

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



TESIS PROFESIONAL

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA ANALIZAR LA INESTABILIDAD DE LOS
TALUDES EN LA CARRETERA DE LOS Km. 128 a Km. 140 DE LA
CARRETERA CAJAMARCA – CIUDAD DE DIOS, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**

Tesista:

Bachiller: EMILIO VILLANUEVA VILLENA

Asesor:

Ing. ROBERTO SEVERINO GONZÁLES YANA

CAJAMARCA – PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

A la escuela Académico Profesional de Ingeniería geológica, en especial a sus docentes quienes inculcaron en mí, valores y conocimiento para desarrollar en el campo profesional.

Asimismo, al Ing. Roberto Gonzales Yana, por guiarme en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres y familiares, en especial a mi esposa e hijos que con su apoyo y comprensión he logrado terminar una parte de mi camino profesional.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE FOTOS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	13
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación.	15
2.2 Bases Teóricas.....	16
2.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS.....	16
2.2.2 Clasificación de Rocas	17
2.2.2.1 RQD. – Deere (1968)	18
2.2.2.2 RMR. – Bieniawski (1989)	18
2.2.2.3 GSI. – Hoek (1994).....	20
2.2.2.4 SMR. – Romana (1985).....	20
2.2.3 Criterios de Rotura	22
2.2.3.1 Criterios de Hoek y Brown.....	22
2.2.3.2 Criterios de Mohr – Coulomb.....	23
2.2.4 Análisis de Taludes	24
2.2.4.1 Rotura en Suelos.....	25
2.2.4.2 Rotura en Rocas	25
2.3 Definición de Términos Básicos.	27
CAPÍTULO III	29
MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1 Ubicación de la Investigación.....	29
3.1.1 Política	29

	Pág.
3.1.2	Geográfica..... 29
3.1.3	Accesibilidad 30
3.1.4	Clima 31
3.1.5	Vegetación 31
3.1.6	Geología local 32
3.1.6.1	Rocas sedimentarias 32
3.1.6.2	Depósitos Cuaternarios 35
3.1.7	Geología Estructural 37
3.2	Procedimientos 38
3.2.1	Metodología 38
3.2.2	Técnicas..... 40
3.2.3	Instrumentos y Equipos 40
3.3	Geotecnia..... 41
3.3.1	Determinación de Parámetros Geotécnicos 42
3.3.1.1	Talud 1: km 128+000 al 128+050 44
3.3.1.2	Talud 2: km 128+200 al 128+250 45
3.3.1.3	Talud 3: km 128+430 al 128+455 47
3.3.1.4	Talud 4: km 129+330 al 129+410 48
3.3.1.5	Talud 5: km 130+165 al 130+500 50
3.3.1.6	Talud 6: km 131+220 al 131+250 51
3.3.1.7	Talud 7: km 132+770 al 132+820 53
3.3.1.8	Talud 8: km 133+700 al 133+750 54
3.3.1.9	Talud 9: km 134+930 al 134+980 56
3.3.1.10	Talud 10: km 136+680 al 136+730 57
3.4	Análisis de Datos y Presentación de Resultados 59
3.4.1	Talud 1 61
3.4.2	Talud 2 63
3.4.3	Talud 3 65
3.4.4	Talud 4 65
3.4.5	Talud 5 66
3.4.6	Talud 6 69
3.4.7	Talud 7 71
3.4.8	Talud 8 73

	Pág.
3.4.9 Talud 9.....	75
3.4.10 Talud 10	76
CAPÍTULO IV.....	79
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
CAPÍTULO V	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1 Conclusiones.....	83
5.2 Recomendaciones.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Sistema Unificado de Clasificación de suelos – SUCS.	17
Tabla 2: Clasificación Geomecánica RQD. (Rock Quality Designation).....	18
Tabla 3: Clasificación geomecánica para taludes según Bieniawski.....	19
Tabla 4: Clasificación según RMR. de Bieniawski 1989.....	19
Tabla 5: Clasificación de GSI. (Geological Strength Index).....	20
Tabla 6: Clasificación geomecánica para taludes SMR.	22
Tabla 7: Coordenadas según delimitación de progresivas.....	29
Tabla 8: Progresivas de taludes.....	42
Tabla 9: Valores de la constante m_i para roca intacta.....	43
Tabla 10: Valores de MR por tipo de roca.....	43
Tabla 11: Propiedades geomecánicas del Talud 1.....	44
Tabla 12: Propiedades geomecánicas del Talud 2.....	45
Tabla 13: Propiedades geomecánicas del Talud 3.....	47
Tabla 14: Propiedades geomecánicas del Talud 4.....	48
Tabla 15: Propiedades geomecánicas del Talud 5.....	50
Tabla 16: Propiedades geomecánicas del Talud 6.....	51
Tabla 17: Propiedades geomecánicas del Talud 7.....	53
Tabla 18: Propiedades geomecánicas del Talud 8.....	54
Tabla 19: Propiedades geomecánicas del Talud 9.....	56
Tabla 20: Propiedades geomecánicas del Talud 10.....	57
Tabla 21: Factor de Seguridad según Normas Nacionales e Internacionales	59
Tabla 22: Resumen del Factor de Seguridad de los taludes analizados	80
Tabla 23: Resumen de rotura por cuña de los taludes.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Envolvente de Falla Criterio de Mohr Coulomb. Fuente (Hoeck y Brown 2002).	24
Figura 2: Tipos de superficie de rotura en suelos. Fuente (Gonzales de Vallejo 2004).	25
Figura 3: Condiciones para una rotura planar. Fuente (Gonzales de Vallejo 2004).	26
Figura 4: Condiciones que se forma una rotura en cuña. Fuente (Gonzales de Vallejo 2004).	27
Figura 5: Ubicación Política del distrito de San Juan y Magdalena	29
Figura 6: Parámetros geomecánicos del Talud 1 en Software RocData.	45
Figura 7: Parámetros geomecánicos del Talud 2 en Software RocData.	46
Figura 8: Parámetros geomecánicos del Talud 3 en Software RocData.	48
Figura 9: Parámetros geomecánicos del Talud 4 en Software RocData.	49
Figura 10: Parámetros geomecánicos del Talud 5 en Software RocData.	51
Figura 11: Parámetros geomecánicos del Talud 6 en Software RocData.	52
Figura 12: Parámetros geomecánicos del Talud 7 en Software RocData.	54
Figura 13: Parámetros geomecánicos del Talud 8 en Software RocData.	55
Figura 14: Parámetros geomecánicos del Talud 9 en Software RocData.	57
Figura 15: Parámetros geomecánicos del Talud 10 en Software RocData.	58
Figura 16: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 1.	61
Figura 17: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 1.	62
Figura 18: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 2.	63
Figura 19: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 2.	64
Figura 20: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 3.	65
Figura 21: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 4.	66
Figura 22: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 5.	67
Figura 23: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 5.	68
Figura 24: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 6.	69
Figura 25: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 6.	70
Figura 26: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 7.	71
Figura 27: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 7.	72

	Pág.
Figura 28: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 8.	73
Figura 29: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 8.	74
Figura 30: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 9.	75
Figura 31: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 9.	77
Figura 32: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 10.	76
Figura 33: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 10.	78

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1: Vía de acceso a la zona de estudio carretera Cajamarca - Ciudad de Dios km 130 + 500.	30
Foto 2: Vegetación ribereña, con presencia de algarrobo-sapotal.	31
Foto 3: Calizas intercaladas con margas gris amarillentas de estratos delgados. Zona carrera a Choropampa, km 128 + 230.	32
Foto 4: Calizas bituminosas con intercalación de lutitas km 130+650, zona Los Naranjos.	33
Foto 5: Calizas grises de la Formación Yumagual (N 9194664, E 772692, cota 1890).	34
Foto 6: Calizas masivas de la Formación Quilquiñan-Mujarrúm (N 9194746, E 772982, cota 1933).	34
Foto 7: Calizas masivas de la Formación Cajamarca (N 9194664, E 772692, cota 1890).	35
Foto 8: Depósito Eluvial producto de la meteorización in situ de las rocas carbonatas (N 9194565, E 772405, cota 1894).	36
Foto 9: Depósitos coluvio-aluviales con contenido de gravas, arenas, limos y arcillas (N 9194578, E 772506, cota 1895).	36
Foto 10: Estratificación de calizas de la Formación Yumagual, en los alrededores del puente carrozada San Juan.	37
Foto 11: Eje del Sinclinal en el puente El Tingo y anticlinal en la zona Naranjito, en calizas.	38
Foto 12: Talud compuesto por caliza y lutita de la Formación Chulec.	44
Foto 13: Talud compuesto por caliza y lutita de la Formación Chulec.	46
Foto 14: Talud compuesto por suelo semi-consolidado.	47
Foto 15: Talud compuesto por suelos semi-consolidado.	49
Foto 16: Talud compuesto por calizas bituminosas de Formación Pariatambo....	50
Foto 17: Talud compuesto por calizas de la Formación Yumagual.	52
Foto 18: Talud compuesto por calizas masivas del Grupo Quilquiñan-Mujarrun..	53
Foto 19: Talud compuesto por calizas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun.....	55
Foto 20: Talud compuesto por calizas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun.....	56
Foto 21: Talud compuesto por calizas de color amarillentas por meteorización de la Formación Yumagual.....	58

RESUMEN

El análisis de talud es muy importante en proyectos viales, por ello en el presente trabajo de investigación se analizó los taludes de la carretera San Juan – Choropampa comprendida entre el km 128 al km 140; geológicamente estos taludes, están constituidos por las Formaciones Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Quilquinan-Mujarrun y Cajamarca, además de depósitos cuaternarios eluviales, coluviales y coluvio-aluviales, los cuales se encuentran afectados por procesos de geodinámica externa incrementando la inestabilidad de los taludes; siendo mayor el riesgo en periodos de intensas y prolongadas precipitaciones pluviales. Se identificaron 10 taludes, que fueron analizados con el Software Slide v 6.0 (Método de Equilibrio Límite), utilizando los factores geológicos de cada talud, para la determinación de los parámetros geomecánicos de las unidades geológicas, mediante el análisis en el Software RocData v 4.0. El Criterio de Mohr-Coulomb fue utilizado para los taludes de suelos y el Criterio Generalizado de Hoek-Brown para los taludes de roca. Con todos estos datos se obtuvieron los factores de seguridad en los taludes, en condiciones estáticas y considerado como obra permanente; como resultado se obtuvo el factor de seguridad (FS) de cada talud. Siendo los taludes inestables, los que se encuentran el tramo del km 128+000 al km 131+250, con un factor de seguridad menor a 1.53.

Palabras claves: Análisis de Estabilidad, Factor de Seguridad, Método de Equilibrio Limite.

ABSTRACT

The slope analysis is very important in road projects, in the present research work was analyzed in the slopes of the San Juan - Choropampa highway included between km 128 to km 140; These slopes are geologically formed by eluvial, colluvial and colluvio-alluvial quaternary deposits, the Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Quilquinan-Mujarrún and Cajamarca Formations, which are affected by external geodynamic processes, increasing the instability of the slopes; The greatest risk in periods of intensity and prolonged rainfall. Ten slopes were identified, which were analyzed with the Software Slide v 6.0 (Limit Equilibrium Method), using the geological factors of each slope, for the determination of the geometrical parameters of the geological units, by means of the analysis in the software RocData v 4.0 . The Mohr-Coulomb Criterion was used for soil soils and the Hoek-Brown Generalized Criterion for rock slopes. With all these data the safety factors were obtained in the slopes, in static conditions and considered as a permanent work; as a result, the safety factor (FS) of each slope was obtained. The unstable slopes are those located in the section from km 128 + 000 to km 131 + 250, with a safety factor of less than 1.53.

Keywords: Stability Analysis, Safety Factor, Balancing Method Limit.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El análisis de estabilidad de taludes es una de las principales etapas dentro del estudio de las evaluaciones geotécnicas. Los taludes en suelos y macizos rocosos se encuentran presentes en las obras de Ingeniería Civil y de Minería, como carreteras, canales, accesos a puentes, túneles, represas, gaseoductos y oleoductos, excavaciones a cielo abierto, así como en las canteras de piedra ornamental, entre otras.

En la ingeniería actual existe la tendencia de proyectar taludes cada vez más altos, siendo más frecuente el uso de técnicas que permitan determinar el factor de seguridad del talud en función de la caracterización geológica y los modos de rotura. Los métodos estereográficos y de equilibrio límite son ampliamente utilizados en los análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos y suelos.

Teniendo en consideración las condiciones intrínsecas de los suelos y rocas, además de sus características físico mecánicas, así como los procesos de geodinámica externa y algunos factores desencadenantes como son las precipitaciones pluviales, en el presente trabajo de investigación se ha planteado las siguientes preguntas: ¿Cuál es el comportamiento geotécnico que define la inestabilidad influenciado por los factores geométricos, geológicos -estructurales, geotécnicos y por la geodinámica externa de los taludes de la carretera entre los Km. 128 a km 140?

Definiendo como justificación que los desprendimientos y deslizamientos de rocas y suelos en la carretera con taludes inestables constituyen un riesgo constante para las personas que transitan por dicha vía. En las progresivas de estudio se ha reportado, por parte de las comunidades aledañas deslizamientos de los taludes en la carretera que comprende entre los Km. 128 a km 140, en épocas de lluvia. En vista de ello es necesario realizar la evaluación geotécnica de los taludes, para

analizar la inestabilidad con el Factor de Seguridad y determinar que los factores geométricos, geológicos-estructurales y geotécnicos determinan la inestabilidad para plantear propuestas geotécnicas con la finalidad de mitigar los peligros geológicos existentes.

Por lo cual se busca lograr el objetivo, evaluar el comportamiento geotécnico para analizar la inestabilidad de taludes en la carretera San Juan – Choropampa. Apoyándonos en los siguientes objetivos específicos: realizar el cartografiado geológico-estructural, caracterizar el macizo rocoso y los suelos, analizar el Factor de Seguridad para determinar las zonas inestables. Todo esto suma en la presente investigación para contrastar la hipótesis que manifiesta a los factores geométricos, geológicos, estructurales, hidrogeológicos y geotécnicos están relacionados con el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos y los depósitos cuaternarios en la carretera San Juan – Choropampa, e influenciada también por la geodinámica externa, provocan la inestabilidad de los taludes.

El presente trabajo de investigación consta de V capítulos, además las referencias bibliográficas y los anexos. El capítulo II, comprende los antecedentes teóricos y definición de términos básicos en materia del análisis de taludes, se describen las bases teóricas de las clasificaciones geomecánicas y los criterios de rotura. El Capítulo III, correspondiente a materiales y métodos describe la ubicación geográfica, el clima, la vegetación, las características geológicas, estructurales y geotécnicas donde se realizó la investigación; así como la metodología empleada para determinar la estabilidad de los taludes identificados utilizando el software RocData, Slide y Dips. El capítulo IV muestra los resultados obtenidos en función de los objetivos perseguidos, mostrando el factor de seguridad para cada talud analizado. Finalmente, el capítulo V, presenta las conclusiones principales de acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se plantea algunas recomendaciones sobre medidas a tomar y futuras investigaciones que ayuden a mejorar los resultados obtenidos hasta el momento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación.

Los estudios a nivel regional y local (Cajamarca) son realizados en gran parte por el área de Geología del INGEMMET. en geología, geodinámica y en nuestro caso en inestabilidad de taludes quienes presentan investigaciones; los cuales brindan información de años anteriores y recientes.

Los trabajos de investigaciones realizadas en temas de Geológica y Geotécnica son las siguientes:

Reyes (1980). Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Enfocándose al contexto Geológico regional en los aspectos de la estratigrafía, tectónica y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región.

Vilchez y Guerrero (2006). Realizaron un informe preliminar del inventario y cartografiado sistemático de Peligros Geológicos en la cuenca Jequetepeque, identificando las ocurrencias de movimientos en masa, evaluación de centros poblados y obras de infraestructura vulnerables a los peligros geológicos y la identificación de zonas críticas.

Zavala y Rosado (2011). Riesgos geológicos en la región de Cajamarca, en el ámbito regional como parte de las cuencas medio-altas de la vertiente pacífica, donde se analizaron las características climáticas, geológicas y sísmicas que conllevan a la ocurrencia de procesos geodinámicos y determinaron 117 zonas de peligrosidad y susceptibilidad en la región Cajamarca.

Mercado (2014). Análisis de inestabilidad de taludes en zonas críticas en la carretera Cajamarca-Celendín en el tramo km. 52+000-km 94+400. En esta tesis

se evalúa zonas críticas para la estabilidad de los taludes en la carretera Cajamarca –Celendín tramo Km 52 al Km 94.

Montoya (2014). Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán. Esta tesis busca determinar el comportamiento litomorfoestructural, la identificación de los factores que controlan y propician las condiciones geomecánicas, para conocer las características geotécnicas de los taludes en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán.

Sáenz (2015). Realizó un estudio en el tramo de la Carretera El Gavilán - Chigden, donde analizó la relación que tenían las características litológicas, morfológicas y estructurales y como intervenían en la inestabilidad de taludes de dicha carretera.

Torres (2015). Realizó una Evaluación Geotécnica de los Deslizamientos en Taludes de la Carretera Peña Blanca - Choropampa, donde analizó el comportamiento geotécnico - geomecánico de los deslizamientos a lo largo de la carretera teniendo en cuenta las características litomorfoestructurales de los taludes.

2.2 Bases Teóricas.

Los suelos se clasifican de acuerdo a su granulometría y plasticidad el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS propuesto por Casagrande en 1942 se usa actualmente en problemas de geotecnia. La clasificación SUCS. separa al suelo en dos grandes categorías suelos granulares y suelos finos que depende del porcentaje de finos que pasa la malla número 200, si más del 50 % en peso pasa esta malla el suelo es fino, de lo contrario el suelo es considerado de grano grueso.

2.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS

Los suelos adquieren su nomenclatura en ingeniería de acuerdo a su granulometría, este sistema fue propuesto por Casagrande, (1942). Varias organizaciones desarrollaron límites de tamaño de suelo separado evolucionando finalmente hasta el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS.).

Tabla 1: Sistema Unificado de Clasificación de suelos – SUCS.

Divisiones Mayores		Símbolo del Grupo	Nombre del grupo	
Suelos granulares gruesos más del 50% retenido en el tamiz n°200 (0.075 mm)	Grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz n°4 (4.75 mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GW Grava bien graduada, grava fina a gruesa	
			GP Grava pobremente graduada	
		Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	GM Grava limosa	
			GC Grava arcillosa	
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n°4	Arena limpia	SW Arena bien graduada, arena fina	
			SP Arena pobremente graduada	
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	SM Arena limosa	
			SC Arena arcillosa	
	Suelos de grano fino más del 50% pasa el tamiz No.200	Limos y arcillas límite líquido < 50	Inorgánico	ML Limo
				CL arcilla
Limo y arcilla límite líquido ≥ 50		Orgánico	OL Limo orgánico, arcilla orgánica	
		Inorgánico	MH Limo de alta plasticidad, limo	
			CH Arcilla de alta plasticidad	
		Orgánico	OH Arcilla orgánica, Limo orgánico	
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba	

Fuente. (Braja 2001).

2.2.2. Clasificación de Rocas

Para poder ver las propiedades geotécnicas de las rocas en los taludes se utiliza las siguientes clasificaciones: Geological Strength Index (GSI.), Rock Quality Designation (RQD.), Rock Mass Rating (RMR.) y Slope Mass Rating (SMR.).

2.2.2.1 Rock Quality Designation (RQD, 1968)

Fue propuesto para proveer un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de diamantina. Palmstrom (1982) sugirió que, cuando los testigos no estén disponibles para la traza de discontinuidades; expresando el grado de fracturación, partir de cartografiado geotécnico en función al número de fracturamiento por metro cúbico (J_r), determinadas al realizar el levantamiento litológico – estructural en área o zona determinada.

Tabla 2: Clasificación Geomecánica RQD. (Rock Quality Designation)

RQD. (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente. (Deere 1968).

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

2.2.2.2 RMR. – Bieniawski (1989)

La clasificación geomecánica o Sistema Rock Mass Rating (RMR.), postulando actualizaciones en 1979 en el cual propone unos valores orientados para ambos parámetros en función de calidad del macizo rocoso dada por el índice RMR. el cual permite estimar los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo y mejorado en 1989 constituyendo un sistema de clasificación de los macizos rocosos que permiten a su vez relacionar el índice de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo.

Entre las ventajas de emplear el RMR. como método de clasificación, esta que su aplicación es bastante sencilla y los parámetros de clasificación se consiguen fácilmente a través de data obtenida de campo.

Tabla 3: Clasificación geomecánica para taludes según Bieniawski.

RMR.	ESTABILIDAD
100-81	Totalmente estable
80-61	Estable
60-41	Parcialmente estable
40-21	Inestable
< 20	Totalmente inestable

Fuente. (Hernán y Byron 2007).

Tabla 4: Clasificación según RMR. de Bieniawski 1989.

PARÁMETROS		R A N G O D E P A R À M E T R O S					
1	Esfuerzo del material rocoso Intacto	Índice de esfuerzo de carga puntual. (Mpa)	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Por ser un rango bajo, es preferible la prueba de compresión uniaxial.
		Compresión uniaxial (Mpa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 1 - 25 5 < 1
	Evaluación		15	12	7	4	2 1 0
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
		Evaluación		20	17	13	8
3	Espaciamiento de discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 80 mm
		Evaluación		20	15	10	8
4	Condición de las discontinuidades. Ver E		Superficies muy limpias. No continuas. Sin separación. Rocas no meteorizadas	Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1 mm. Paredes ligeramente alteradas	Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1 mm. Paredes altamente alteradas	Superficie deslizante ò relleno <5 mm. ò Separación de 1 - 5 mm. Continua	Arcilla de falla con espesor > 5mm. ò Separación continua > 5 mm
		Evaluación		30	25	20	10
5	AGUA SUBTERRÁNEA	Flujo a lo largo de 10 metros de túnel litros/minuto	NO	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		Relación = (Presión de agua en junta / Mayor esfuerzo principal.)	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
		Condiciones generales	Completamente seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteo	Flujo
		Evaluación (original, 1979)		15	10	7	4
	Evaluación (modificada por Hoek 1983)		10	7	7	4	0

Fuente. (Hernán y Byron 2007).

