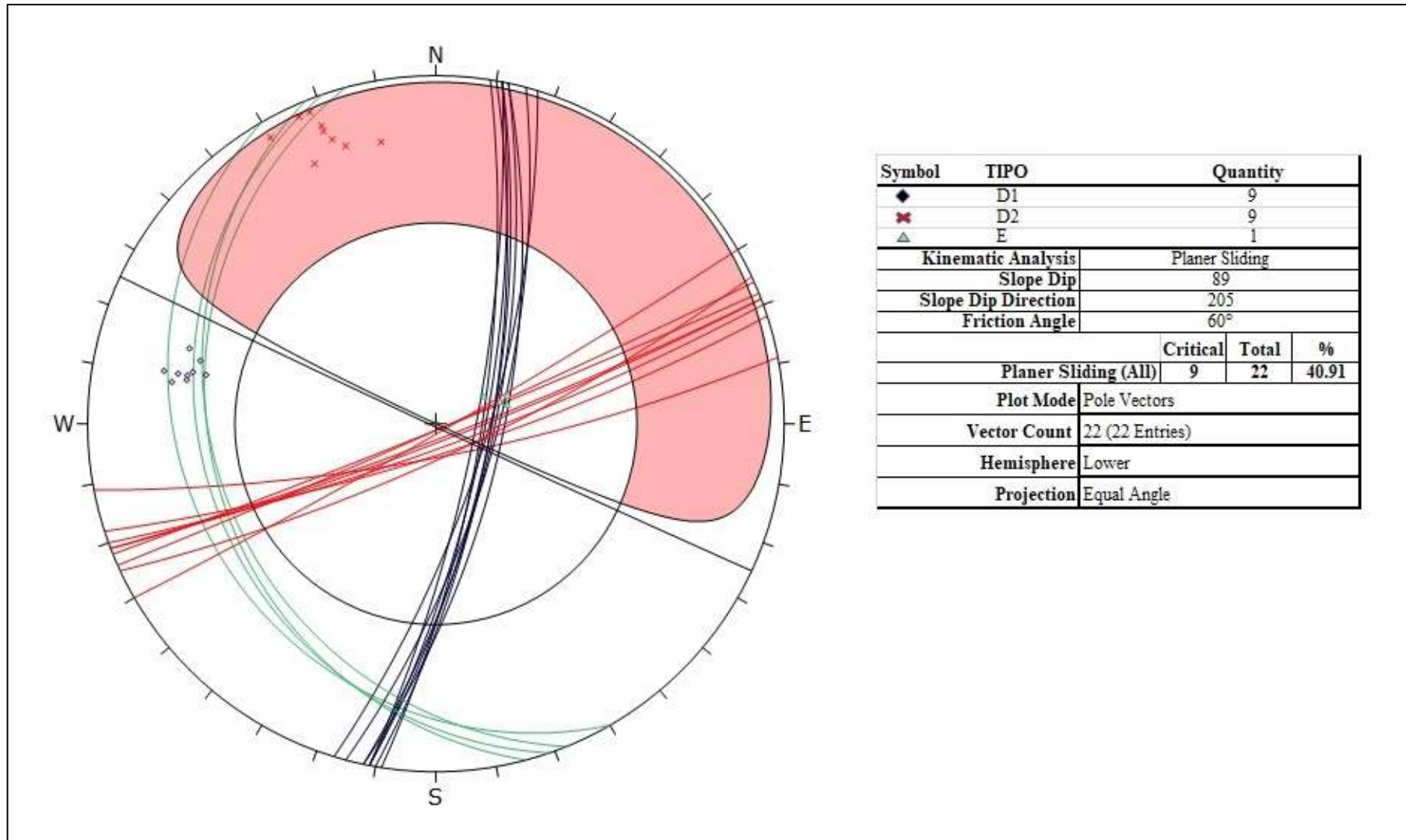


Figura 32. Análisis cinemático de la Estación N° 06, donde se puede observar intersecciones críticas entre las diaclasas de la familia 1 y 2 con los estratos, el análisis cinemático es del tipo planar sliding (deslizamiento planar) con un 40.91% y un ángulo de fricción de 60°.