2.2.2.3 GSI. – Hoek (1994)

Propuso el Índice Geológico de Resistencia (Geological Strength Index – GSI.), para evaluar la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades. El uso en el criterio de Hoek - Brown ha sido presentado en diversos artículos por Hoek (1994), Hoek et al. (1995) y Hoek - Brown (1997), asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI. con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek et al., 1998; Marinos y Hoek, 2000 y 2002). El GSI. proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades.

Tabla 5: Clasificación de GSI. (Geological Strength Index)

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

Fuente. (Hoek y Brown 2002).

Además, es posible establecer una relación del GSI. con el caso del RMR. de 1989, la que ha sido establecida de manera empírica, siempre de forma aproximada, que se cumple la siguiente igualdad:

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

2.2.2.4 SMR. – Romana (1985)

El índice Slope Mass Rating (SMR.) se utiliza para taludes que permite evaluar empíricamente la estabilidad de una excavación. A partir de la clasificación RMR. básico sumando dos "factores de ajuste"; uno que es función de la orientación de

las discontinuidades (y que es, a su vez, producto de tres sub factores) y otro conocido como "factor de excavación", el cual depende del método utilizado.

$$SMR = RMR + (F_1 + F_2 + F_3) + F_4$$

F1: depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F_1 = [1 - \text{sen}(a_d) - a_s]^2$$

Donde a_d y a_s son los valores del buzamiento de la discontinuidad y del talud respectivamente.

F2: depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia al esfuerzo de corte. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente, pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F = [\tan^2(b)]^2$$

Donde b es el buzamiento de la discontinuidad F_2 vale 1.00 para las roturas por vuelco.

F3: refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 que son siempre negativos.

F4: se determina dependiendo el método de excavación. Así el valor F_4 asignado queda definido por la siguiente tabla.

Tabla 6: Clasificación geomecánica para taludes SMR.

FACTOR DE AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS (F ₁ , F ₂ Y F ₃)						
CASO		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DEFAVORABLE	MUY DEFAVORABLE
P	$ \alpha_j - \alpha_s $					
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
P/T	F₁	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	$ \beta_j $	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F₂	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F₂	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (- 10°)	< - 10°
T	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-----	-----
P/T	F₃	0	- 6	- 25	- 50	- 60

FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN (F ₄)					
MÉTODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA O EXCAVACIÓN MECÁNICA	VOLADURA DEFICIENTE
F₄	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

CLASES DE ESTABILIDAD					
CASO	V	IV	III	II	I
SMR.	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Buena	Muy buena
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

P : Rotura plana α_s : Dirección del talud β_s : Buzamiento del talud
T : Rotura por vuelco α_j : Dirección de las juntas β_j : Buzamiento de las juntas

Fuente. (Romana 1985).

2.2.3 Criterios de Rotura

2.2.3.1 Criterios de Hoek y Brown

Desarrollado por E. Hoek y E. T. Brown en 1980, para determinar la resistencia al esfuerzo, en macizos rocosos, teniendo en cuenta el tamaño de la muestra, influencia del agua, propiedades de roca intacta, índice geológico de resistencia y módulo de deformación (Hoek y Brown 2002). Está expresada por:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dónde: $\sigma = \left[\frac{KN}{m^2} \right]$; m_b es una constante del material; m_i (roca intacta en laboratorio) y está dada por:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

Además, s y a son constantes del macizo rocoso, dada por las relaciones siguientes:

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) ; \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

También D es un factor que depende del grado de alteración a la que ha sido sometido el macizo rocoso, es decir daño por explosión provocando compresión y relajación de las tensiones. Varía desde 0 cuando no hay perturbación o no existen problemas producto de la explosión en el macizo rocoso in situ a 1 para macizos rocosos muy perturbados.

2.2.3.2 Criterios de Mohr – Coulomb

Mohr (1900) presentó una teoría sobre la ruptura de los suelos y rocas. Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante. Desarrolla junto a Coulomb la ecuación siguiente.

$$\tau_f = c + \sigma * \tan\phi.$$

Donde:

c = Cohesión

ϕ = Ángulo de fricción interna.

σ' = Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla.

De la ley de Mohr-Coulomb se desprende que la resistencia al corte de suelos en términos generales tiene dos componentes:

- Resistencia por Fricción ($\tan\phi$): se debe al roce entre partículas cuando están sometidas a esfuerzos normales.
- Resistencia por Cohesión (c): se debe a fuerzas internas físico-químicas que mantienen unidas a las partículas en una masa.

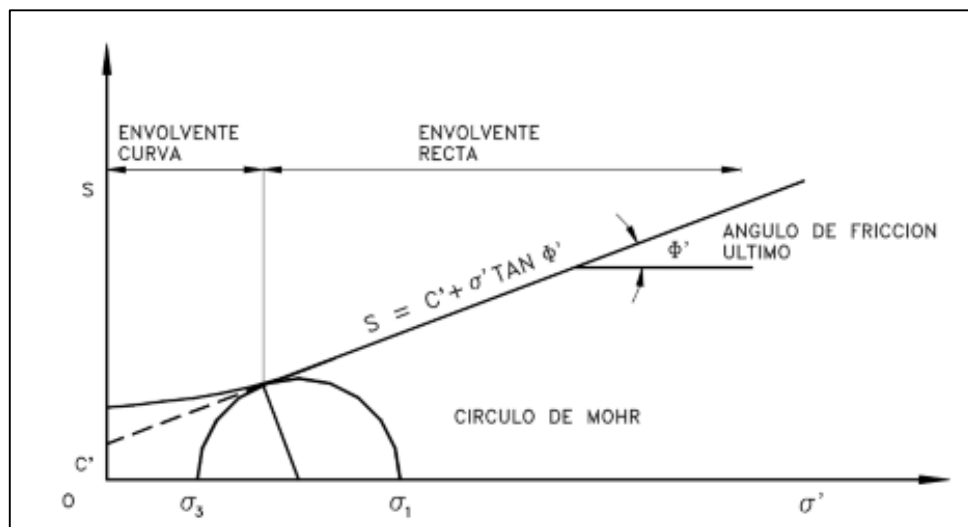


Figura 1: Envolvente de Falla Criterio de Mohr Coulomb. Fuente (Hoeck y Brown 2002).

2.2.4 Análisis de Taludes

Los diseños de taludes es uno de los aspectos más importantes de la Ingeniería Geológica, está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas. Los podemos clasificar en taludes permanentes para la construcción de infraestructura o fines de edificación se diseñan para ser estables a largo plazo, precisando medidas de estabilización complementarias cuando no sea posible realizar excavaciones con las alturas y ángulos requeridos. Presentando muchas veces sobrecargas estáticas y cargas dinámicas que se ejercen sobre los taludes modificando la distribución de las fuerzas y generan condiciones de inestabilidad. Entre las primeras están el peso estructural o edificios, u otro tipo de cargas como rellenos, escombreras y paso de vehículos pesados. Las cargas dinámicas se deben principalmente a los movimientos sísmicos, naturales o inducidos y las vibraciones producidas por la voladura cercana al talud.

2.2.4.1 Rotura en Suelos

Las roturas de taludes en suelos se generan a favor de un único plano paralelo a talud son prácticamente inexistentes, aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas.

Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia, puede tener lugar a la rotura a favor de una superficie plana o de superficie poligonal formando así varios tramos planos.

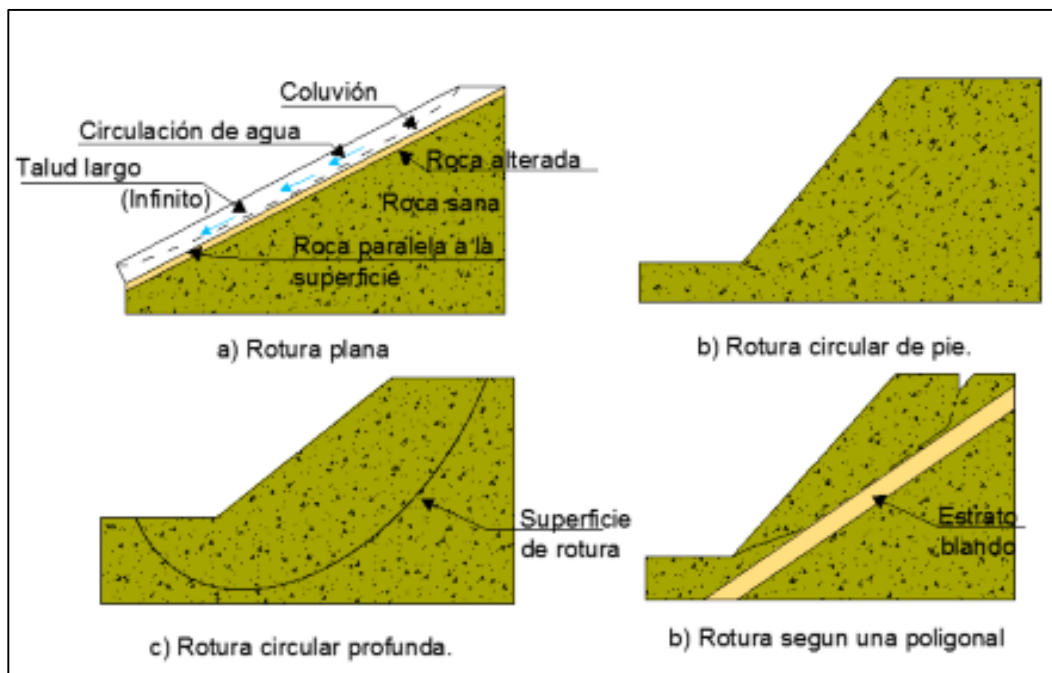


Figura 2: Tipos de superficie de rotura en suelos. Fuente (Gonzales de Vallejo 2004).

2.2.4.2 Rotura en Rocas

Los diferentes tipos de roturas están 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. Presentándose los modelos de rotura más frecuentes son: rotura plana, en cuña.

Rotura Planar

Se entiende por rotura planar, como aquella en el que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud.

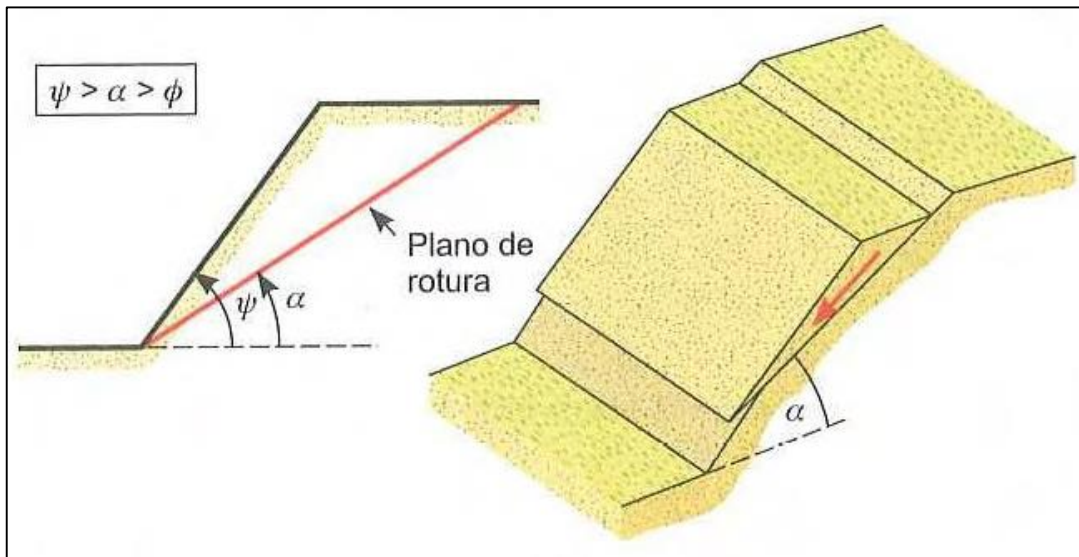


Figura 3: Condiciones para una rotura planar. Fuente (Gonzales de Vallejo 2004).

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 deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana, siendo el buzamiento la línea de intersección; suelen presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determinan la forma y volumen de la cuña.

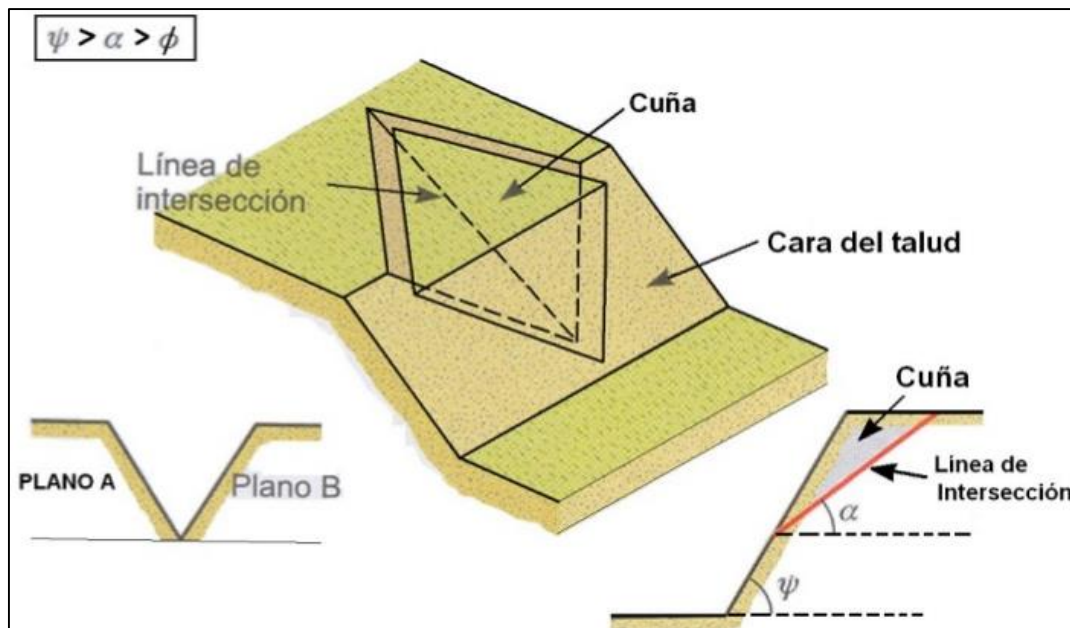


Figura 4: Condiciones para que se forme una rotura en cuña. Fuente (Gonzales de Vallejo 2004).

2.3 Definición de Términos Básicos.

Hundimientos. - Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser 2000).

Subsidencia.- Son generalmente procesos muy lentos, aunque con frecuencia se aceleran por actuaciones antrópicas. Pueden afectar a todo tipo de terrenos, generalmente a suelos, y son debido a cambios tensionales en el terreno, por las siguientes causas: descenso del nivel freático, minería subterránea y túneles, extracción o expulsión de petróleo o gas, explotación intensiva de acuíferos, procesos lentos de disolución y lavado de suelos y rocas, procesos morfotectónicos y de sedimentación, procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos. (González de Vallejo 2002).

Asentamiento.- Es una forma de inestabilidad gravitatoria que se caracteriza por el desplazamiento en un trecho relativamente corto a lo largo de una pendiente de

una masa coherente de suelos y rocas poco consolidados o capas de roca. El movimiento se caracteriza por el deslizamiento a lo largo de una superficie plana o cóncava. Entre las causas de los asentamientos se encuentran movimientos sísmicos, absorción excesiva de agua, congelamiento y derretimiento, socavamiento en su base, y carga de la pendiente. (González de Vallejo 2002).

Caídas o desprendimientos. - La caída es un tipo de movimiento en masa generado por la gravedad en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamientos (Varnes 1978).

Puede hablarse tanto de caída de roca como de caída de suelo. Una particularidad importante de las caídas es que el movimiento no es ni masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento (GEMMA 2007).

Factores de Inestabilidad. - Se generan por incremento en los esfuerzos de corte y la disminución de la resistencia del material. (Varnes 1978).

Factores condicionantes. - Son aquellos factores que predisponen a una inestabilidad como: litológicos, estructurales, hidrológicos y geométricos. (Ferrer 2002).

Factores desencadenantes. - Son aquellos que desencadenan el movimiento como: geodinámica interna, geodinámica externa, antrópicos, etc. (Ferrer 2002).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la Investigación

3.1.1 Política

Políticamente se encuentra localizada en el Departamento y Provincia de Cajamarca, Distritos de San Juan y Magdalena.

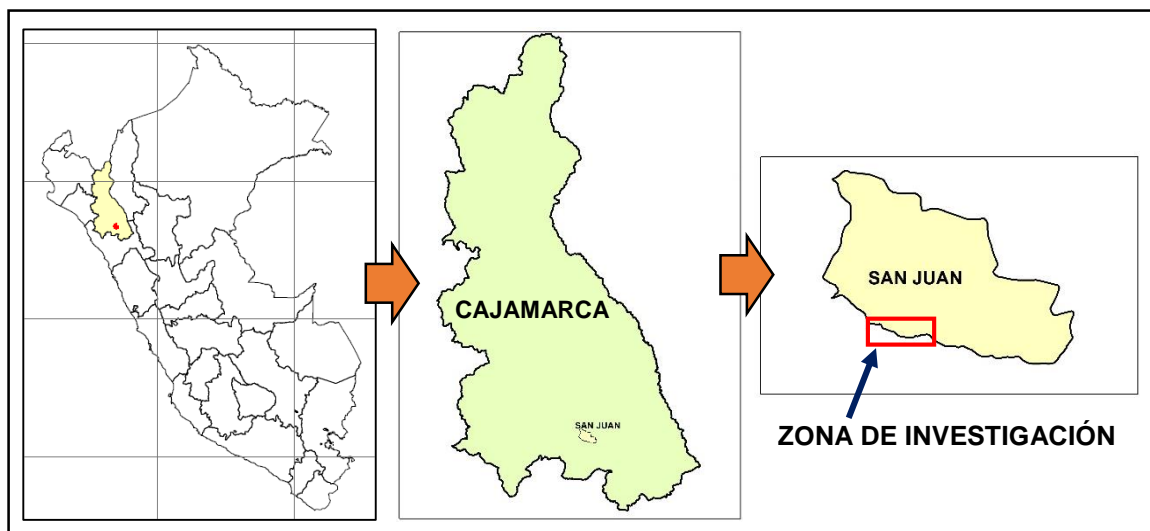


Figura 5: Ubicación Política del distrito de San Juan y Magdalena

3.1.2 Geográfica

Geográficamente se ubicada al norte del territorio peruano, conformando parte de la cordillera occidental. Delimitada por las siguientes coordenadas en el Sistema de Proyección UTM, Datum WGS - 84, zona 17S:

Tabla 7: Coordenadas según delimitación de progresivas.

PUNTO	LATITUD	LONGITUD	KM.
P – Inicio	9196000	778000	128 + 000
P - Final	9190000	770000	140 + 000

3.1.3 Accesibilidad

Cuenta con una carretera asfaltada interdepartamental hacia la costa peruana comunicando a Cajamarca con los departamentos del interior del Perú, como son Trujillo y Chiclayo. Esta vía inicia en la ciudad de Cajamarca, con una duración de 40 minutos y dirección al SW llegamos al Distrito de San Juan donde inicia la zona de investigación en el km. 140+000, posteriormente seguimos en la misma vía hasta llegar al km. 128+000 en un tiempo de 20 minutos cerca al Pueblo de Choropampa perteneciente al Distrito de Magdalena; siendo este tramo carretero la zona de investigación. Asimismo, cuenta con trochas carrozables y caminos de herradura que comunican los pueblos ya descritos con sus caseríos, permitiendo el desplazamiento de transporte público y privado desarrollando actividades de comercio y hacer usos de los servicios de salud. Estas vías de comunicación descritas sirvieron para poder desarrollar el presente trabajo de investigación.

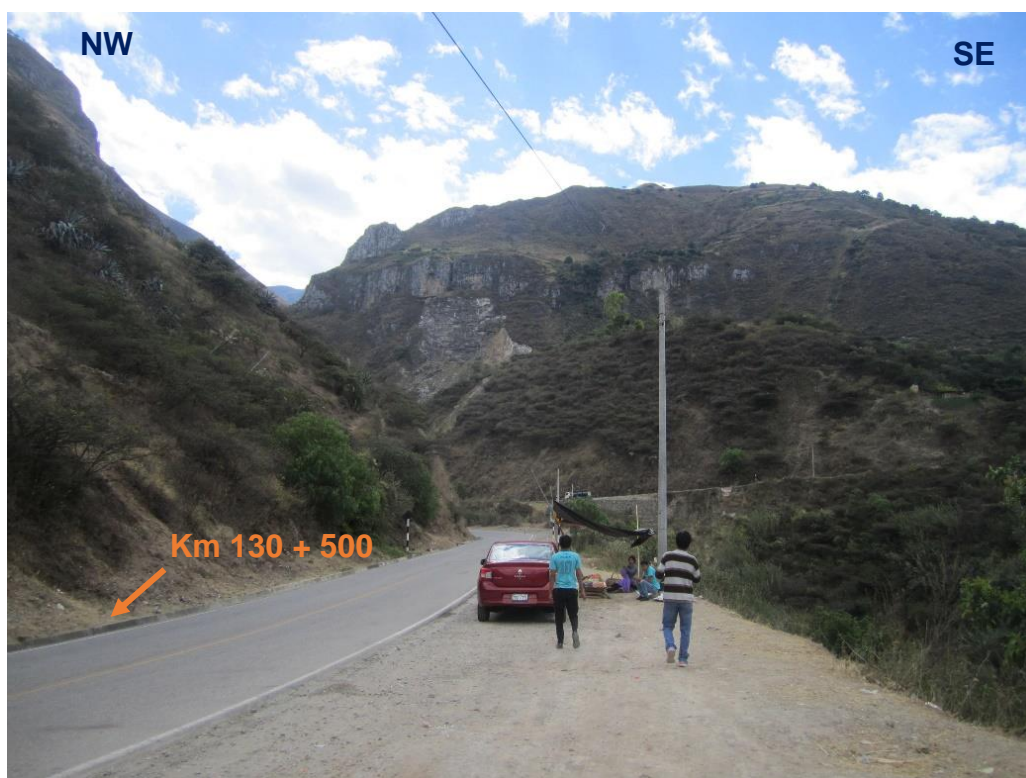


Foto 1: Vía de acceso a la zona de estudio carretera Cajamarca - Ciudad de Dios km 130 + 500.