## B. Análisis slide de la estación 06 en condiciones normales.

Modelo geomecánico generado en el software Slide v.6, en condiciones naturales con datos obtenidos del Rock Data.

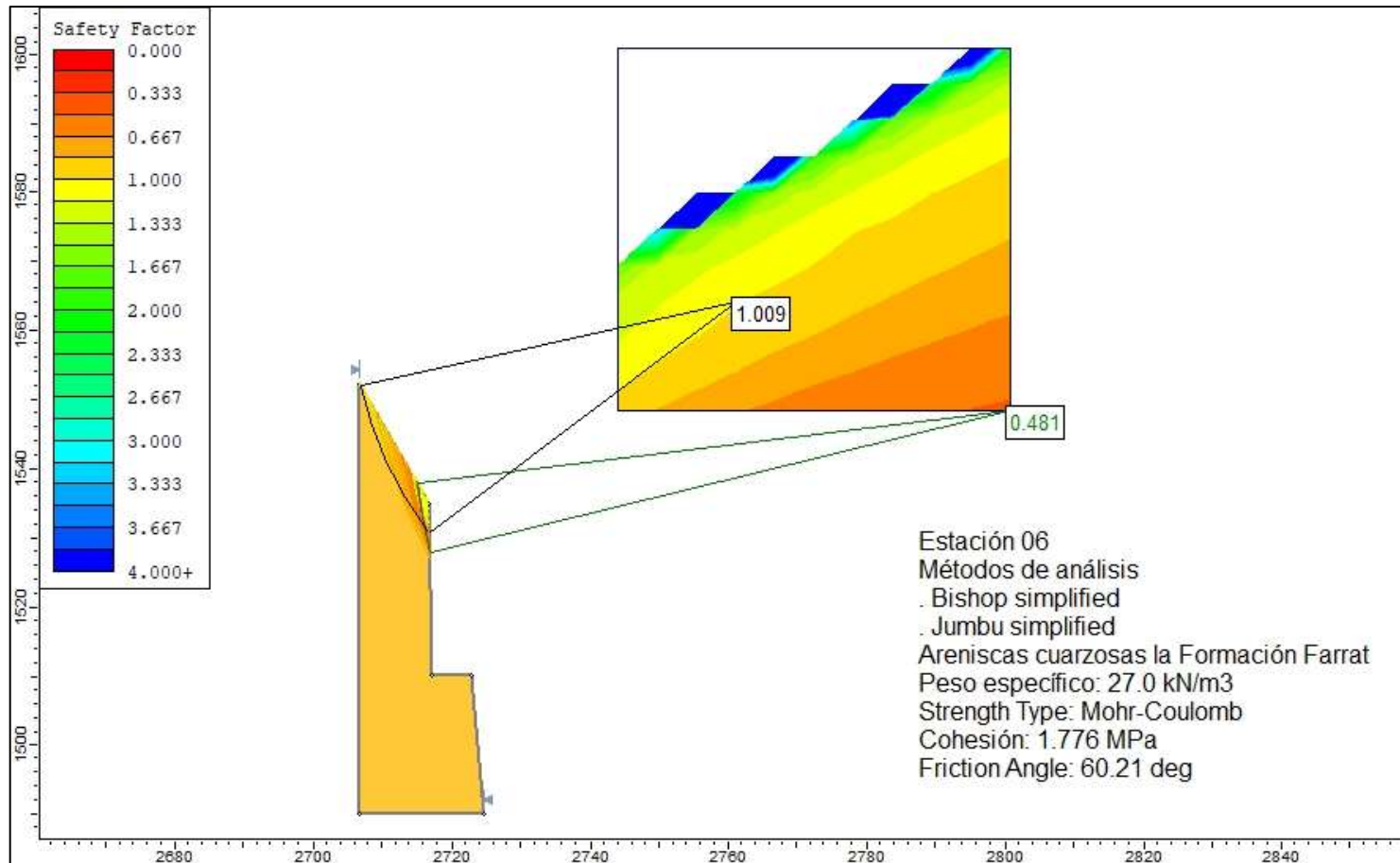


Figura 33. Análisis Slide de la Estación N° 06, donde muestra un Factor de Seguridad de 0, 481, siendo una zona crítica por inestabilidad del talud, pero si se realizara una corrección de 1.009, siendo más estable.