3.1.4 Clima

Cajamarca en forma general presenta un clima templado – frío, soleado durante el día y frío por las noches, con temperaturas que fluctúan entre 23°C máxima y 4°C mínima, la temporada de lluvias se extiende entre los meses de octubre y abril, con precipitación de 50 mm a 200 mm (1 mm de precipitación = 1 litro / m²). Fuente (Boletín Hidrometeorológico Mensual a Nivel Regional. SENAMHI. Febrero - 2018)

3.1.5 Vegetación

La zona de estudio presenta una típica vegetación del piso altitudinal Quechua como son árboles de Pino, eucalipto, alisos, pencas, pastizales propios de la zona como los llamados ichus, además de cultivos agrícolas como son hortalizas, cebada, trigo, maíz, arveja, frejol y tubérculos (papa, zanahoria, ocas, ollucos), estos perteneciente a la zona del distrito de San Juan. Mientras que los alrededores del distrito de Magdalena los sembrados cambian a propios de un clima templado – cálido como son el maíz amarillo, chirimoya, uva, tomate y caña; de los cuales algunos son transformados en otros subproductos como es el aguardiente y la miel de caña. Fuente (Guía de inventario de la flora y vegetación / Ministerio del Ambiente, Lima: MINAM. 2015)



Foto 2: Vegetación ribereña, con presencia de algarrobo-sapotal.

3.1.6 Geología local

En la zona de investigación entre el tramo del km. 128 al km. 140 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, afloran rocas sedimentarias del Grupo Crisnéjas la Formación Chúlec y Pariatambo, pertenecientes al Cretácico inferior. Sobreyaciendo a las anteriores, rocas del Grupo Pulluicana conformada por la Formación Yumagual y el Grupo Quilquiñan – Formación Mujarrun, estas últimas pertenecientes al Cretácico superior; así como la Formación Cajamarca.

También se ha identificado rocas ígneas de composición andesítica que intruyen concordantemente (Sill) a rocas calcáreas del Cretácico inferior (Fm. Pariatambo); además depósitos cuaternarios eluviales, coluviales y aluviales que se encuentran sobreyaciendo en discordancia a las formaciones sedimentarias calcáreas.

3.1.6.1 Rocas sedimentarias

Grupo Crisnejas

A. Formación Chulec

Presenta una secuencia de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas nodulosas, calizas frescas gris parduzcas a oscuras, presenta un color crema amarillento cuando están intemperizadas.



Foto 3: Calizas intercaladas con margas gris amarillentas de estratos delgados. Zona carrera a Choropampa, km 128 + 230.

B. Formación Pariatambo

Está compuesta por calizas bituminosas intercaladas con lutitas, además la presencia de chert en el techo de esta formación, una de sus características es el olor fétido de estas rocas calizas. Su espesor de la formación oscila entre los 150 y 200 metros, los estratos varían su espesor entre unos 30 y 20 cm.



Foto 4: Calizas bituminosas con intercalación de lutitas km 130+650, zona Los Naranjos.

Grupo Pullucana

C. Formación Yumagual

Consta de una secuencia de calizas masivas, con algunos nódulos y calizas margosas, son de grano fino, medio y grueso de color gris claro a gris amarillento; presentan venillas de calcita y aragonito en las discontinuidades. Esta formación se caracteriza por tener delgados estratos calcáreos con abundantes fósiles del tipo *Ostrea scyphax* y *Exogyra*. El espesor de los estratos varía entre 0.70 - 1.20 metros.



Foto 5: Calizas grises de la Formación Yumagual (N 9194664, E 772692, cota 1890).

D. Grupo Quilquiñan – Formación Mujarrúm

Secuencia de calizas nodulares macizas, intercalaciones de margas, seguido de lechos de calizas nodulares con margas fosilíferas de color pardas – amarillentas, hacia el techo calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con fósiles de Exogyra.



Foto 6: Calizas masivas de la Grupo Quilquiñan-Mujarrúm (N 9194746, E 772982, cota 1933).

E. Formación Cajamarca

Esta Formación suprayace al Grupo Quilquiñan, constituida por calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores; en la zona no se han encontrado presencia de fosiles. Presenta espesores que varían entre 0.40 - 1.50 metros, esta formación calcárea se encuentre en el eje del sinclinal que aflora cerca al puente El Tingo.



Foto 7: Calizas masivas de la Formación Cajamarca (N 9194664, E 772692, cota 1890).

3.1.6.2. Depósitos Cuaternarios

A. Depósitos Eluviales

Sobreyacen a las rocas calcáreas del Sistema Cretácico discordantemente y generalmente cubren las laderas empinadas. Depósitos constituidos a base de arcillas y limolitas calcáreas que son productos de la meteorización de rocas carbonatadas prexistentes. Son poco competentes y favorecen la ocurrencia de deslizamientos.



Foto 8: Depósito Eluvial producto de la meteorización in situ de las rocas carbonatas (N 9194565, E 772405, cota 1894).

B. Depósitos Coluvio-Aluviales

Constituidos por una mezcla de rocas heterométricas con bloques, gravas, angulosas a subangulosas, ubicados en zonas de pie de ladera, generalmente están compactos y no consolidados. Son el producto transportado por gravedad debido al desprendimiento, vuelcos, flujos, corrimientos laterales, además se encuentran distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente.



Foto 9: Depósitos coluvio-aluviales con contenido de gravas, arenas, limos y arcillas (N 9194578, E 772506, cota 1895).

3.1.7 Geología Estructural

Estructuralmente el área estudiada ha sido afectada, por esfuerzos compresivos de dirección NW – SE, que ha generado plegamientos (sinclinal y anticlinal) y posterior fallamiento en el sustrato rocoso. Determinando un sistema de pliegues los que son interrumpidos en su continuidad por una falla regional de dirección NW-SE y la presencia de fallas locales con diferente cinemática, además de estructuras planas como son las discontinuidades.

A. Estructuras Primarias

Estas estructuras se definen, como aquellas cuya formación ocurrió de manera conjunta con la depositación de sedimentos, siendo la estratificación la estructura principal. En las progresivas de los taludes identificados del km. 128+000 al 140+000, una de las estructuras principales que afectan su comportamiento cinemático es la estratificación, por ser estructuras que presenta persistencia variadas y considerables.

Estratos:

En la zona se presenta de espesor entre 12 cm. hasta 1.50mts., siendo una de sus características principales la conservación de una misma composición litológica (caliza, lutita y margas) en toda su extensión.



Foto 10: Estratificación de calizas de la Formación Yumagual, en los alrededores del puente carrozada San Juan.

B. Estructuras Secundarias Tectónicas

Las estructuras tectónicas, se relacionan con los procesos endógenos que ocasionan la deformación (cambios de forma y volumen) y desplazamiento de cualquier tipo de roca. En la zona se han observado dos tipos de estructuras: anticlinal y sinclinal en rocas calcáreas cerca a la zona Naranjitos y El tingo, estas estructuras presentan una orientación NW-SE similar al de la falla regional que pasa por la zona de investigación.

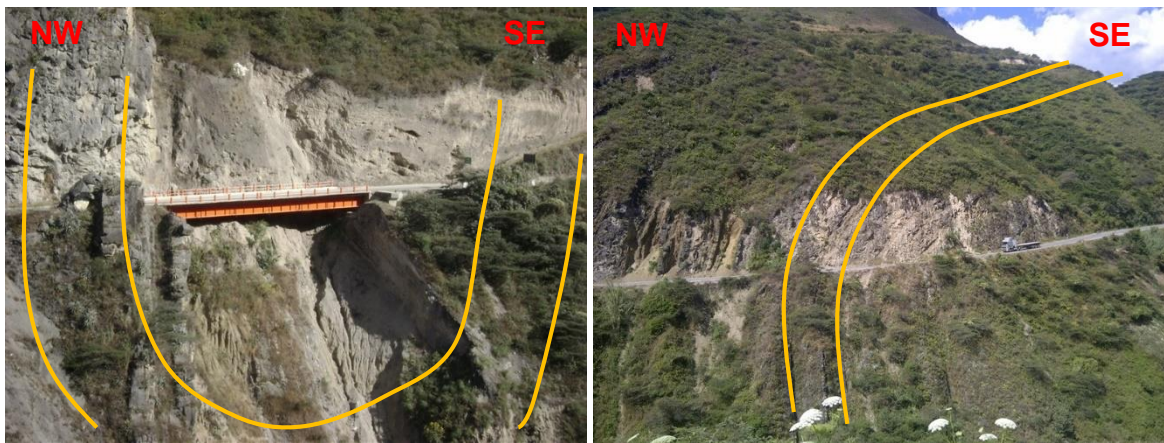


Foto 11: Eje del Sinclinal en el puente El Tingo y anticlinal en la zona Naranjito, en calizas.

3.2 Procedimientos

3.2.1 Metodología

Como parte fundamental de la metodología es determinar el tipo y diseño de investigación en el presente trabajo, siendo una investigación no – experimental, trasversal, correlacional – causal, definiéndose como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables en un tiempo único y describiendo interacciones entre dos o más variables en un momento determinado. A veces, únicamente en términos correlacionales, otras en función de la relación causa - efecto (causales), debido a que la rotura de los taludes ya ocurrieron en la realidad (estaban dados y manifestados) o podrían ocurrir durante el desarrollo del estudio, y quien investiga los observa y reporta, para después analizarlos mediante métodos matemáticos y modelos computacionales que permitan determinar el factor de seguridad correspondiente a cada uno de ellos según sus características geotécnicas – geomecánicas.

Teniendo en consideración aquellos métodos desarrollados recientemente y su aplicabilidad en carreteras, para la determinación de características físico – mecánicas de los geomateriales, se presenta el procedimiento desarrollado en este trabajo de investigación, así como la metodología por aplicar:

A. Etapa de revisión bibliográfica

Se efectuaron trabajos preliminares que han consistido en recopilar, revisar y clasificar la información existente bibliográfica y cartográfica, de instituciones públicas (gobierno local y regional) y científicas (INGEMMET, SENAMHI, MINAN y universidades). Obteniendo de este análisis la elección de escala de trabajo (1/5 000), la delimitación y los mapas preliminares que se han usado para el cartografiado geológico – geomecánico e identificación de taludes inestables.

B. Etapa de campo

En base a los mapas preliminares, se realizó el cartografiaron geológico registrando cuidadosamente las características geológicas de las rocas y suelos aflorantes estrechamente relacionados con sus características físico mecánicas como unidades litológicas y límites estratigráficos, tipos de suelos y rocas, grado de meteorización, elementos estructurales (diaclasas, fallas, pliegues), evidencias de filtraciones y de inestabilidad (grietas, material triturado, flexiones, cambios en la vegetación). Al mismo tiempo se realizó el mapeo geotécnico – geomecánico registrándose en una ficha de campo que incluya: localización geográfica (coordenadas UTM), resistencia a la compresión uniaxial, RQD, litología, magnitud, causas del movimiento, aspectos hidrológicos (drenaje superficial y subterráneas), tiempo de ocurrencia o de su reactivación; incluyendo un registro fotográfico de los fenómenos más notables.

C. Etapa de gabinete

Esta etapa se desarrolla simultáneamente con la etapa de campo, procesando los datos tomados en campo para digitalizarlos en un sistema de información geográfico (Arcgis 10.3); posteriormente obtenida toda la base de datos espacial, se determinan las propiedades geomecánicas de los suelos y rocas aplicando la

teoría de roturas para sus análisis en los respectivos softwares (RocData v 4.0 y Slide v 6.0) y determinar sus posibles factores de seguridad según correspondan.

3.2.2 Técnicas

La técnica de recolección de datos que fue utilizada en la presente investigación es la observación directa que consistió en el registro sistemático y confiable de los aspectos geológicos (rumbo, buzamiento y litología) y características geotécnicas – geomecánicas de los respectivos taludes en los mapas topográficos y fichas de campo.

3.2.3 Instrumentos y Equipos

Los instrumentos utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación son:

Instrumentos de campo

GPS. navegador (Garmin), para la toma de progresivas de cada talud crítico identificado, según sus coordenadas UTM.

Brújula tipo Brunton, para determinar la orientación (Dip/Dip Directions) de las discontinuidades.

Picota, se utilizó para determinar la resistencia a la compresión de las rocas.

Protáctor (1/1000), se usó para graficar a escala cada talud y las orientaciones de los estratos.

Mapas topográficos (1/15 000) y geológicos (1/ 100 000).

Ficha de campo (mapeo geotécnico – geomecánico por estación), sirvió para la recolección de datos de campo referentes a las características geológicas y geomecánicas de cada talud.

Cámara fotográfica digital (12 mega pixeles), para tomar fotografías de los taludes.

Ácido clorhídrico, para identificar rocas carbonatadas.

Flexómetro, para obtener las dimensiones de cada talud y las discontinuidades del macizo rocoso.

Colores, se utilizó para identificar en el plano topográfico las Formación Geológica.

Instrumentos de gabinete

Laptop core i7, para la redacción del trabajo de investigación y analizar con ayuda de los softwares cada talud crítico.

Software Arcgis 10.3, se utilizó para el diseño de los planos topográficos, geológicos y geotécnicos.

Software Dips 6.0, sirvió para el análisis cinemático de los taludes, mediante el procesamiento de las discontinuidades medidas.

Software RocData 4.0, con este software se determinó las propiedades geomecánicas de cada talud en suelos y rocas.

Software Slide 6.0, se utilizó para la determinación del factor de seguridad de los taludes en condiciones estáticas.

3.3 Geotecnia

Para realizar la evaluación geotécnica en el tramo carretero km. 128 + 000 cercano al pueblo de Choropampa hasta el km. 140 + 000 cerca al pueblo de San Juan, emplearemos técnicas de campo mediante el mapeo lineal o línea de detalle que se disponen en el pie del talud a lo largo del eje de la vía. Utilizando métodos empíricos para la caracterización del macizo rocoso y suelos, además de obtener algunos datos de laboratorio para suelos y rocas realizados por el proyecto Estudio Definitivo para la Construcción Puente el Tingo y Accesos; todo esto con el objetivo de realizar un buen análisis de estabilidad de taludes.

La caracterización geomecánica, consistió en una descripción cuantitativa de todas las estructuras presentes, los parámetros tomados en consideración son los siguientes: Orientación, número de familias (sistemas), espaciamiento, persistencia o continuidad, abertura, meteorización o alteración, rugosidad, relleno, resistencia de las paredes de las discontinuidades, agua en las discontinuidades (condiciones hidrogeológicas); de las cuales se obtuvieron el índice RQD., los valores de las clasificaciones geomecánicas RMR. y GSI. La recolección de datos se realizó en una ficha de campo mostrado en el Anexo (A-1), datos que han sido tomados mediante el mapeo lineal geomecánico para esta investigación.

Para la obtención de datos y análisis de taludes, se procedió a identificar 10 tramos carreteros según las siguientes progresivas:

Tabla 8: Progresivas de taludes

Nº Talud	Progresiva	Coordenadas UTM		Descripción
		Latitud	Longitud	
1	Km 128+000 al 128+050	9193522	768956	Calizas de la Formación Chulec
2	Km 128+200 al 128+250	9193484	769137	Calizas de la Formación Chulec
3	Km 128+430 al 128+455	9193450	769400	Suelos semi-consolidado de características homogéneas
4	Km 129+330 al 129+410	9193490	770087	Depósitos semi-consolidados Coluvio-Aluvial
5	Km 130+165 al 130+500	9194096	770824	Calizas bituminosas de la Formación Paritambo
6	Km 131+220 al 131+250	9194657	771136	Calizas de la Formación Yumagual
7	Km 132+770 al 132+820	9194715	772772	Calizas de la Formación Quilquiñan
8	Km 133+700 al 133+750	9194565	773097	Calizas de la Formación Quilquiñan
9	Km 134+930 al 134+980	9194698	773090	Calizas de la Formación Quilquiñan
10	Km 136+680 al 136+730	9193989	773893	Calizas de la Formación Yumagual

3.3.1 Determinación de Parámetros Geotécnicos

Basados en métodos empíricos, toma de datos en campo y apoyados en los análisis de laboratorio para suelos y rocas presentados en el proyecto antes mencionado de la construcción del puente El Tingo; se presenta los datos obtenidos para cada tramo de talud haciendo uso del software RocData v 4.0, fundamentado en el criterio generalizado de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb.

Para la determinación de los valores del m_i y MR ., se tomó un valor promedio entre una caliza micrítica y la caliza esparítica propuesta por Hoek y Brown (1997), resultando para este análisis un valor de $m_i = 9$ y $MR = 800$.

Tabla 9: Valores de la constante mi para roca intacta. Estimación de la resistencia de macizos rocosos en la práctica.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas	Conglomerado	Arenisca	Limolita	Arcillolita	
		22	19	9	4	
	No Clástica	Orgánicas	←-----Grauwaca-----→ (18)			
			←-----Creta-----→ 7 ←-----Carbón-----→ (8-21)			
Químicas	Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
			Yeso 16	Anhidrita 13		

Fuente (Hoek y Brown 1997).

Tabla 10: Valores de MR por tipo de roca. Estimación de la resistencia de macizos rocosos en la práctica.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas	Conglomerado	Arenisca	Limolita	Arcillolita	
		300 – 400	200 - 350	350 – 400	200 – 300	
	No Clástica	Orgánicas	Brechas		Grauwaca	Lutita
			230 - 350		350	150 – 250
Químicas	Carbonatos		Caliza	Caliza	Dolomitas	
			Cristalina	Esparítica	Micrítica	350 -500
		400 - 600	600 - 800	800 - 1000		
			Yeso (350)	Anhidrita (350)		

Fuente (Hoek y Brown 1997).

3.3.1.1 Talud 1: km 128+000 al 128+050

Caracterizada por afloramientos de calizas nodulares intercaladas con lutitas y margas, pertenecientes a la Formación Chúlec. Sus aberturas están rellenas de limo-arcillas y óxidos (en pátinas), provenientes de las zonas altas, con persistencia de la estratificación ($D/DD=30^\circ/54^\circ$) promedio de 12 m., y de Resistencia a la Compresión Uniaxial de 35 MPa. La altura de talud es de 18 m. El $D/DD = 65^\circ/166^\circ$. Se presentan dos familias de discontinuidades principales: $D1(62^\circ/255^\circ)$ y $D2(42^\circ/76^\circ)$.

Tabla 11: Propiedades geomecánicas del Talud 1. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 1						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	35 MPa	MR	800	Criterio	mb	0.282
GSI	37	Peso U.	0.024MN/m ³	Hoek-Brown	s	0.0001
mi	9	Roca	Caliza		a	0.514
D	0.7	Altura	18 m	Mohr-	c	0.115 MPa
Ei	28000 MPa	Talud		Coulomb	Φ	41.10°



Foto 12: Talud compuesto por caliza y lutita de la Formación Chulec.

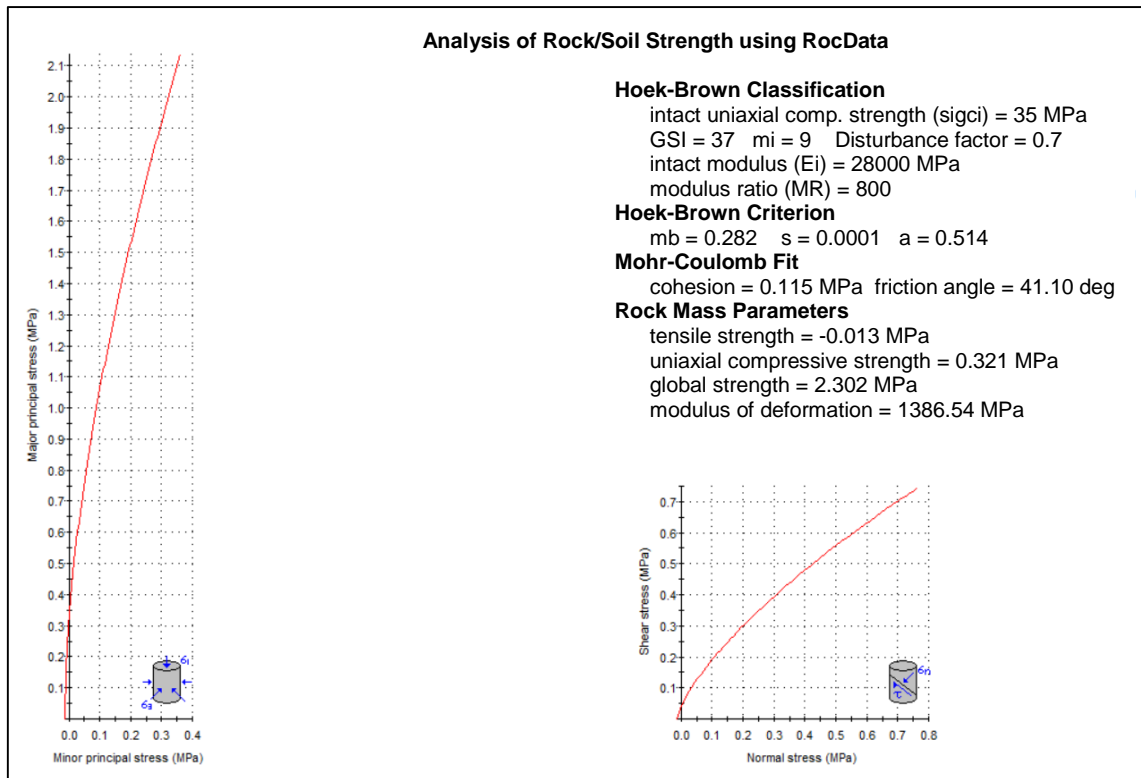


Figura 6: Parámetros geomecánicos del Talud 1 en Software RocData.

3.3.1.2 Talud 2: km 128+200 al 128+250

Presenta afloramiento de calizas nodulares intercaladas con lutitas (Fm. Chúlec). Sus aberturas están rellenas de limo-arcillas, con persistencia de la estratificación ($D/DD=62^\circ/81^\circ$) promedio de 8 m., y de Resistencia a la Compresión Uniaxial de 35 MPa. La altura de talud es de 13 m. El $D/DD = 80^\circ/170^\circ$. Se presentan dos familias de discontinuidades principales: D1($54^\circ/291^\circ$) y D2($70^\circ/13^\circ$).

Tabla 12: Propiedades geomecánicas del Talud 2. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 2						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	35 MPa	MR	800	Criterio Hoek-Brown	mb	0.253
GSI	35	Peso U.	0.024MN/m ³		s	0.0001
mi	9	Roca	Caliza		a	0.516
D	0.7	Altura	13 m	Mohr-	c	0.090 MPa
Ei	28000 MPa	Talud		Coulomb	Φ	42.42°



Foto 13: Talud compuesto por caliza y lutita de la Formación Chulec.

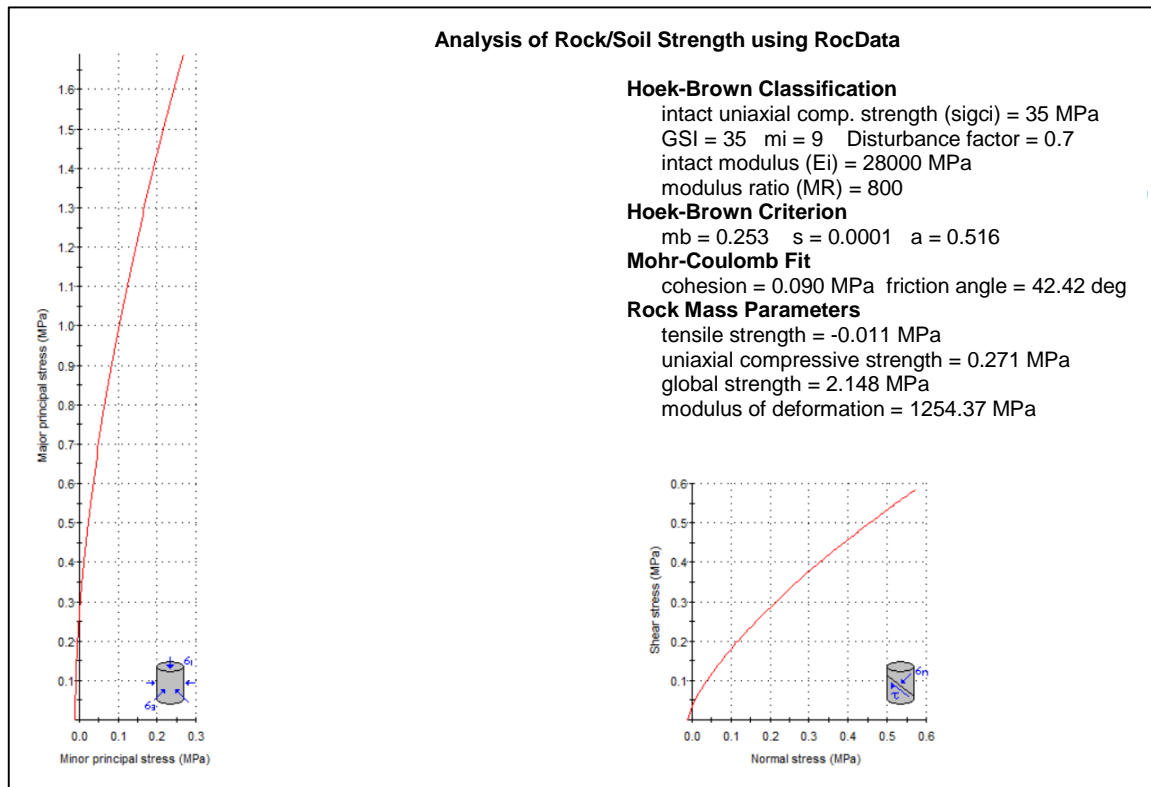


Figura 7: Parámetros geomecánicos del Talud 2 en Software RocData.

3.3.1.3 Talud 3: km 128+430 al 128+455

Se observa suelo semi-consolidado, compuestos por clastos de calizas, entre bloques (clasificadas como gravas de tamaño medio a grueso) subangulosos a angulosos (0.08-0.20 m.) en una matriz limo-arenosa de coloración amarillenta, la cual se encuentra húmeda; posee poca vegetación. La altura del talud es de 12m.

Tabla 13: Propiedades geomecánicas del Talud 3. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 3				
Datos Generales (RocData)		Criterio de Mohr-Coulomb		
Deposito	Coluvial	Cohesión	c	0.025 MPa
Clasificación SUCS	GC>CL	Ángulo de Fricción	Φ	30°
Peso U.	0.018 MN/m ³	Esfuerzo tensional	σ_t	0.0260 MPa
Altura Talud	12 m	Resistencia Compresión Uniaxial	σ_c	0.0866 MPa
		Alpha	α	71.57°



Foto 14: Talud compuesto por suelo semi-consolidado.

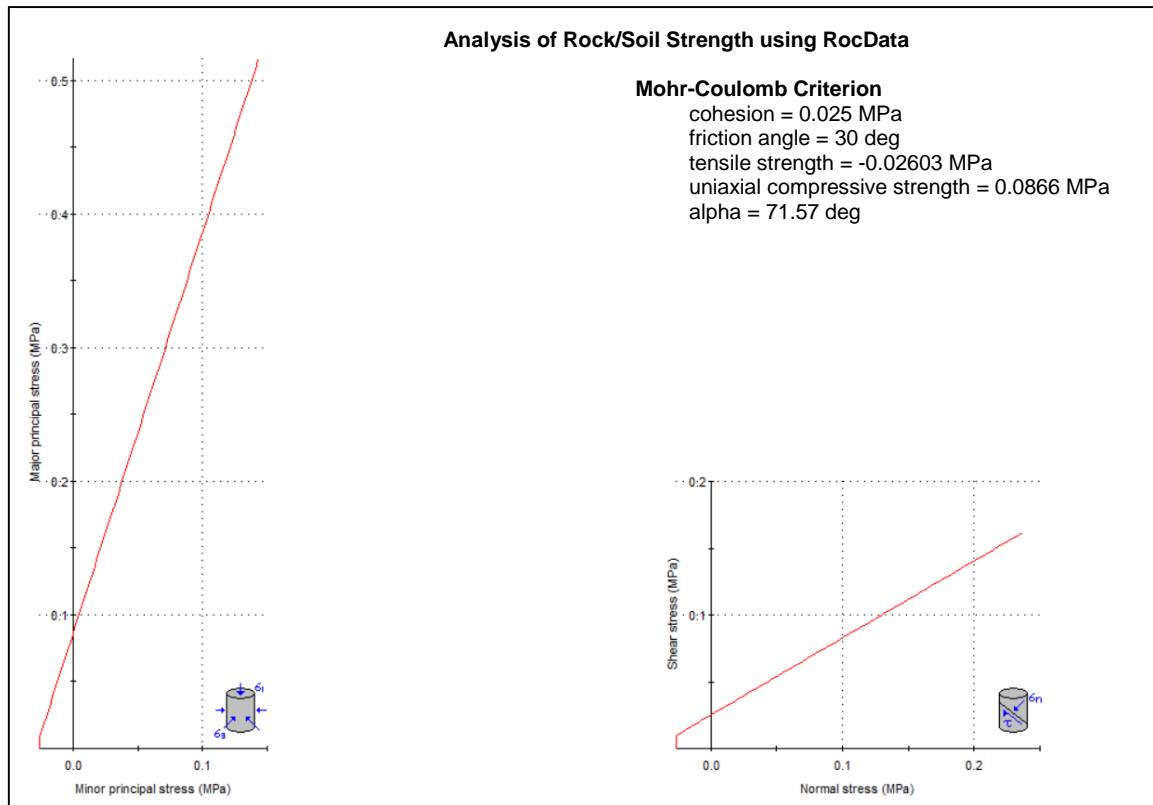


Figura 8: Parámetros geomecánicos del Talud 3 en Software RocData.

3.3.1.4 Talud 4: km 129+330 al 129+410

Se observa suelo semi-consolidado, compuestos por clastos de calizas, entre bloques (clasificadas como gravas de tamaño medio a grueso) subangulosos a angulosos (0.15-0.50 m.) en una matriz limo-arenosa de coloración amarillenta, la cual se encuentra seco; posee escasa vegetación. La altura del talud es de 21m.

Tabla 14: Propiedades geomecánicas del Talud 4. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 4				
Datos Generales (RocData)		Criterio de Mohr-Coulomb		
Deposito	Coluvial - Aluvial	Cohesión	c	0.024 MPa
Clasificación SUCS	GM>ML	Ángulo de Fricción	Φ	31°
Peso U.	0.018 MN/m ³	Esfuerzo tensional	σ_t	0.0249 MPa
Altura Talud	21 m	Resistencia Compresión Uniaxial	σ_c	0.0848 MPa
		Alpha	α	72.25°



Foto 15: Talud compuesto por suelos semi-consolidado.

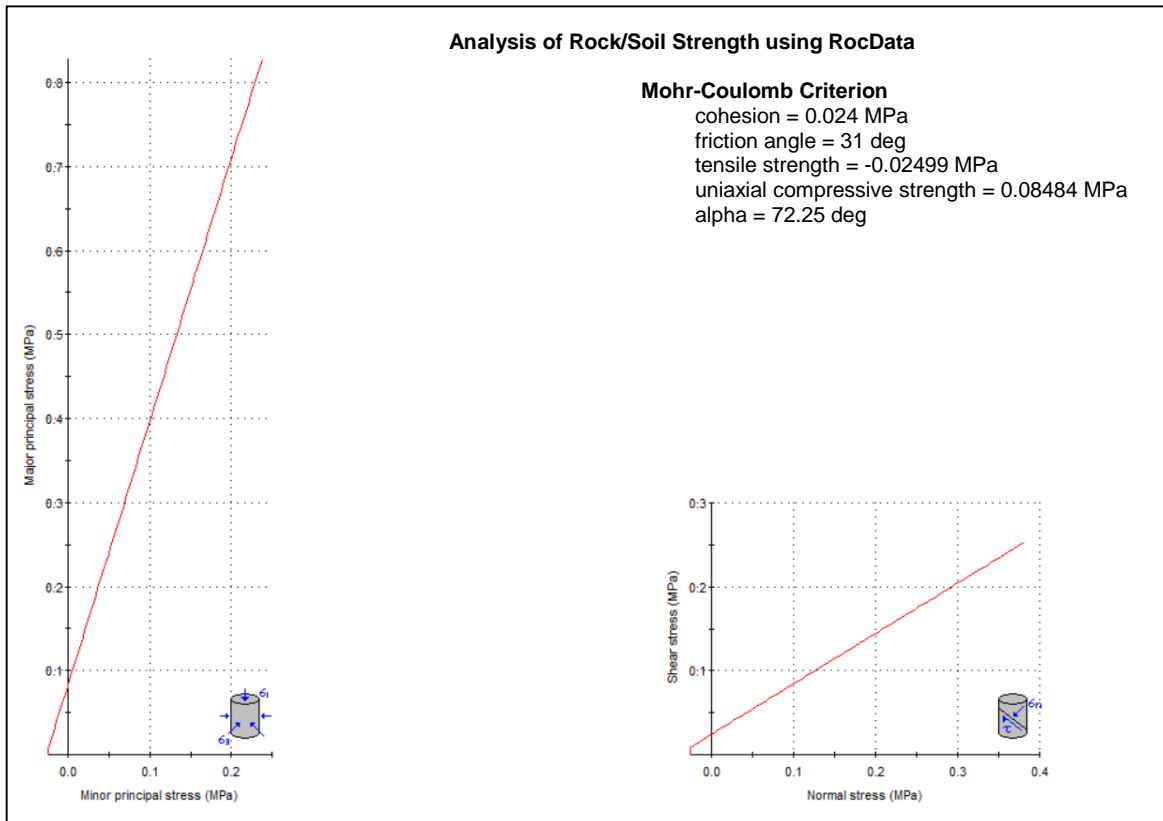


Figura 9: Parámetros geomecánicos del Talud 4 en Software RocData.

3.3.1.5 Talud 5: km 130+165 al 130+500

Se presenta un macizo rocoso homogéneo, compuesto de calizas bituminosas de la Formación Pariatambo con intercalación de lutitas grises, intruidas por un sill de composición andesítica. El talud tiene una altura de 28 m. y D/DD= 47°/38°, se ha identifica que la discontinuidad que prevalece es la estratificación con D/DD= 51°/12° acompañado de dos familias principales: D1(76°/104°) y D2(54°/223°).

Tabla 15: Propiedades geomecánicas del Talud 5. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 5						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	48 MPa	MR	800	Criterio	mb	0.438
GSI	45	Peso U.	0.025 MN/m ³	Hoek-Brown	s	0.0003
mi	9	Roca	Caliza		a	0.508
D	0.7	Altura	28 m	Mohr-	c	0.230 MPa
Ei	38400 MPa	Talud		Coulomb	Φ	43.71°



Foto 16: Talud compuesto por calizas bituminosas de la Formación Pariatambo.

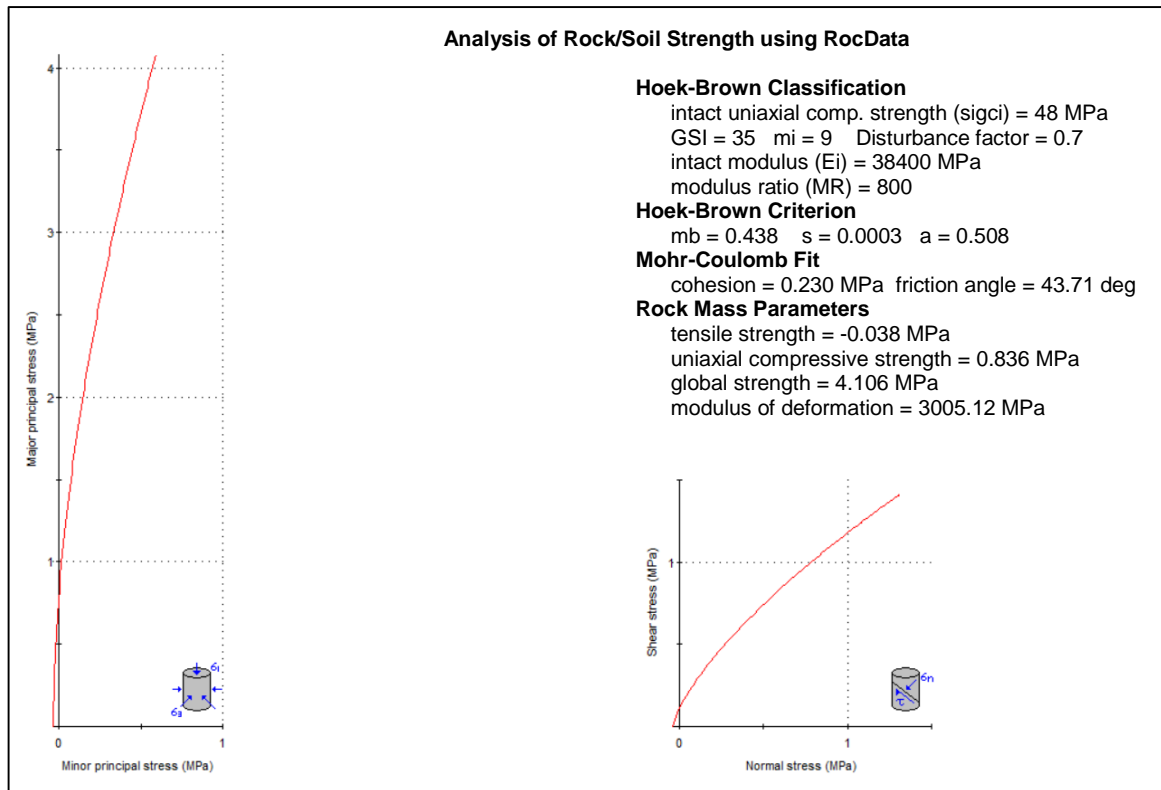


Figura 10: Parámetros geomecánicos del Talud 5 en Software RocData.

3.3.1.6 Talud 6: km 131+220 al 131+250

Se presenta un macizo rocoso heterogéneo, compuesto de Calizas masivas con intercalación de lutitas gris amarillentas de la Formación Yumagual. El talud tiene una altura de 24 m. y $D/DD = 88^\circ/86^\circ$, se ha identifica que la discontinuidad que prevalece es la estratificación con $D/DD = 66^\circ/13^\circ$ acompañado de dos familias principales: $D1(85^\circ/95^\circ)$ y $D2(12^\circ/09^\circ)$.

Tabla 16: Propiedades geomecánicas del Talud 6. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 6						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	50 MPa	MR	800	Criterio Hoek-Brown	mb	0.759
GSI	55	Peso U.	0.025 MN/m ³		s	0.0015
mi	9	Roca	Caliza		a	0.504
D	0.7	Altura	24 m	Mohr-	c	0.347 MPa
Ei	40000 MPa	Talud		Coulomb	Φ	48.94°



Foto 17: Talud compuesto por calizas de la Formación Yumagual.

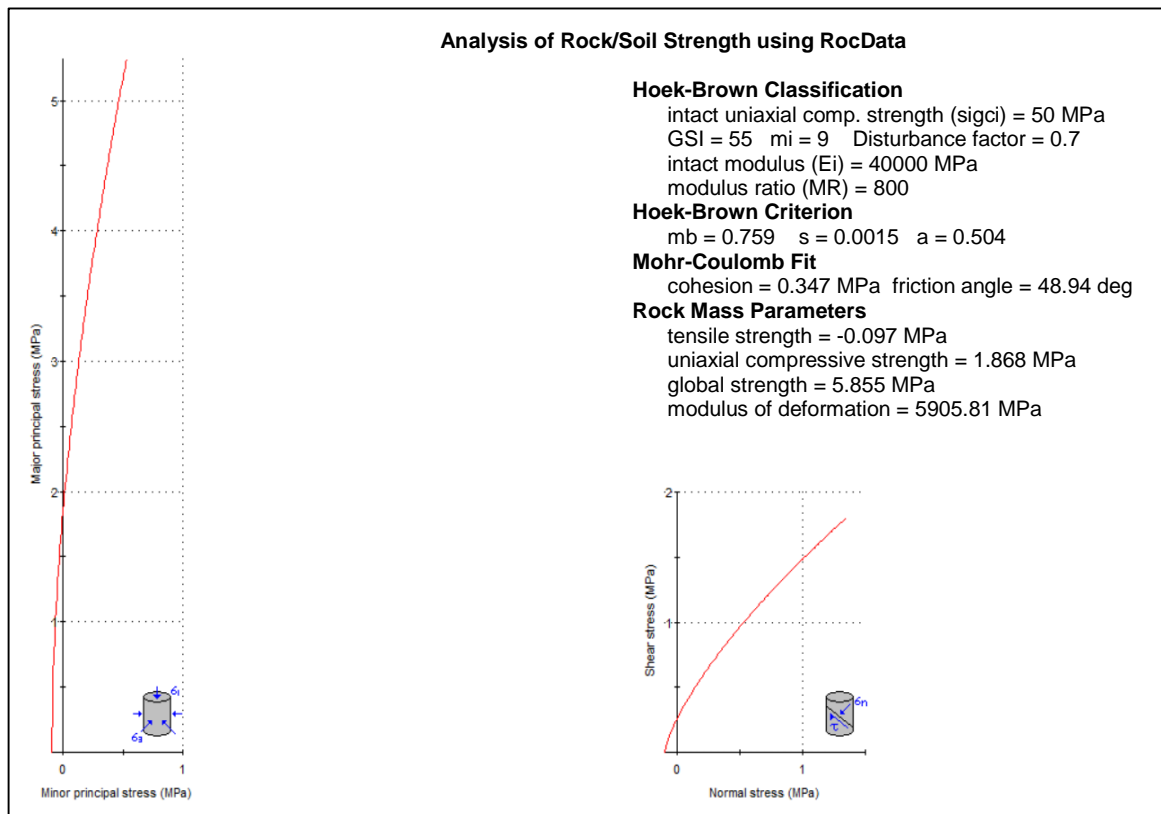


Figura 11: Parámetros geomecánicos del Talud 6 en Software RocData.

3.3.1.7 Talud 7: km 132+770 al 132+820

Presenta afloramiento de calizas masivas de color gris a azuladas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun. Sus aberturas presentan relleno de óxidos y arcillas, con persistencia de la estratificación ($D/DD=53^\circ/11^\circ$) promedio de 10 m., y de Resistencia a la Compresión Uniaxial de 50 MPa. La altura de talud es de 22 m. El $D/DD = 72^\circ/195^\circ$. Se presentan tres familias de discontinuidades principales: D1($79^\circ/293^\circ$), D2($69^\circ/253^\circ$) y D3 ($31^\circ/229^\circ$).

Tabla 17: Propiedades geomecánicas del Talud 7. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 7						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	50 MPa	MR	800	Criterio Hoek-Brown	mb	0.848
GSI	57	Peso U.	0.0259 MN/m ³		s	0.0020
mi	9	Roca	Caliza	Mohr- Coulomb	a	0.504
D	0.7	Altura	22 m		c	0.382 MPa
Ei	40000 MPa	Talud			Φ	49.89°

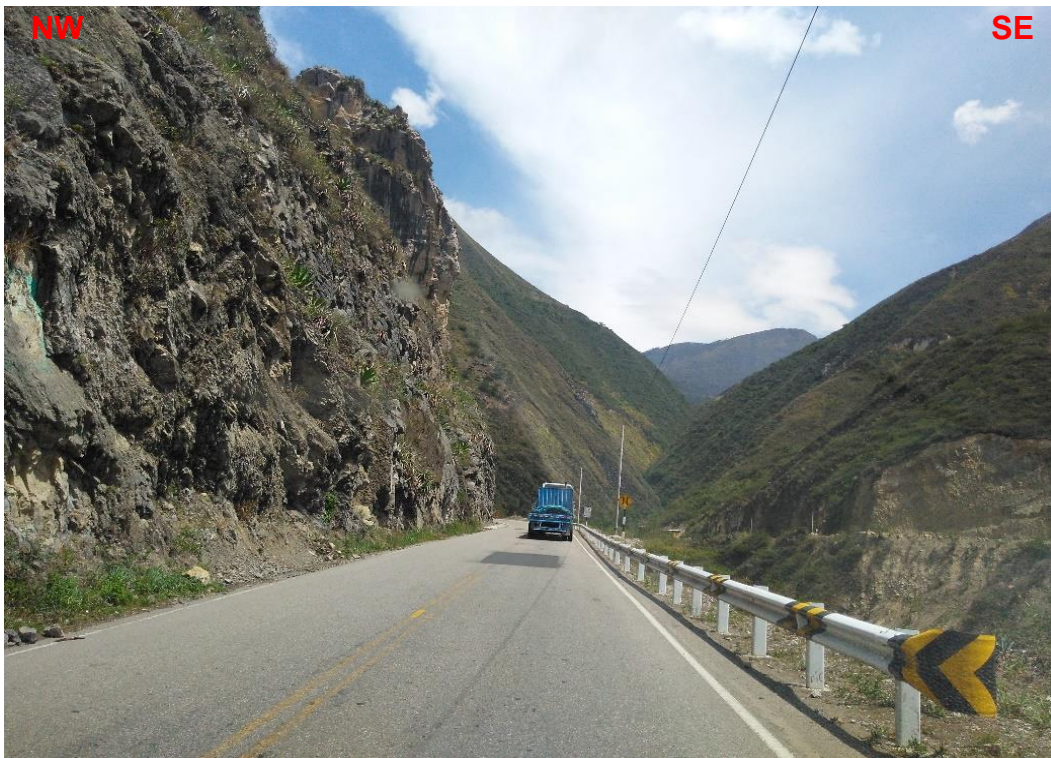


Foto 18: Talud compuesto por calizas masivas del Grupo Quilquiñan-Mujarrun.