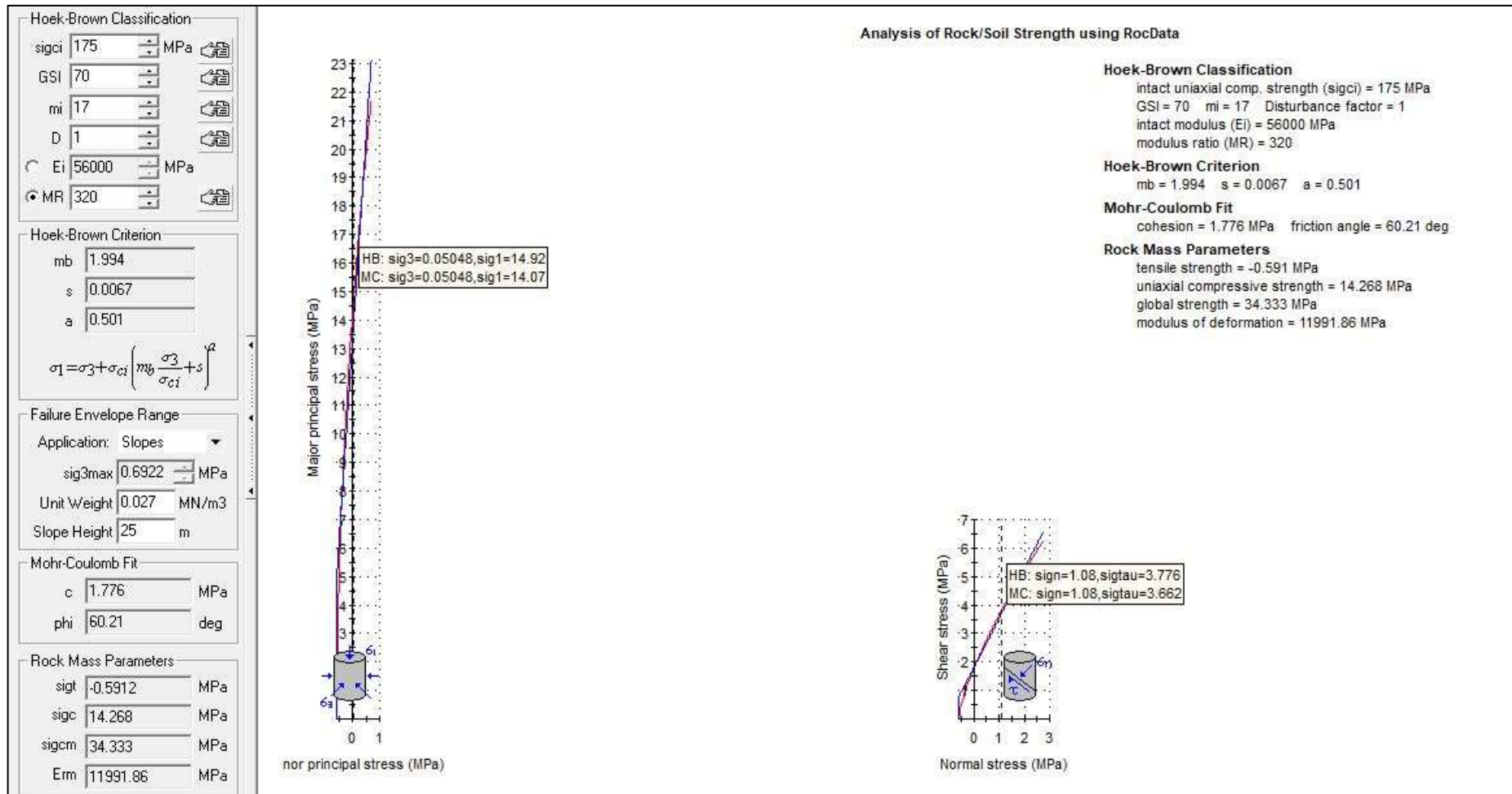


Figura 34. Análisis Rock data de la estación N° 06, obteniendo resultados que luego sean utilizados en el Slide, para determinar el Factor de Seguridad de la Estación.

C. Analisis slide de la estacion 06 en condiciones normales sometidas a sismicidad.

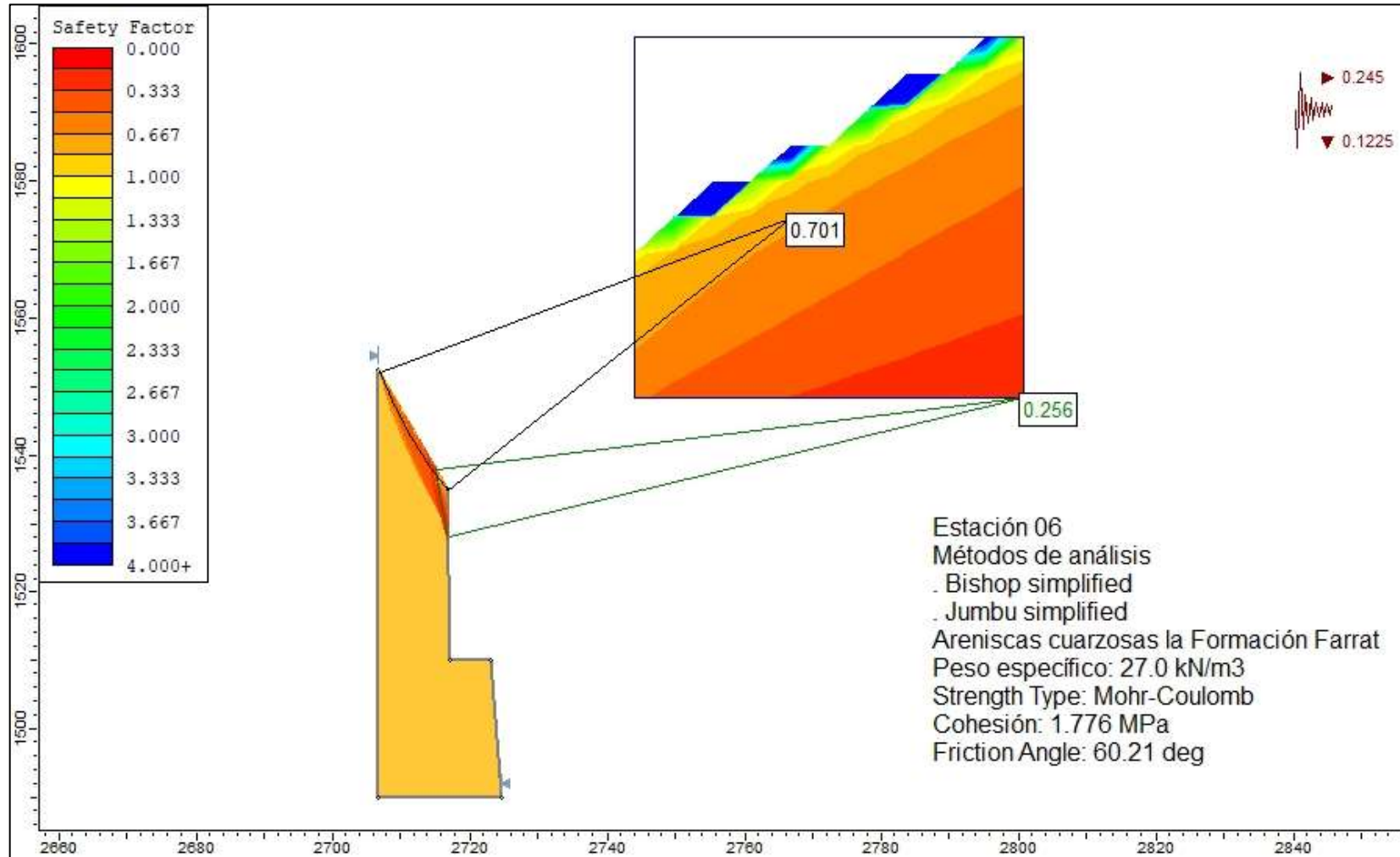


Figura 35. Analisis Slide de la Estación N° 06, donde muestra un Factor de Seguridad de 0.256 y una corrección de 0.701, determinándose que la zona es inestable.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Las estaciones con taludes inestables en el tramo de carretera San Juan - Huacraruco del km 3 + 000 al km 6 + 200, se ha realizado mediante seis estaciones de rocas, presentadas en la tabla 16, obteniéndose dicha información procesando la data recopilada en campo, mediante Software AutoCad 2016, en el cual se realizaron las secciones transversales para luego ser procesada en Slide; además se usó el software Rock Data, del cual se obtuvieron los coeficientes de la resistencia a la compresión uniaxial, tales como:  $m_i$  y  $m_b$ ; además de los parámetros y coeficientes Geomecánicos, para luego procesar dichos resultados en el software Slide, donde se obtienen los Factores de Seguridad de cada una de las estaciones tanto en condiciones naturales (TT) y con la condición sísmica, donde se puede observar que los valores difieren debido a que con carga sísmica la estabilidad se ve afectada aún más, convirtiéndose por lo tanto en “Zonas Inestables Absolutas”, donde tienen un rango de: 0.00 a 0.89, observada en la tabla 17.

Cuando los Taludes son sometidos a condiciones de sismicidad mediante el software Slide, se obtiene los siguientes los valores en base a los siguientes factores:

- Zona sísmica: 3, aceleración máxima: 0.3-0.4 gal = 0.35 gal (promedio)
- Coeficiente de amplificación topográfica: 1.4 (taludes con pendientes mayores a 30°)