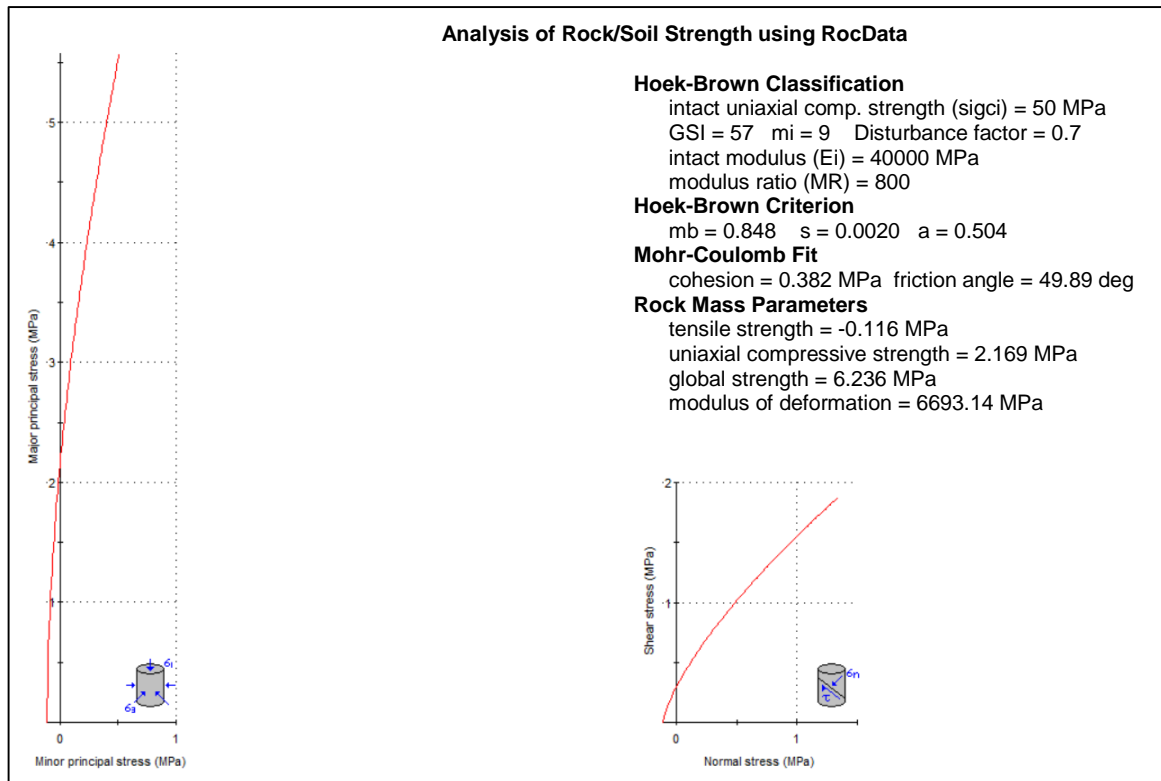


Figura 12: Parámetros geomecánicos del Talud 7 en Software RocData.

3.3.1.8 Talud 8: km 133+700 al 133+750

Presenta afloramiento de calizas de color gris a amarillentas intercaladas con estratos de lutitas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun. Sus aberturas presentan relleno de arcillas, con persistencia de estratificación ($D/DD=42^\circ/23^\circ$) promedio de 12 m., y Resistencia a la Compresión Uniaxial de 45 MPa. La altura de talud es de 15 m. El $D/DD = 71^\circ/312^\circ$. Se presentan dos familias de discontinuidades principales: D1($74^\circ/199^\circ$), D2($60^\circ/240^\circ$).

Tabla 18: Propiedades geomecánicas del Talud 8. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 8						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	45 MPa	MR	800	Criterio Hoek-Brown	mb	0.680
GSI	53	Peso U.	0.0259 MN/m ³		s	0.0011
mi	9	Roca	Caliza		a	0.505
D	0.7	Altura	15 m	Mohr-	c	0.255 MPa
Ei	36000 MPa	Talud		Coulomb	Φ	50.28°



Foto 19: Talud compuesto por calizas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun.

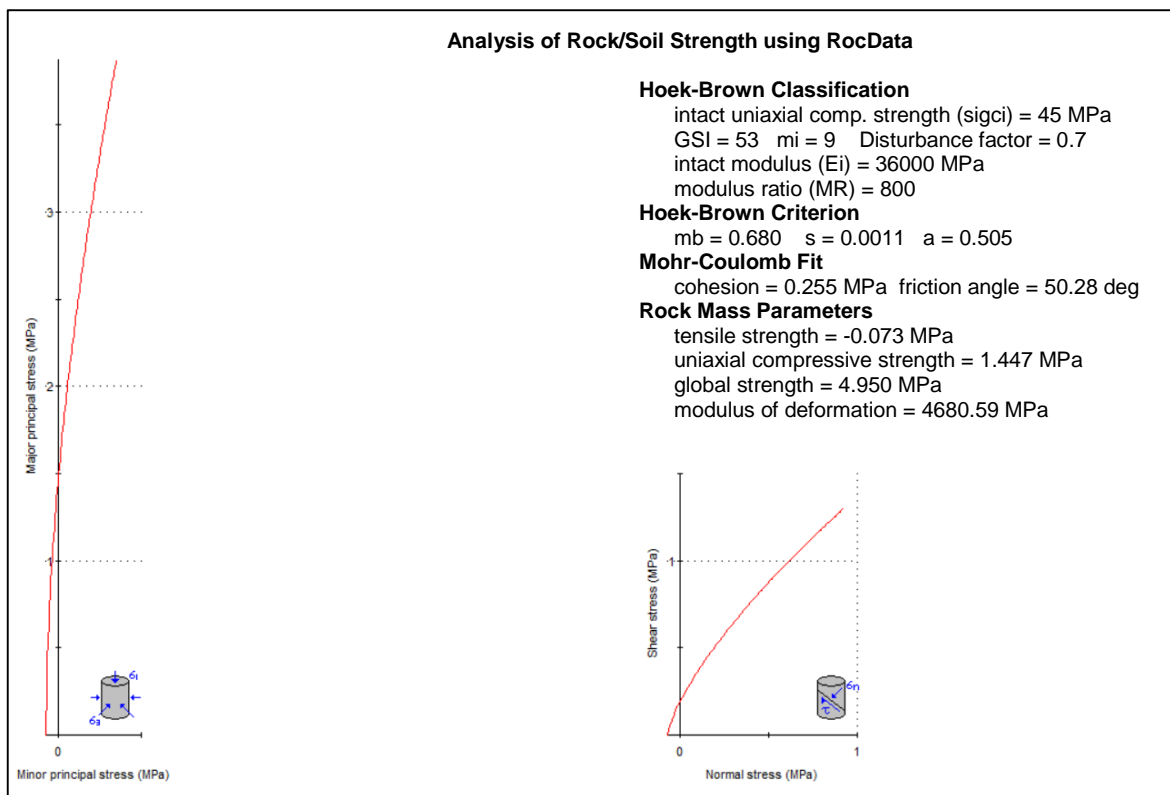


Figura 13: Parámetros geomecánicos del Talud 8 en Software RocData.

3.3.1.9 Talud 9: km 134+930 al 134+980

Presenta afloramiento de calizas de color gris a amarillentas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun. Sus aberturas presentan relleno de arcillas y oxidos, con persistencia de la estratificación (D/DD=79°/181°) promedio de 15 m., y de Resistencia a la Compresión Uniaxial de 50 MPa. La altura de talud es de 19 m. El D/DD =74°/192°. Se presentan dos familias de discontinuidades principales: D1(80°/123°), D2(58°/219°).

Tabla 19: Propiedades geomecánicas del Talud 9. Según el software Rocdata v 4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 9						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	50 MPa	MR	800	Criterio Hoek-Brown	mb	0.946
GSI	59	Peso U.	0.0259 MN/m ³		s	0.0026
mi	9	Roca	Caliza	Mohr- Coulomb	a	0.503
D	0.7	Altura	19 m		c	0.414 MPa
Ei	35000 MPa	Talud		Φ		51.29°

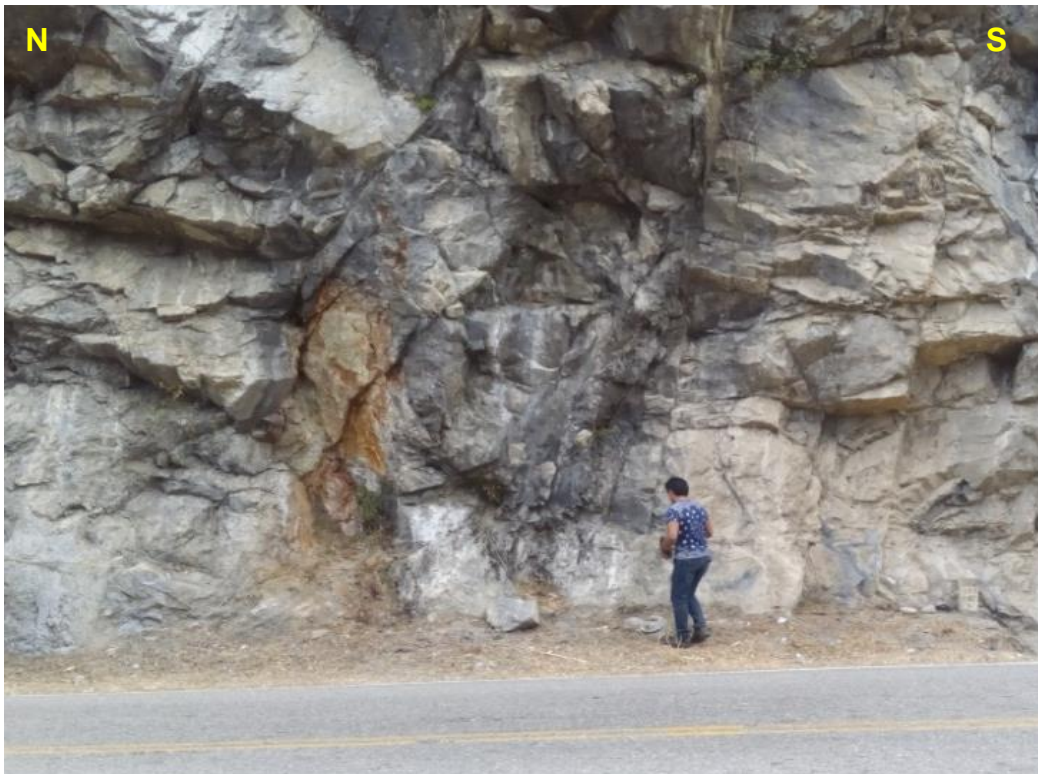


Foto 20: Talud compuesto por calizas del Grupo Quilquiñan - Mujarrun.

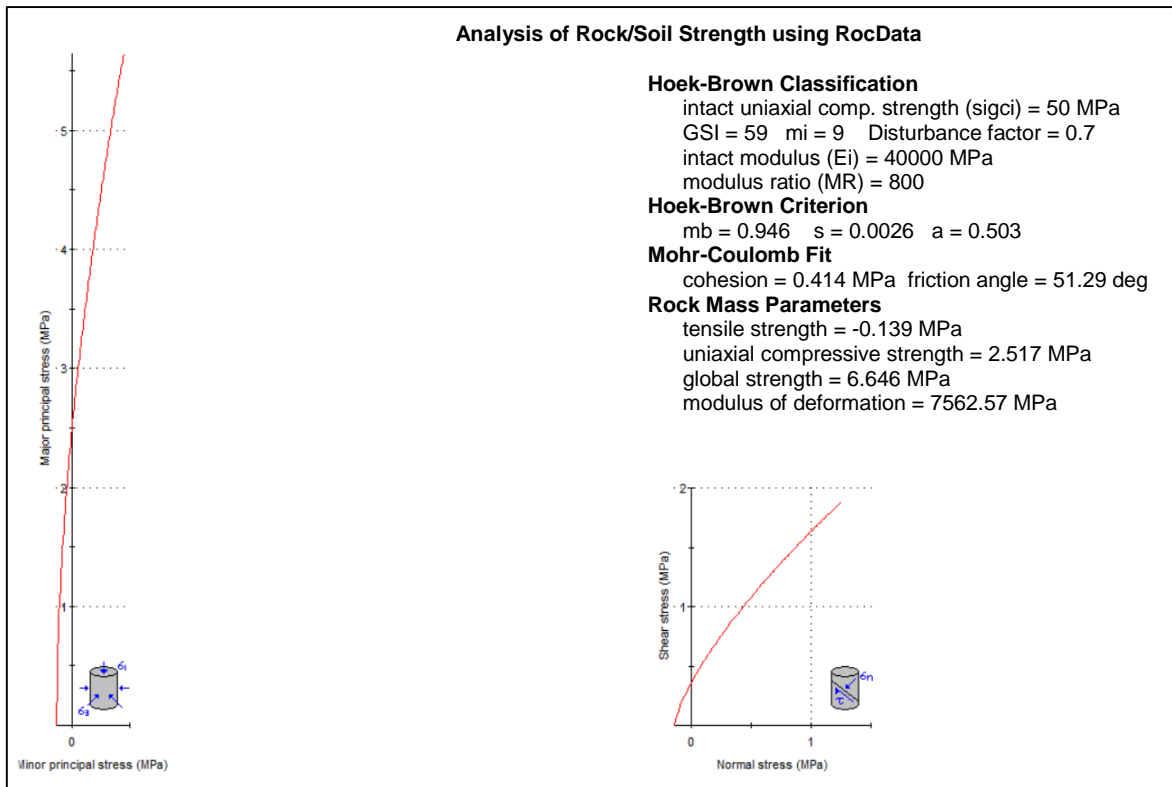


Figura 14: Parámetros geomecánicos del Talud 9 en Software RocData.

3.3.1.10 Talud 10: km 136+680 al 136+730

Presenta afloramiento de calizas de color amarillentas intercaladas con lutitas de estratos delgados de la Formación Yumagual. Sus aberturas presentan relleno de arcillas, con persistencia de la estratificación ($D/DD=70^\circ/15^\circ$) promedio de 8 m., y de Resistencia a la Compresión Uniaxial de 45 MPa. La altura de talud es de 14 m. El $D/DD = 87^\circ/175^\circ$. Se presentan dos familias de discontinuidades principales: D1($12^\circ/351^\circ$), D2($84^\circ/67^\circ$).

Tabla 20: Propiedades geomecánicas del Talud 10. Según el software Rocdata v4.

Propiedades Geomecánicas del Talud 10						
Datos de Entrada (RocData)				Parámetros de Salida		
Sigci (σ)	45 MPa	MR	800	Criterio	m_b	0.719
GSI	54	Peso U.	0.025 MN/m ³	Hoek-Brown	s	0.0013
m_i	9	Roca	Caliza		a	0.504
D	0.7	Altura	14 m	Mohr-	c	0.262 MPa
E_i	36000 MPa	Talud		Coulomb	Φ	51.20°



Foto 21: Talud compuesto por calizas de color amarillentas por meteorización de la Formación Yumagual.

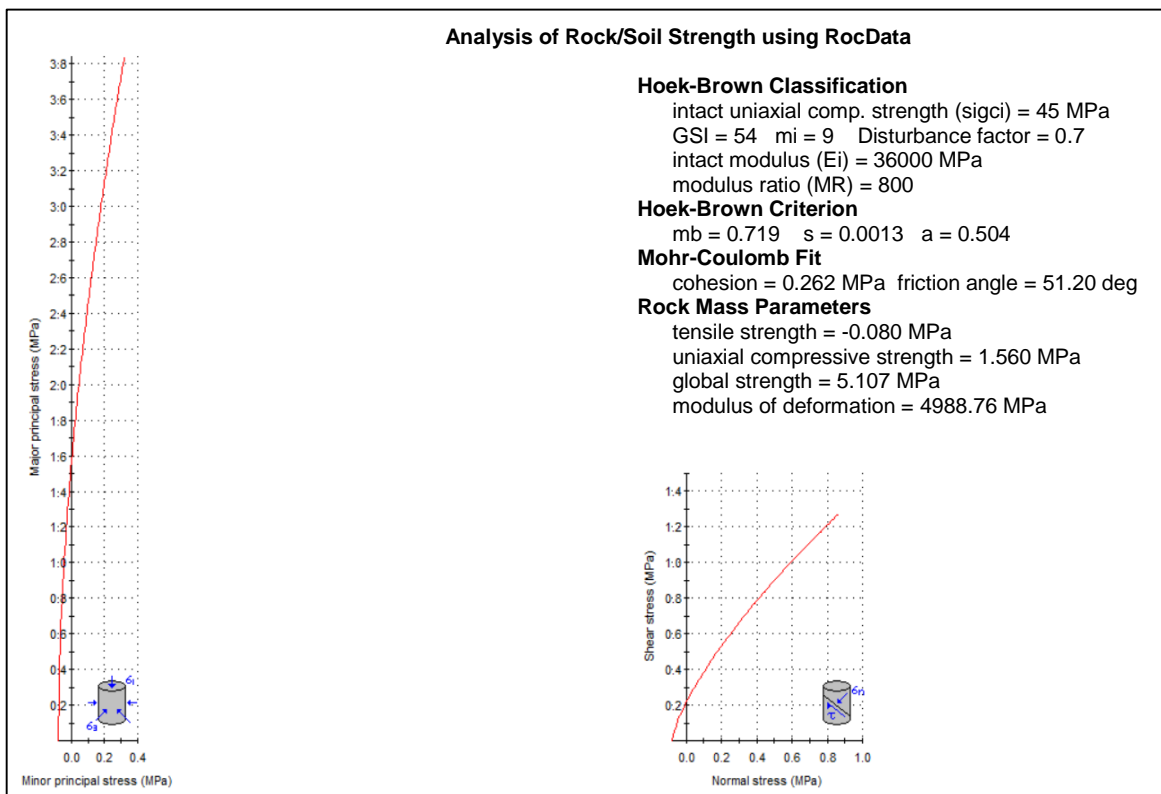


Figura 15: Parámetros geomecánicos del Talud 10 en Software RocData.

3.4 Análisis de Datos y Presentación de Resultados

Para realizar el análisis de estabilidad de los taludes, previamente se determinó las propiedades geotécnicas - geomecánicas de cada geomaterial y la obtención de las secciones de análisis de cada talud teniendo en cuenta la altura, pendiente y la dirección del talud, criterios de rotura, y los demás parámetros para este tipo de análisis.

Utilizando para esta investigación el software Slide v 6.0 de Rocscience, que efectúa el análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite basado en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable, centrándonos en la aplicación del modelo de Bishop simplificado, para deslizamientos de forma circular.

El software genera una variedad de superficies de falla potencial, de las cuales selecciona aquella con el mínimo valor de factor de seguridad; para este caso nos basaremos en las diferentes normas nacionales e internacionales aceptadas en Perú para determinar un factor de seguridad. “Esto significa que, la elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica)” (Valiente, Sobrecases y Díaz, 2015, p.3). En la siguiente tabla se puede observar los valores del factor de seguridad según diferentes normas.

Tabla 21: Factor de Seguridad según Normas Nacionales e Internacionales

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICA	SÍSMICA	ESTÁTICA	SÍSMICA
AASHTO LRFD	1.33 - 1.53	1.1	1.33 - 1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.33 - 1.25	1.2 - 1.15	1.5	1.2 - 1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1	-	1.1
CE.020	-	-	1.5	1.25

Fuente. (Valiente et al. 2015).

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior y la importancia de del tramo carretero analizado, se considerará como obra permanente y en condición estática. Bajo estas condiciones los valores considerados del factor de seguridad, según la norma de los Estados Unidos AASHTO LRFD varía entre 1.33 que se utiliza cuando no existen cargas estructurales próximas al talud, o los reconocimientos geotécnicos realizados son confiables; en caso contrario, se considera emplear un factor de seguridad de 1,53.

Finalmente, para el análisis de los taludes identificados en la presente investigación siguiendo un modelo conservador y considerando que nos hemos basado en métodos empíricos, se tomará un factor de seguridad igual a 1.53 como un valor mínimo para considerarlo como un talud estable.

Además, se realizó un análisis cinemático utilizando el software Dips v 6.0 que ayuda a la identificación de los modos de falla más frecuentes y comunes en un talud; no determina el tamaño ni la forma de los bloques, tampoco da un valor cuantitativo del factor de seguridad, pero nos da una idea de cómo podrían producirse la rotura del macizo rocoso en un determinado talud.

Este análisis depende básicamente del número de datos tomados en campo como son: dirección de buzamiento (DD)y buzamiento(DIP), ya que estos deben ser lo suficientemente representativo para que representen de una mejor manera las orientaciones de las discontinuidades presentes en el talud y así obtener el número de familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso.