- Categoría de perfil estratigráfico: A (1, roca u otra formación geológica similar a roca)
- Amplificación estratigráfica “ $K_h$ ” = 0.245
- Parámetros de Zona “ $K_v$ ” = 0.1225



Es así que en condiciones Naturales (TT) los taludes de las seis estaciones presentan inestabilidad absoluta porque el Factor de Seguridad está en un rango de 0.00 – 0.89, según Hoek, siendo este como máximo 0.625 y mínimo 0.328, lo cual indica la inestabilidad de los Taludes, estando en una zona altamente crítica, además de que el Factor de Seguridad Natural con respecto a condiciones de sismicidad disminuye notoriamente (Tabla 16), esto es debido a las características Litológicas que presentan los macizos rocosos.

Tabla 16. Factores de Seguridad de las seis estaciones.

FACTOR DE SEGURIDAD				
<i>Estación(N°)</i>	<i>Formación/ Litología</i>	<i>Condición</i>	<i>F.S</i>	<i>Estado de Talud en función al F.S Natural o TT</i>
1	Pariatambo (calizas bituminosas)	TT	0.598	Inestable Absoluto
		TT + Sismicidad	0.327	
2	Chúlec (calizas nodulares)	TT	0.625	
		TT + Sismicidad	0.384	
3	Inca (areniscas y lutitas ferruginosas deleznales)	TT	0.371	
		TT + Sismicidad	0.121	
4	Inca (areniscas blanquecinas)	TT	0.328	
		TT + Sismicidad	0.115	
5	Farrat (areniscas blanquecinas)	TT	0.549	
		TT + Sismicidad	0.285	
6	Farrat (areniscas granulares)	TT	0.481	
		TT + Sismicidad	0.256	

Tabla 17. Zonificación del área de estudio según los factores de seguridad.

FACTOR DE SEGURIDAD	
<i>Rango</i>	<i>Estado del Talud</i>
<b>0.00 – 0.89</b>	Inestable Absoluto
<b>0.90 – 0.99</b>	Inestable Relativo
<b>1.00 – 1.29</b>	Estable Relativo
<b>1.30 – 1.49</b>	Estable Temporalmente
<b>1.50 – 2.99</b>	Estable Permanentemente
<b>3.00 – 15.00</b>	Estable Absoluto

Fuente: Hoek, 2007.