El análisis y resultados obtenidos de los 10 talud identificados en el tramo carretero del km. 128+000 al km 140+000 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, mediante la utilización del software Slide y Dips se presentan a continuación:

3.4.1 Talud 1

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 0.368. Determinando que es un talud inestable, por ser menor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

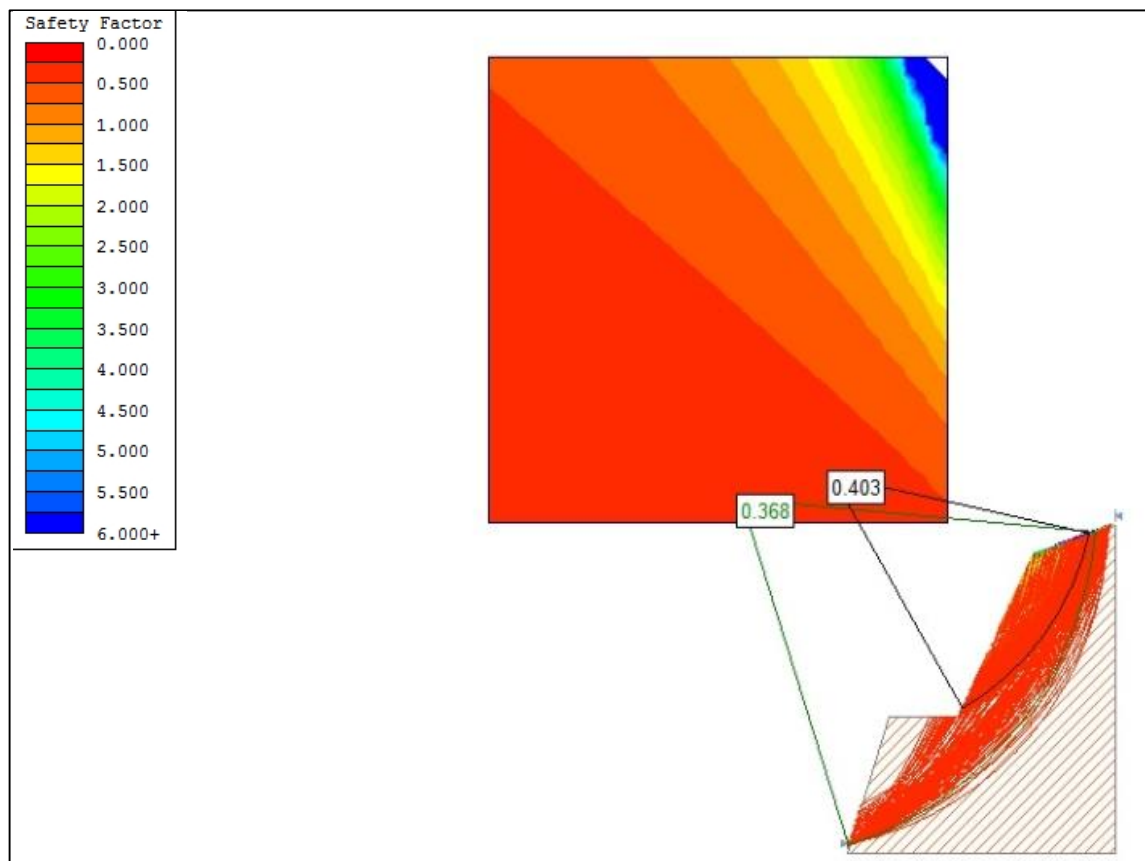


Figura 16: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 1.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 3 cuñas críticas que pueden deslizarse al SE, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción.

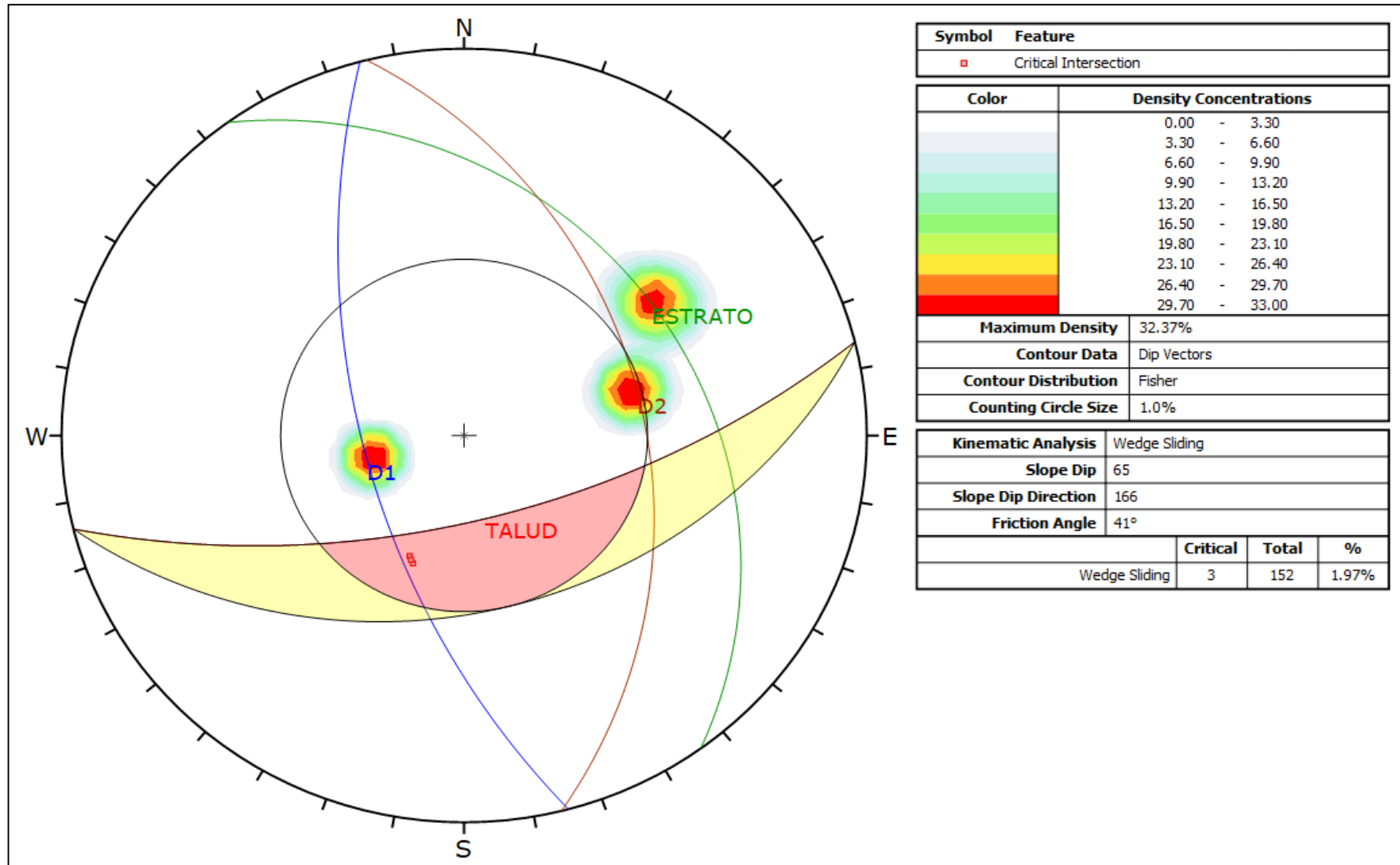


Figura 17: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 1.

3.4.2 Talud 2

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 0.441. Determinando que es un talud inestable, por ser menor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

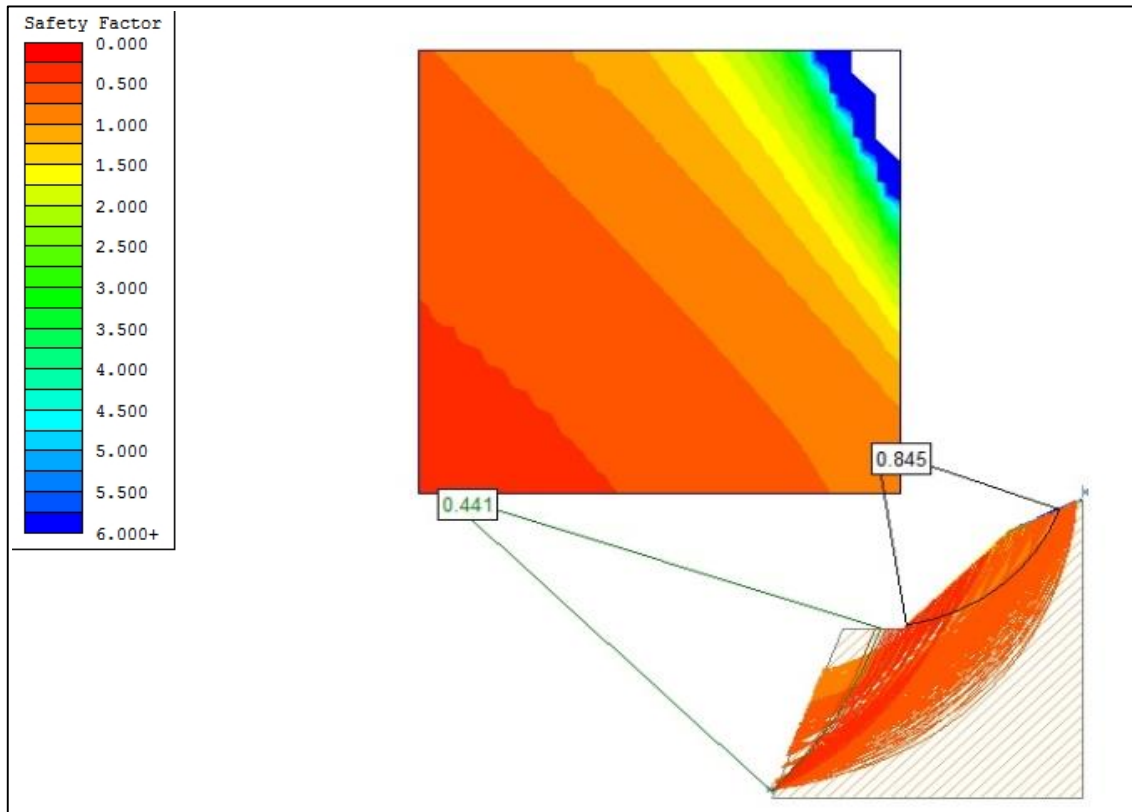


Figura 18: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 2.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 6 cuñas críticas que pueden deslizarse, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción.

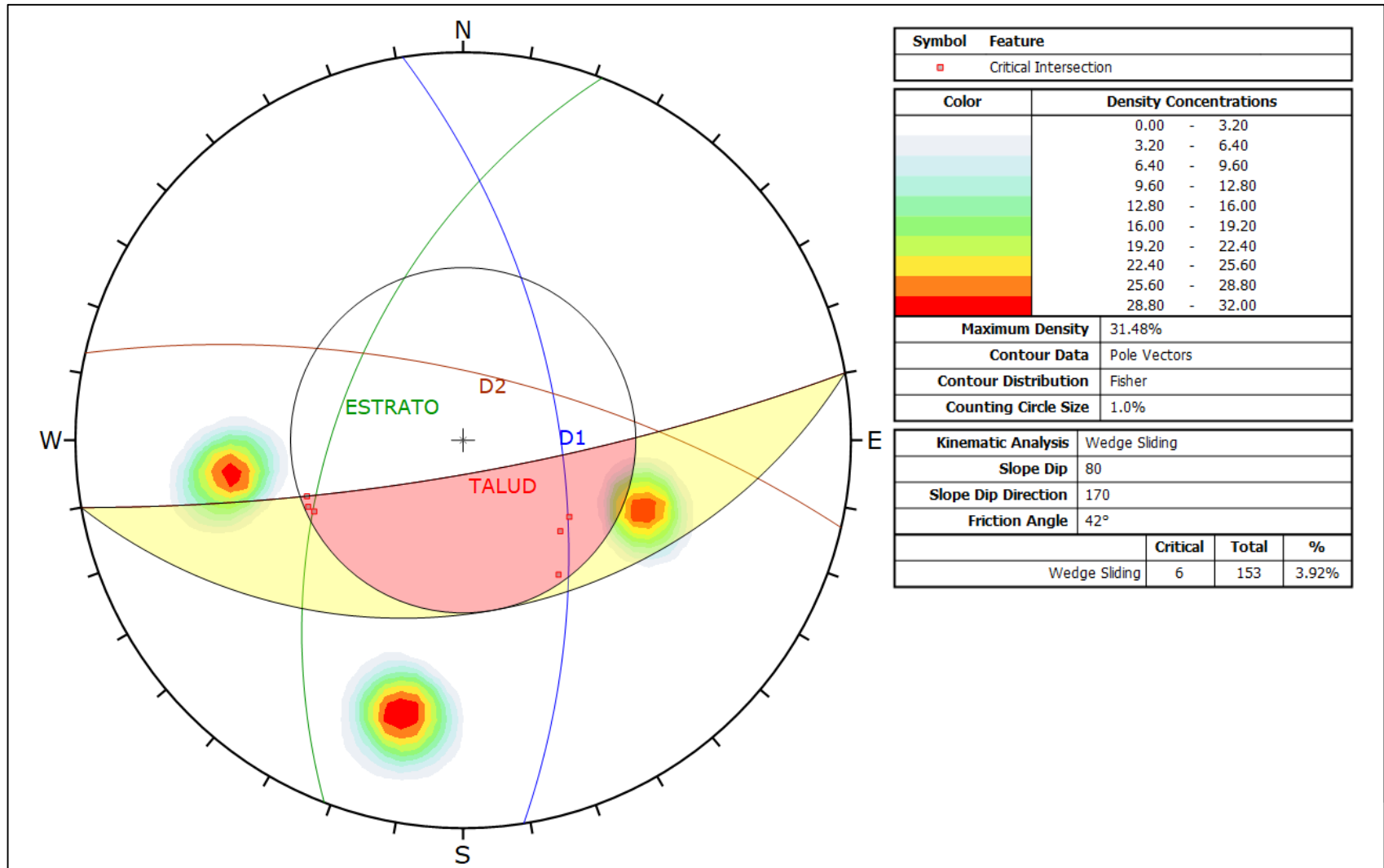


Figura 19: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 2.

3.4.3 Talud 3

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 0.921. Determinando que es un talud inestable, por ser menor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

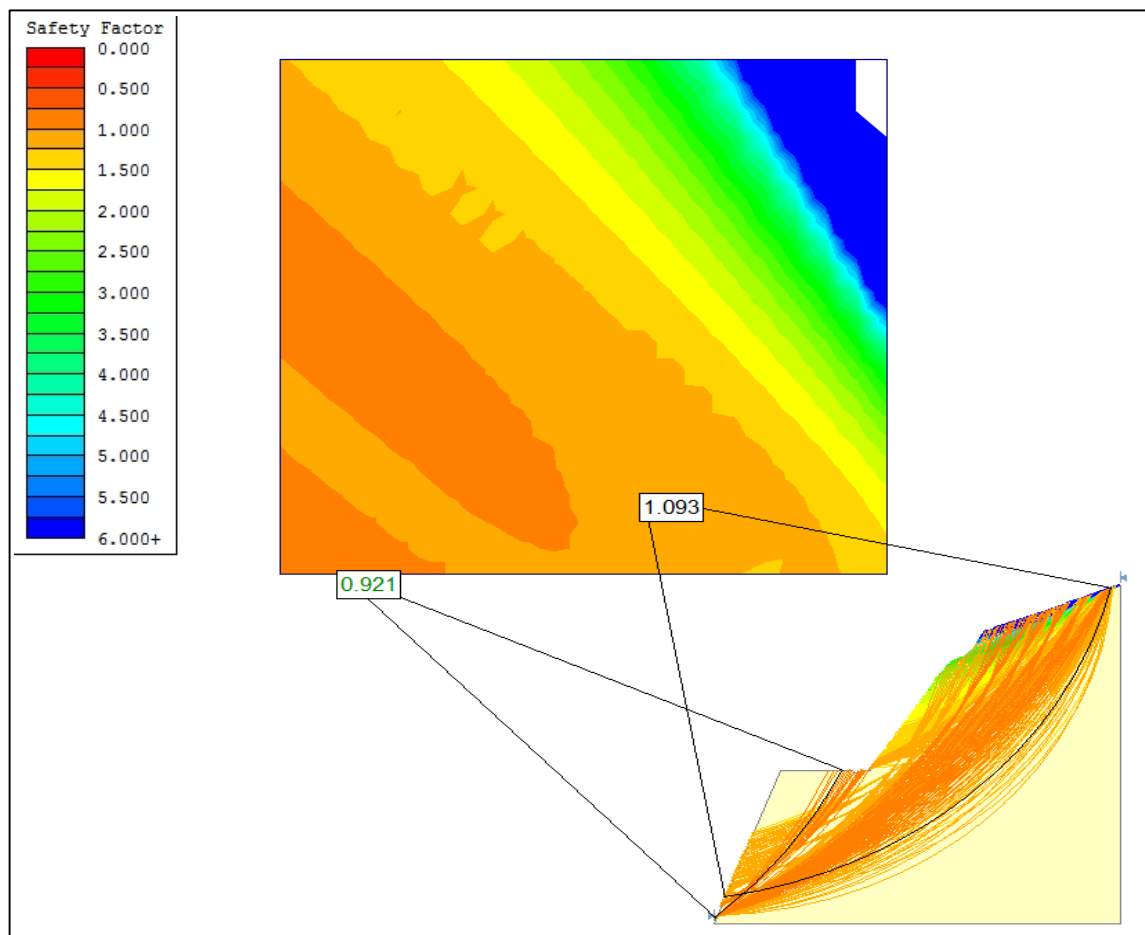


Figura 20: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 3.

3.4.4 Talud 4

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 0.945. Determinando que es un talud inestable, por ser menor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

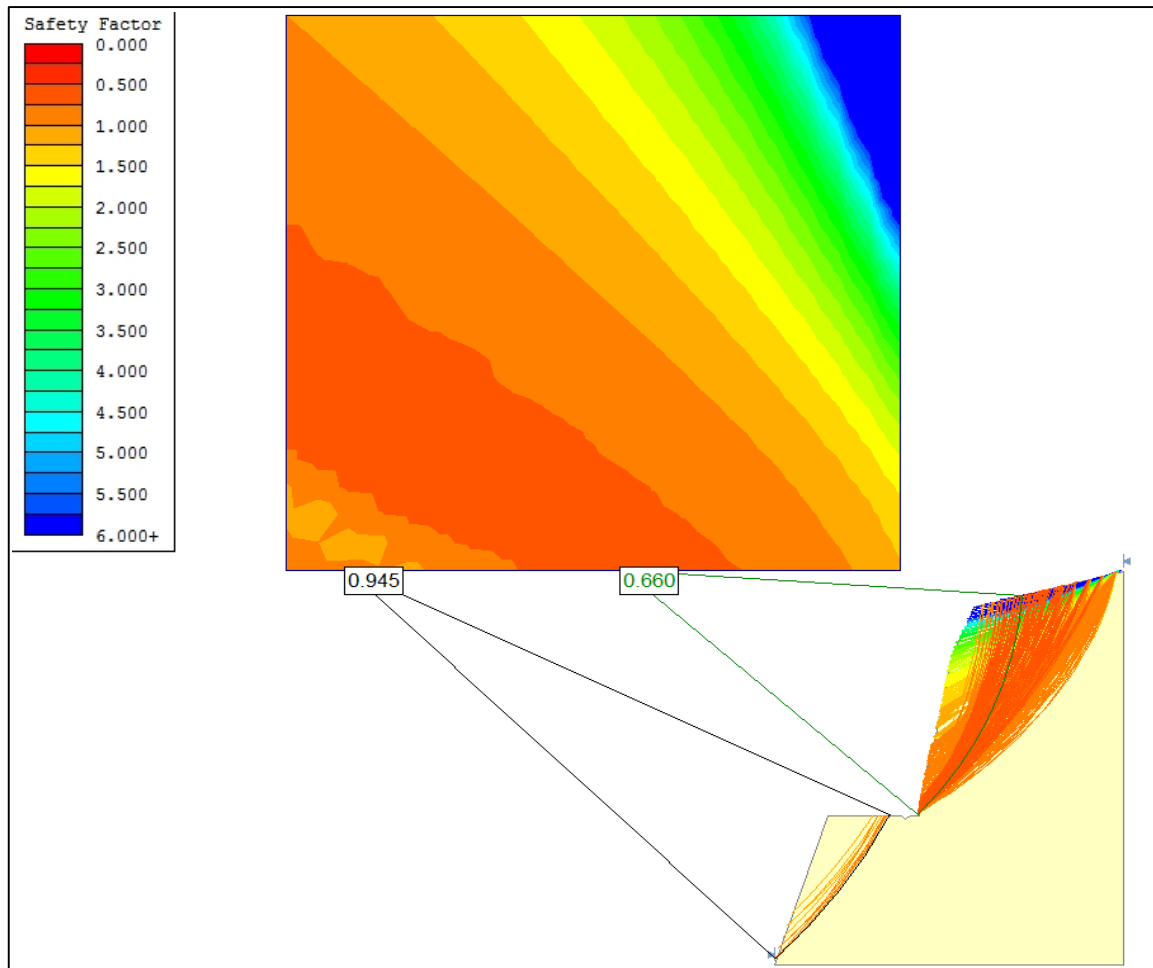


Figura 21: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 4.

3.4.5 Talud 5

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 0.412. Determinando que es un talud inestable, por ser menor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

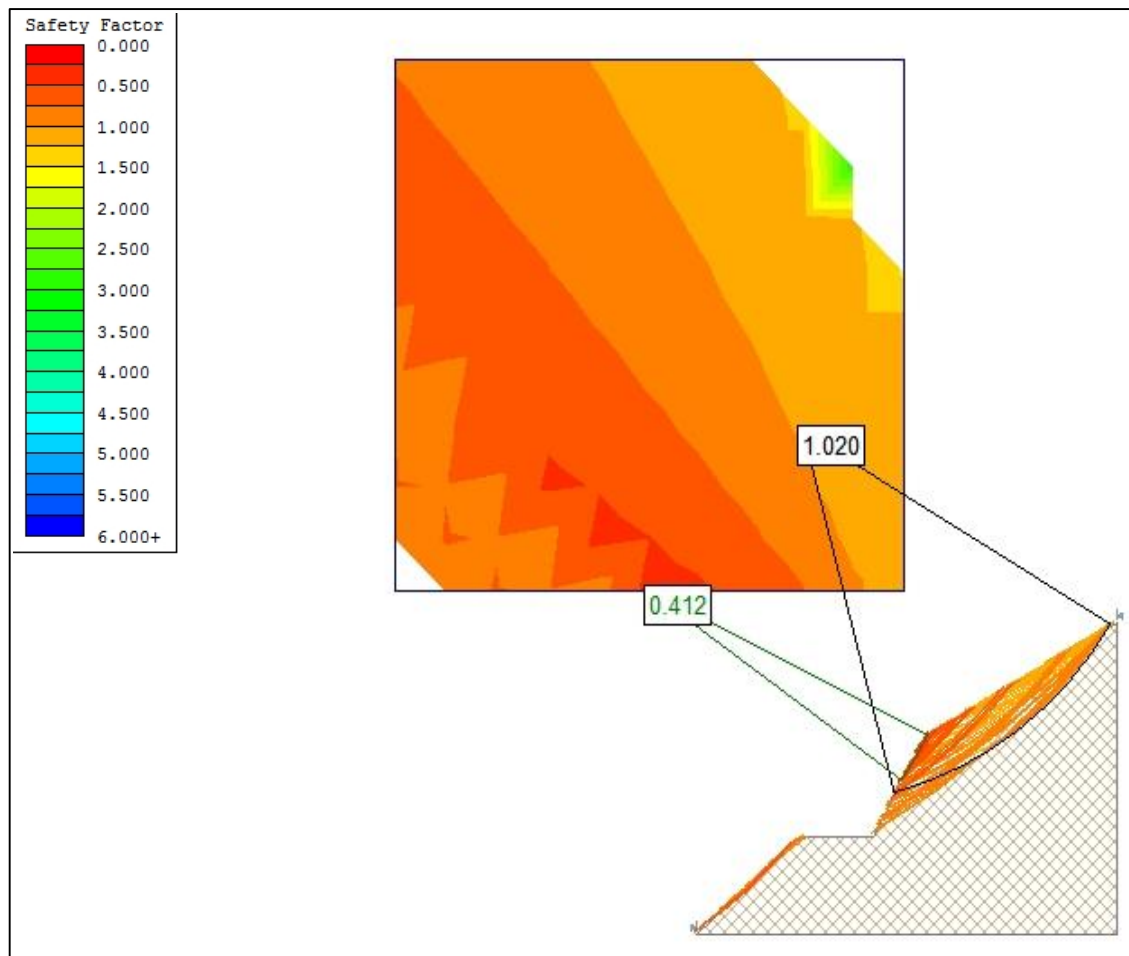


Figura 22: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 5.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 5 cuñas críticas que pueden deslizarse al NE, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción.