Además de ello presentamos en la tabla 18, “Clasificación Geomecánica” de las seis estaciones estudiadas, donde podemos observar que las estaciones: E1, E2, E5 y E6, presentan un  $RMR_{(89)}$  de clase II y calidad Buena, y un RQD del tipo Bueno, y las estaciones E3 y E4 presentan un  $RMR_{(89)}$  de clase III, de calidad Media y un RQD de tipo Regular, además de obtener el GSI en el rango de 46 a 70, siendo así que estamos ante macizos rocosos afectados por el grado de meteorización, además de verse afectadas por condiciones geodinámicas externas, teniendo como principales condicionantes para la inestabilidad al agua (precipitaciones) que infiltran en la roca a través de las fracturas debilitando las paredes de estas y permitiendo que la meteorización deteriore la estructura externa e interna de estas rocas, determinando la inestabilidad de los taludes, además de ello también está sujeta al condicionante de la litología, y sobre todo a la pendiente del talud, el cual afecta gravemente la estabilidad de los taludes generando caídas de rocas.

Tabla 18. Clasificación Geomecánica de las estaciones analizadas.

<b>CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA</b>					
<i>Estaciones</i>	<i>RMR</i>		<i>RQD</i>		<i>GSI</i>
E1	63	II - Buena	80.88	Bueno	58
E2	68	II - Buena	87.81	Bueno	63
E3	51	III - Media	69.90	Regular	46
E4	59	III - Media	73.58	Regular	54
E5	75	II - Buena	80.88	Bueno	70
E6	63	II - Buena	77.25	Bueno	58

#### **4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Para poder determinar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos nos basamos en el análisis de rocas mediante el método de Hoek y Brown generalizado, analizando para ello los factores geológicos tanto litología como discontinuidades, y parámetros Geomecánicos (RMR, RQD y GSI), y propiedades tales como: cohesión, Angulo de fricción, resistencia a la compresión uniaxial y datos obtenidos a través de mediciones y valoraciones en campo, para posteriormente ser utilizado en el análisis de los taludes tanto en condiciones normales como en condiciones de sismicidad, determinando así que la inestabilidad de los taludes está directamente relacionada a la precipitación, propiedades físicas del talud, tales como: pendiente y altura del talud, además del tipo de litología y agentes externos como son

meteorización y erosión, siendo así que los taludes más inestables los encontramos en la Formación Inca, debido a que está compuesta por rocas areniscas blandas y lutitas ferruginosas, pero pese a la buena calidad de las rocas en las formaciones Pariatambo, Chúlec y Farrat, se obtuvo el factor de seguridad en condiciones normales de 0.328 a 0.625, siendo altamente inestable (inestable absoluto), esto es debido principalmente a la pendiente y altura del talud, lo cual propicia la caída de rocas, al ser bloques enormes de roca; disminuyendo el factor de seguridad en condiciones de sismicidad, lo cual indica que al estar sometida el área a esta variable, se generaría el desprendimiento de estos bloques, afectando el libre tránsito por la carretera, y causando accidentes de diferentes tipos, ya que cerca existen pequeñas casas.

#### **4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

Los taludes ubicados en la carretera San Juan – Huacraruco, compuestos por rocas sedimentarias del cretáceo, de las formaciones: Pariatambo, Chúlec, Inca y Farrat, están determinadas por zonas críticas o de inestabilidad debido a los condicionantes geodinámicos externos, como la meteorización que en combinación con las precipitación en tiempos de lluvia socaban las rocas, disminuyendo la resistencia de estas, además de otros factores litológicos – discontinuidades, geomorfológicos, cinemáticos - estructurales, se pudo determinar que conjuntamente con los parámetros geomecánicos, las propiedades geométricas del mismo talud, tales como: pendiente y altura de talud, determinan notoriamente la inestabilidad de dichos taludes, obteniendo como resultado el factor de seguridad menor a uno, indicando que son zonas críticas por inestabilidad, con ello confirma por contrastado y verificada la hipótesis inicialmente planteada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

El comportamiento geomecánico de los macizos rocosos y taludes, se obtuvo mediante parámetros de RMR, RQD Y GSI, determinando para la E1, E2, E5 y E6, un RMR <sup>(89)</sup> de clase II y calidad Buena, y un RQD del tipo Bueno, y las estaciones E3 y E4 presentan un RMR <sup>(89)</sup> de clase III, de calidad Media y un RQD de tipo Regular, además de obtener el GSI en el rango de 46 a 70.