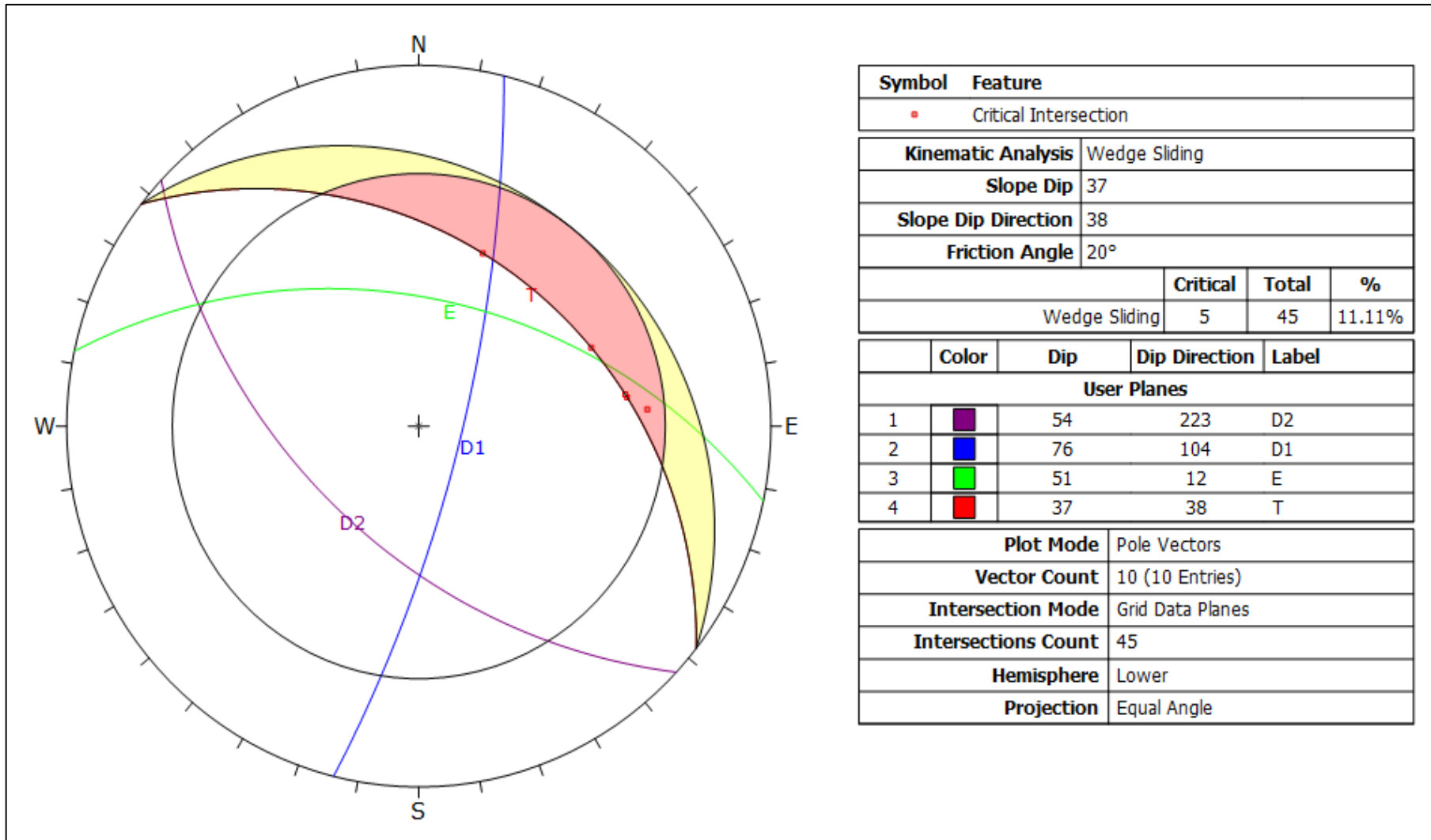


Figura 23: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 5.

3.4.6 Talud 6

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 0.771. Determinando que es un talud inestable, por ser menor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

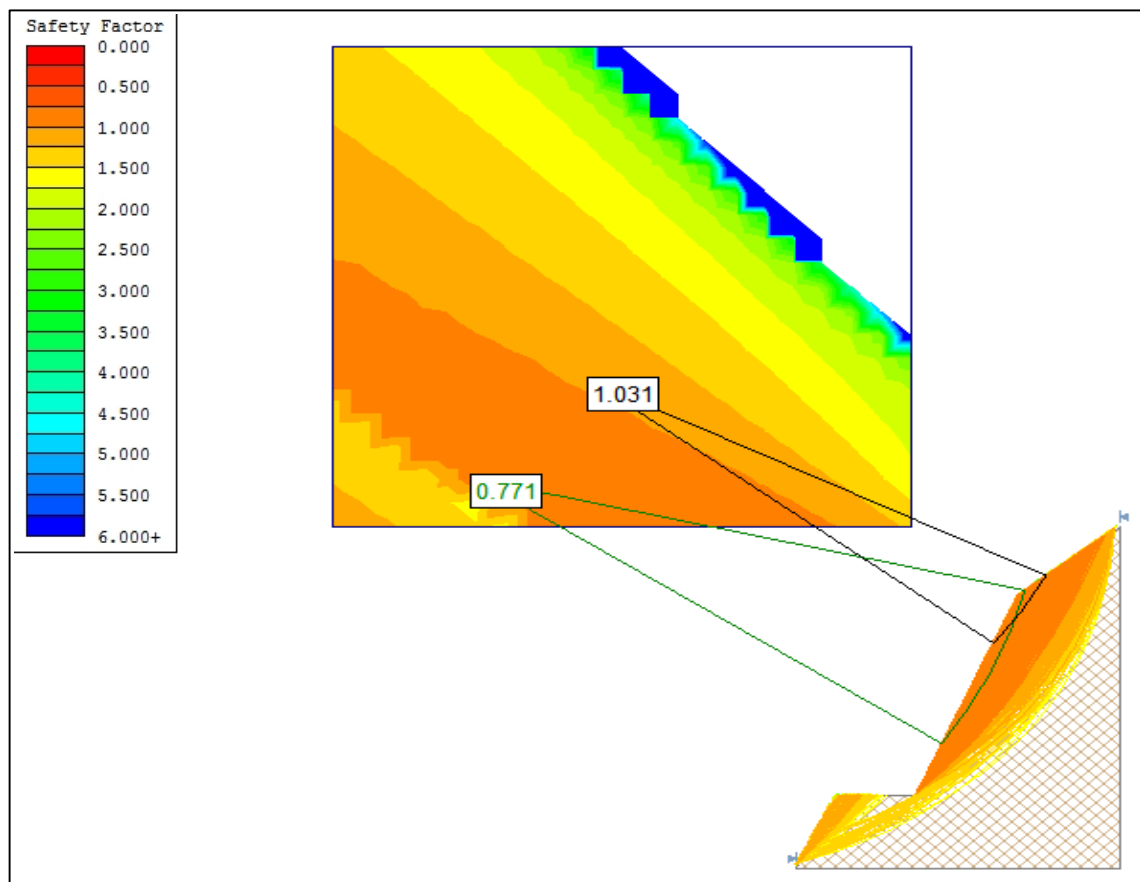


Figura 24: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 6.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 18 cuñas críticas que pueden deslizarse al NE, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción.

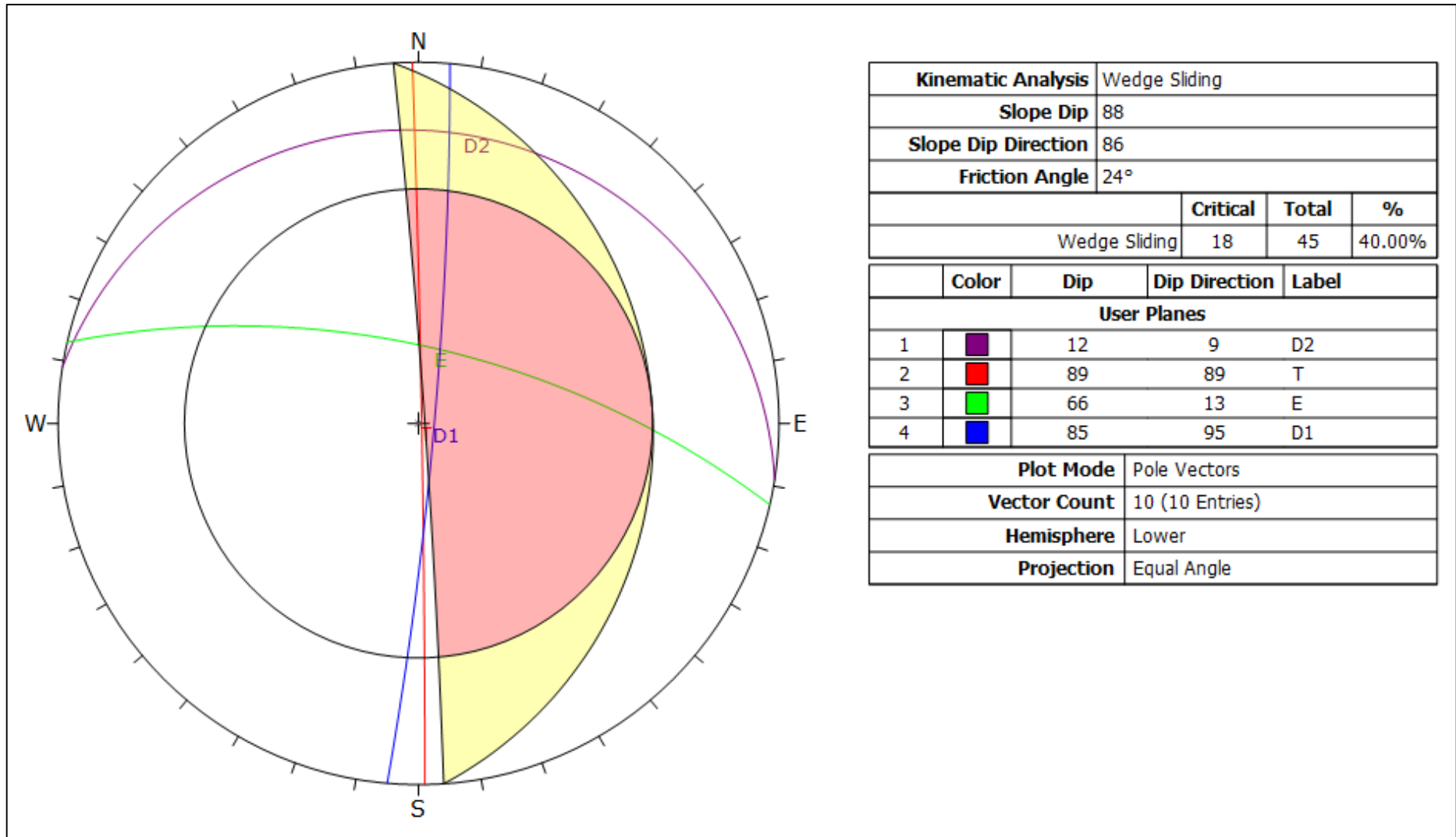


Figura 25: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 6.

3.4.7 Talud 7

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 10.175. Determinando que es un talud estable, por ser mayor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

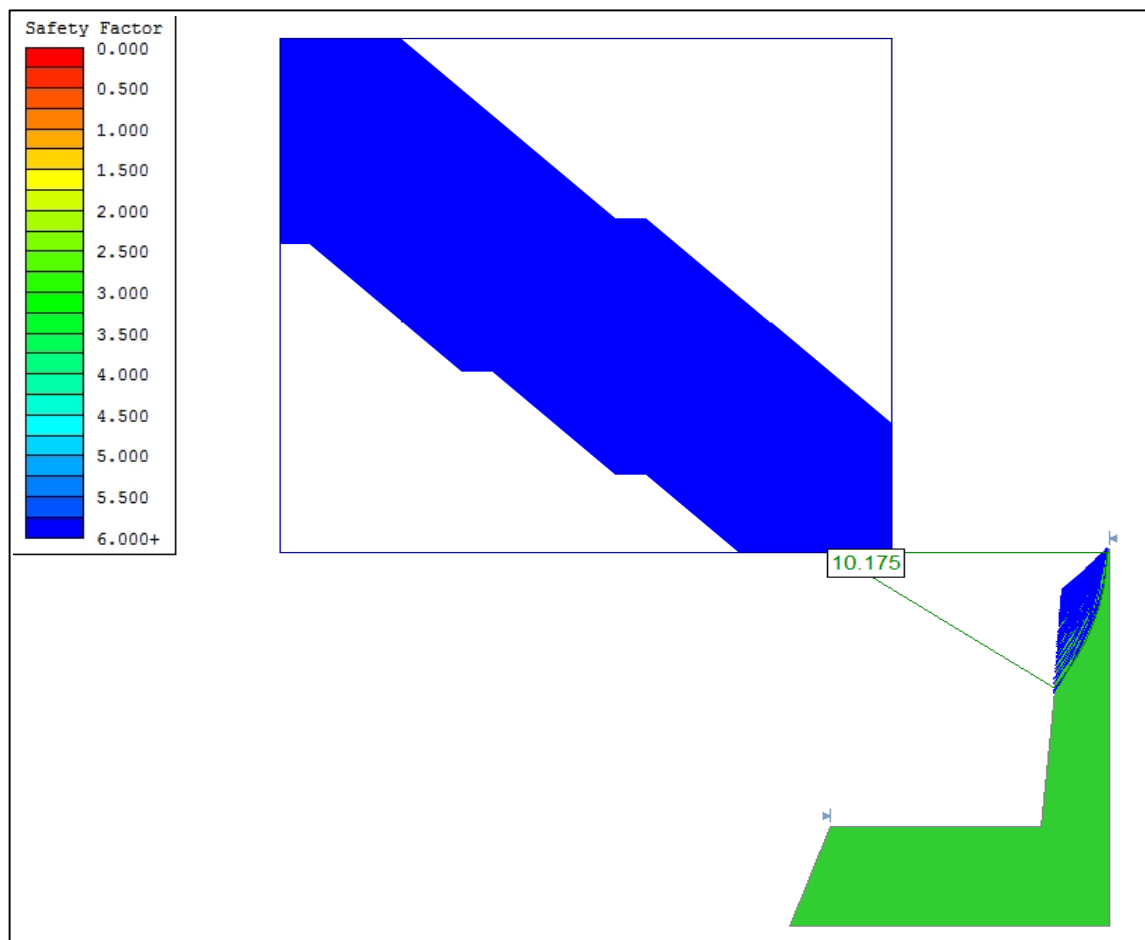


Figura 26: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 7.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 23 cuñas críticas que pueden deslizarse al SW, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción.

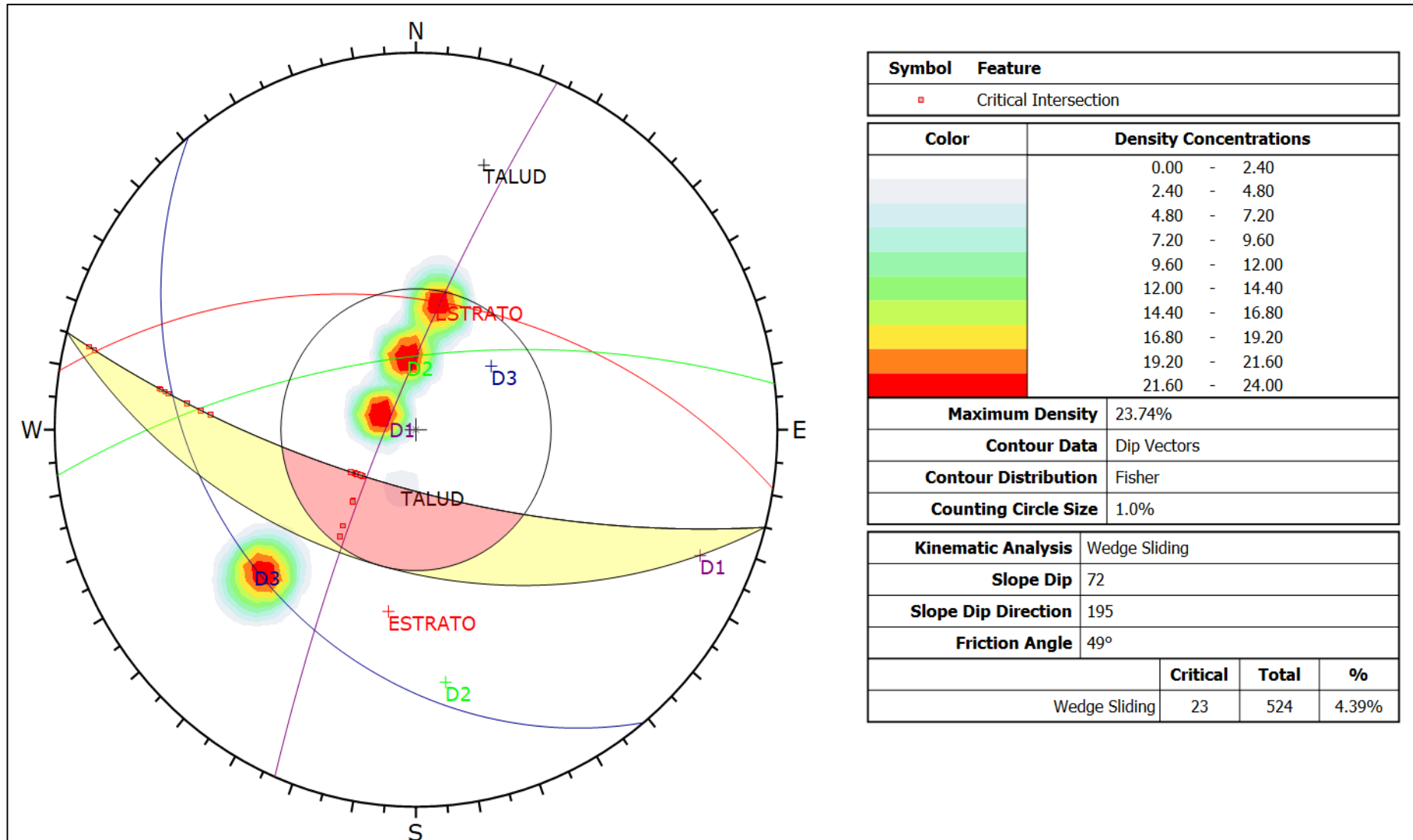


Figura 27: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 7.

3.4.8 Talud 8

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 3.910. Determinando que es un talud estable, por ser mayor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

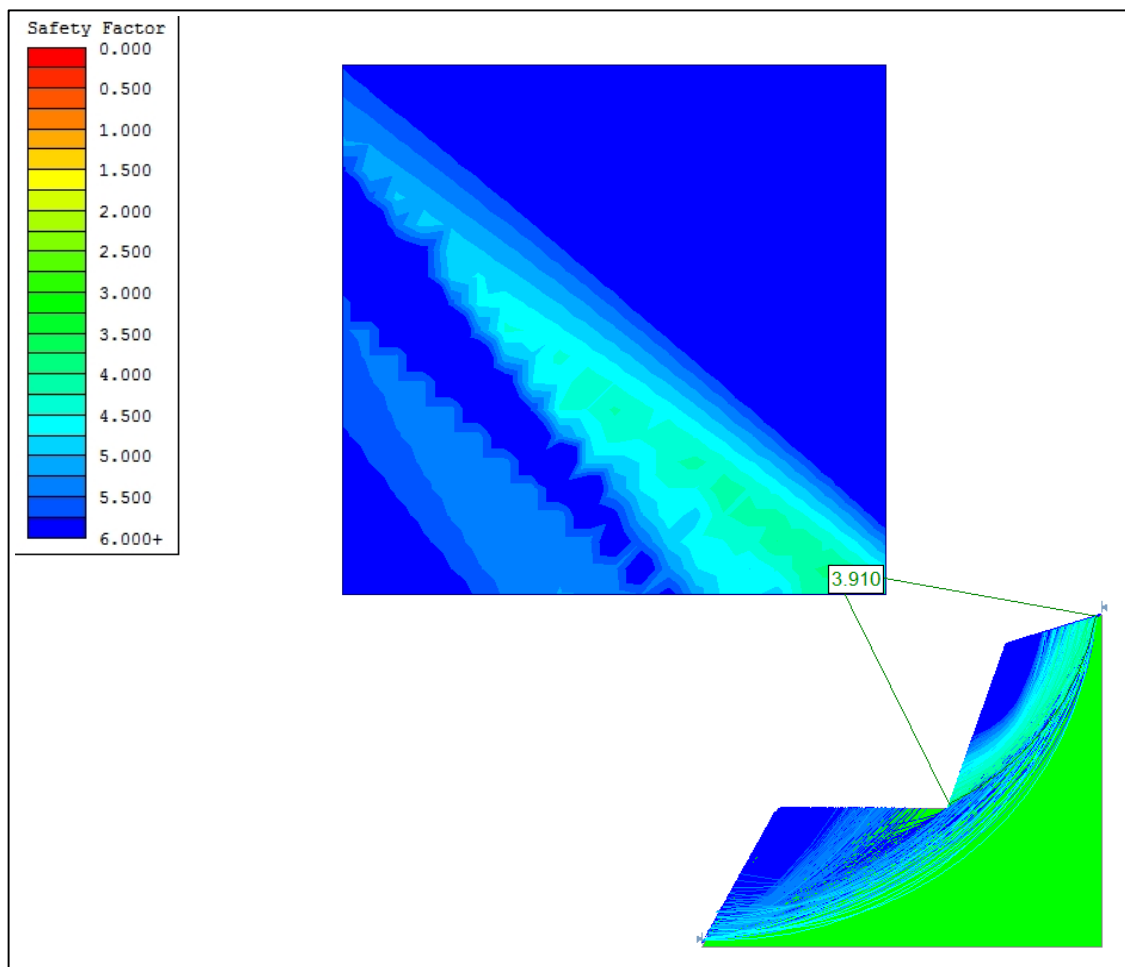


Figura 28: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 8.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 54 cuñas críticas que pueden deslizarse al NW, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción.