Se logró obtener los factores de seguridad en el análisis, los cuales fueron sometidos a condiciones normales variando de 0.328 a 0.625 y en condiciones de sismicidad nos dio una valoración de 0.115 – 0.384, siendo para ambos casos zonas inestables absolutas, lo cual indica que esta propensa a caída de rocas o posibles deslizamientos.

Los factores determinantes para la inestabilidad de los taludes son además de la precipitación, condiciones geomecánicas y geotécnicas, sísmicas; las propiedades físicas y geométricas del mismo talud, evidenciados en la pendiente del talud y la altura, los cuales de manera conjugada generan inestabilidad.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar monitoreos constantes en los meses de mayor precipitación para así poder controlar los deslizamientos de rocas en la zona de estudio.

La zona de estudio no cuenta con estructuras de drenaje, por lo cual se recomienda una pronta implementación para poder preservar los taludes y la plataforma de la carretera.

En las zonas críticas se recomienda aplicar distintos métodos de estudio para poder implementar sistemas de sostenimiento adecuado para cada caso, pudiendo ser un mejor perfilado del talud, pernos de anclaje u otro ideal para la zona.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALejándrez, J. M. (2010). Estudio para la Estabilización de corte ubicado en el lado Izquierdo de la carretera Federal N° 54 Guadalajara - Saltillo, Estado de Jalisco.

Obtenido de:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1407/Tesis.pdf?sequence=1>:

Belandría, N., & Bongiorno, F. (2012). Clasificaciones Geomécanica de los Macizos Rocosos Según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. (Mérida-Venezuela, Ed.) Obtenido de:

[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia\\_geotecnia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf)

Bieniawski. (1974). Estimating the strength of rock materials (Vol. 74).

Galván, S. A. (Agosto de 2012). Método de análisis simplificado para un nuevo tipo decimentación en suelos blandos Obtenido de:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5114/TESIS%20DOCTORAL.pdf?sequence=1>

Gonzales de Vallejo, L. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid, España: Prentice Hall.

Hurtado, J. E. (s.f.). Soluciones Geotécnicas en Estabilidad de Taludes. Obtenido de [http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/labgeo30\\_p.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo30_p.pdf)

Melentijevic, S. (Madrid, 2005). Estabilidad de Taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada. Obtenido de

<http://oa.upm.es/722/1/04200507.pdf>

Lillo & Oyarzun. (2013). Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera. España.

Montoya. (2014). Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán. Cajamarca.

Perálvarez, J. D. (2012). Tesis Doctoral Movimientos de Laderas en la Vertiente Meridional de Sierra Nevada (Granada, España): Identificación, Analisis y

Cartografía de susceptibilidad y peligrosidad mediante SIG. Obtenido de <https://www.ugr.es/~jorgejp/tesis/archivos/texto.pdf>

Ramirez, P. O., & Alejano, L. M. (s.f.). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Obtenido de [http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA\\_DE\\_ROCAS\\_1.pdf](http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf)

Sáenz, E. J. (2015). Evaluación Geotécnica de los Taludes en el Tramo de Carretera El Gavilán - Chigden. Cajamarca.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 01: PLANOS**

- **Plano N° 01: UBICACIÓN.**
- **Plano N° 02: IMAGEN SATELITAL.**
- **Plano N° 03: MDE (MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES).**
- **Plano N° 04: GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL.**
- **Plano N° 05: GEOMORFOLÓGICO – ALTITUDINAL.**
- **Plano N° 06: UNIDADES MORFOGENÉTICAS.**
- **Plano N° 07: GEOTÉCNICO.**