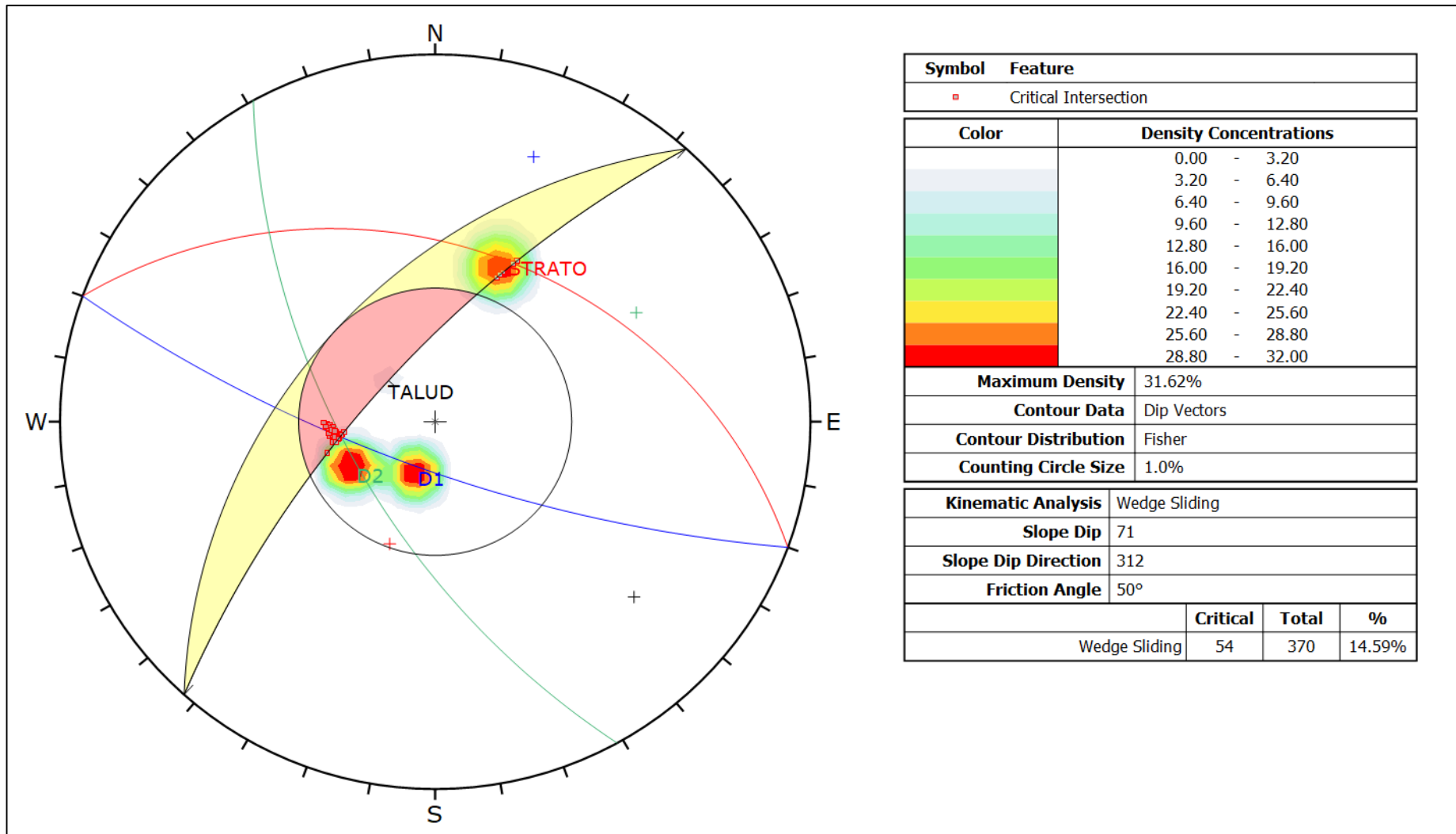


Figura 29: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 8.

3.4.9 Talud 9

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 4.175. Determinando que es un talud estable, por ser mayor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

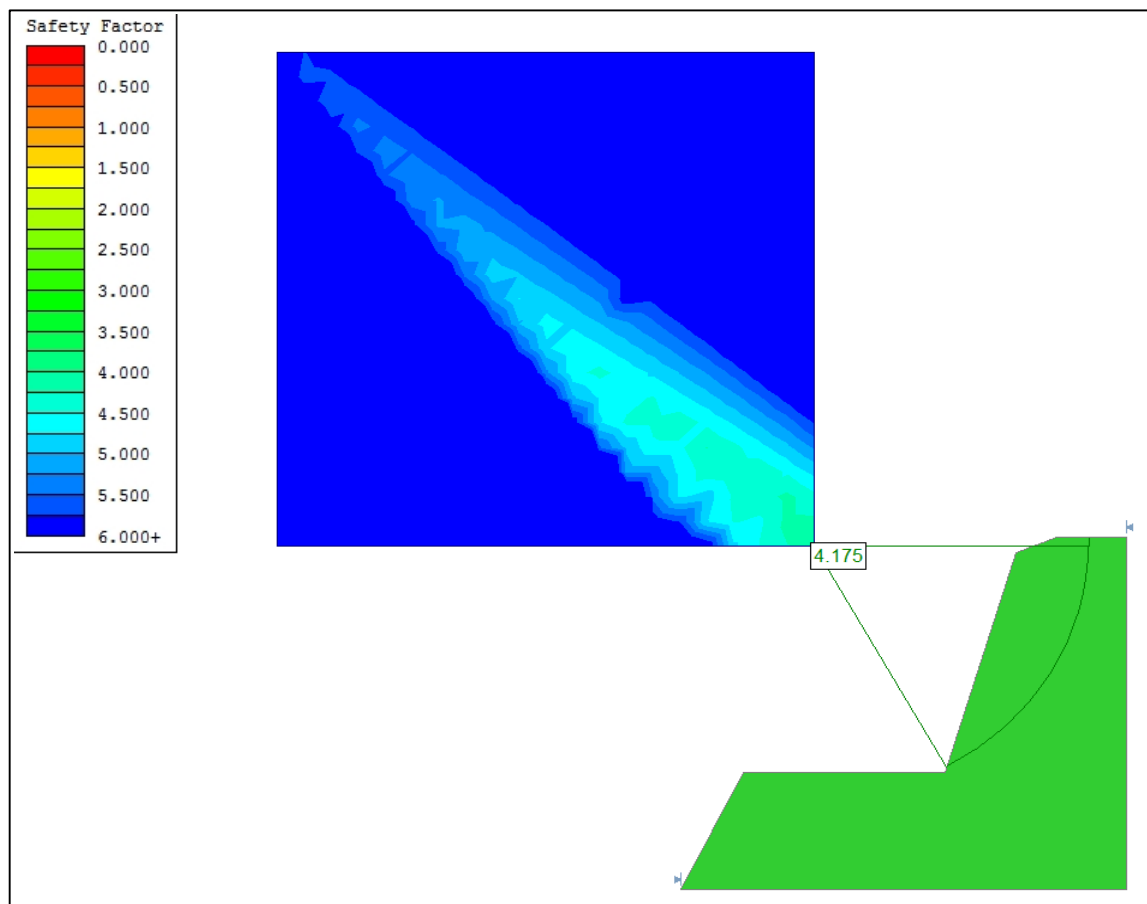


Figura 30: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 9.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 200 cuñas críticas que pueden deslizarse al SW, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción. (Fig. 31)

3.1.1 Talud 10

De acuerdo al análisis realizado en el software Slide, mediante el modelo de Bishop simplificado en condición estática, se obtuvo un factor de seguridad de 2.531. Determinando que es un talud estable, por ser mayor que el factor de seguridad considerado de 1.53 para este trabajo de investigación.

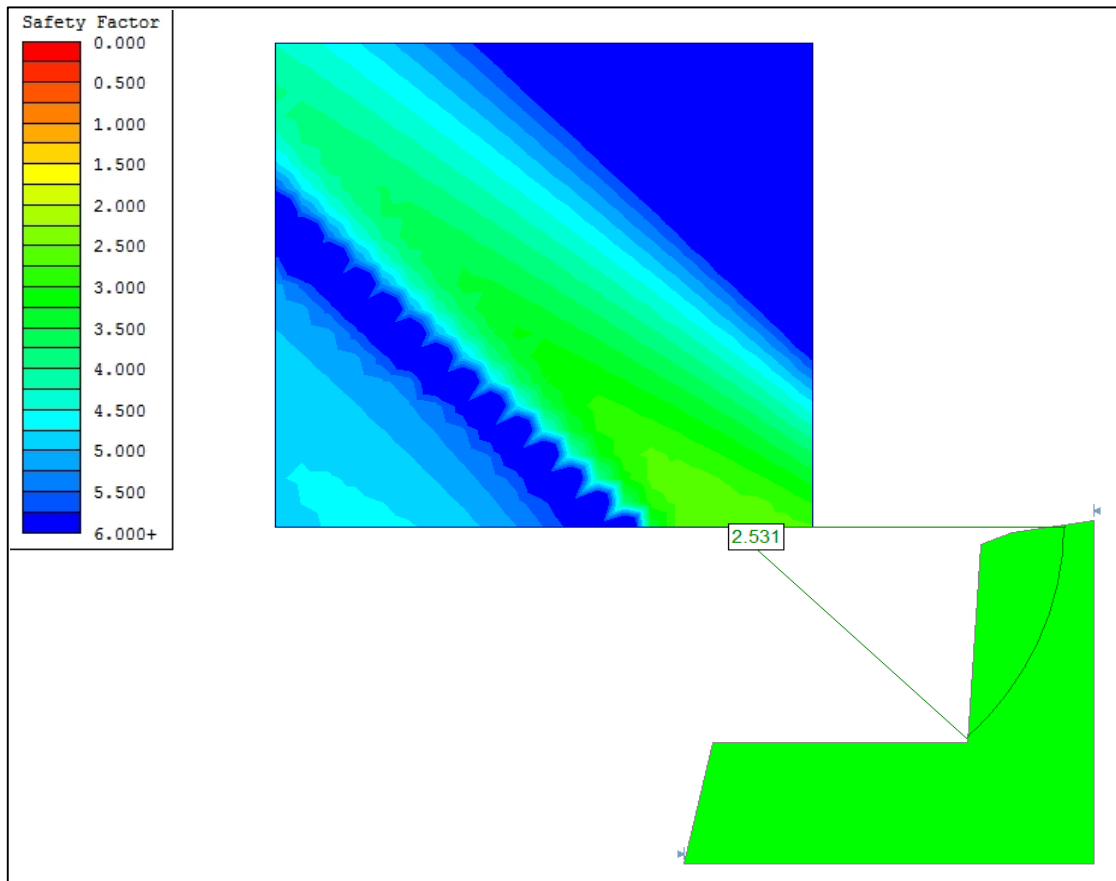


Figura 312: Interpretación del factor de seguridad para el Talud 10.

Considerando que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir de formas muy diferentes y está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias superficies de discontinuidades, se realizó el análisis cinemático de estas en el software Dips. Determinando un total de 15 cuñas críticas que pueden deslizarse al SE, debido a que el plunge de la línea de intersección de estas excede al ángulo de fricción. (Fig. 33)

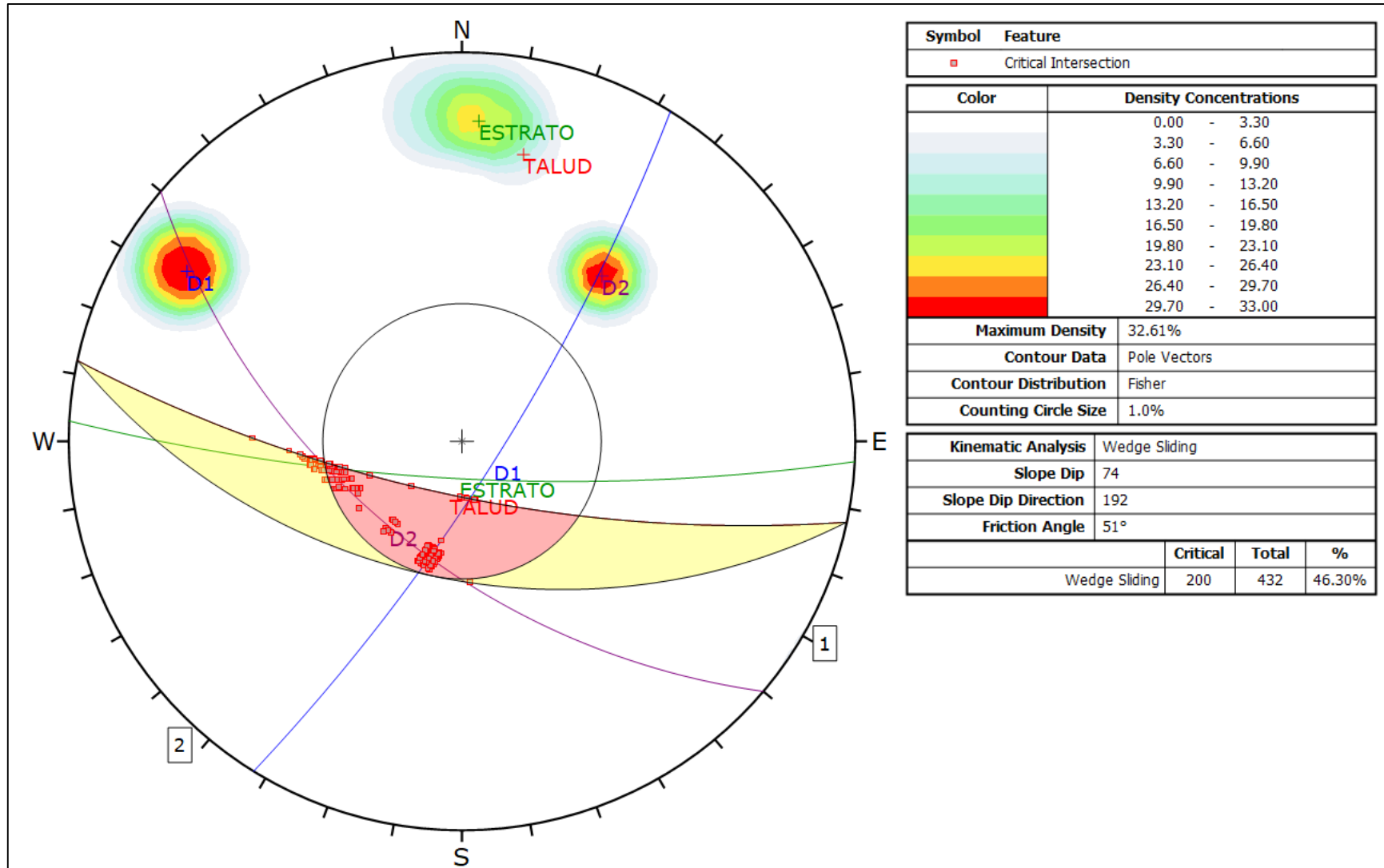


Figura 321: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 9.

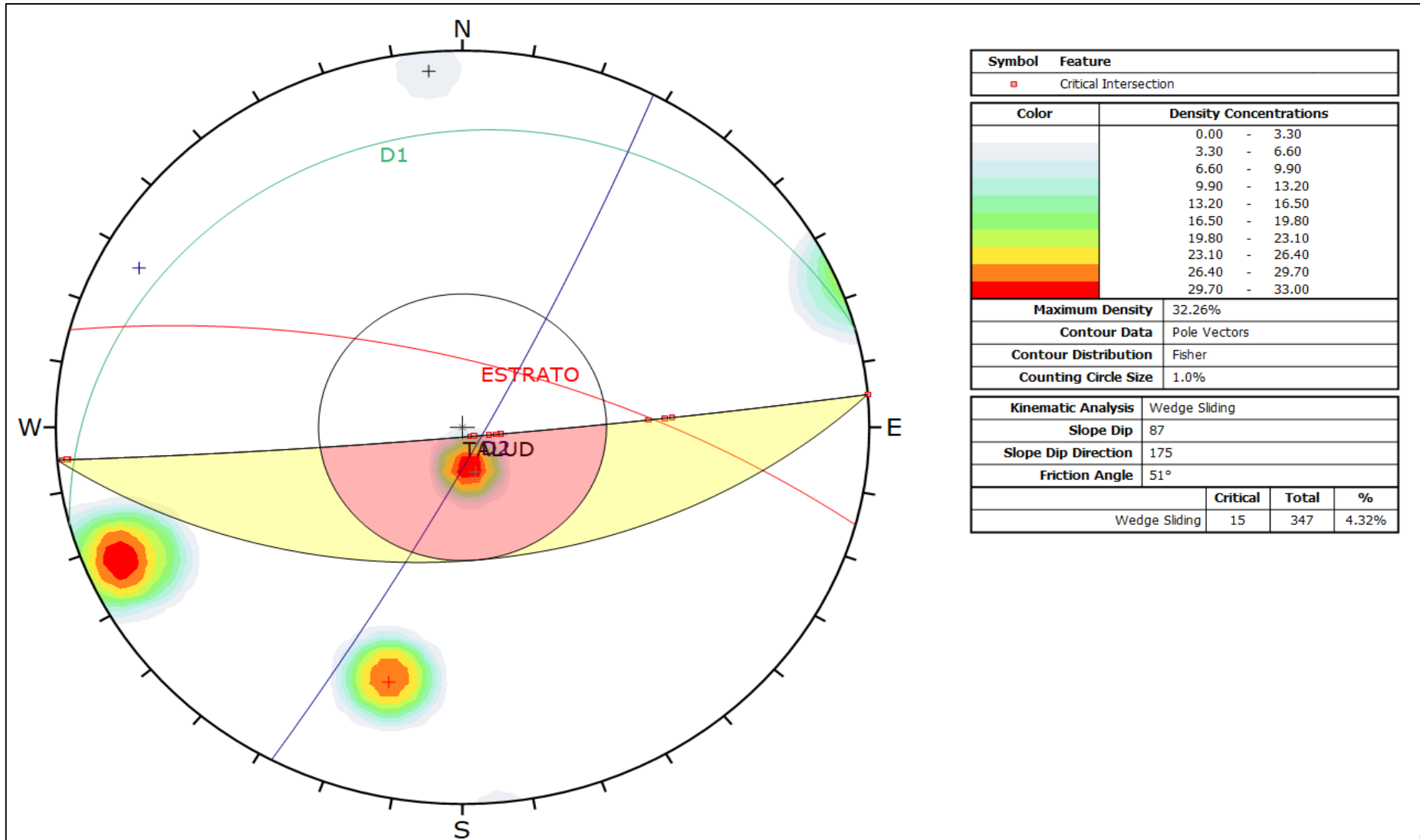


Figura 33: Análisis Cinemático de rotura en cuña para el Talud 10.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de la información obtenida de los 10 taludes estudiados, se realizó mediante el Software Slide v6.0 (Método de Equilibrio Limite), donde se obtuvo los factores de seguridad en taludes de suelo y roca, para la determinación de zonas inestables que son susceptibles a deslizamientos en la carretera San Juan – Choropampa de la progresiva km. 128+000 al Km. 140+000. Se analizó los factores geológicos (litología, discontinuidades) de cada talud, para determinar los parámetros geomecánicos de cada geomaterial presente, mediante el análisis en el Software RocData v4.0. Para los taludes de suelos se utilizó el Criterio de Mohr-Coulomb y para los taludes de roca el Criterio Generalizado de Hoek-Brown.

Los taludes se analizaron en condiciones de obra permanente y estáticas con $FS=1.53$, según la norma de los Estados Unidos AASHTO LRFD , obteniendo de esta manera un total de 6 taludes que presentan un factor de seguridad por debajo de lo considerado y 4 taludes que presentan el factor de seguridad superior a lo indicado.

De los taludes con factor de seguridad menor al 1.53; se tiene que el talud 1, talud 2, talud 5 y talud 6: son taludes constituidos por macizos de roca caliza intercaladas con lutitas y en algunos casos margas que presentan un grado de meteorización entre moderado a alto, además constituidos por tres a cuatro familias de discontinuidades. Asimismo, el talud 3 y talud 4, están constituidos por depósitos coluviales y coluvio- aluvial de fragmentos de roca caliza; presentando estas en la superficie de la carpeta asfáltica asentamientos diferenciales, que afectan el tránsito de los vehículos que circulan en esta vía.

En cuanto a los taludes con factor de seguridad superior al 1.53, como es el caso del talud 7, talud 8, talud 9, talud 10; presentan un configuración geológica de rocas

calizas en estratos masivos ligeramente meteorizados y tres familias de discontinuidades, con resistencia a la compresión uniaxial cercano a los 50 MPa, según ensayos de laboratorio realizados por el proyecto “Estudio Definitivo para la Construcción del Puente el Tingo y Accesos” y los datos recopilados en campo para esta investigación. Para una mejor observación se presenta en el siguiente cuadro el resumen de los factores de seguridad de cada talud.

Tabla 22: Resumen del Factor de Seguridad de los taludes analizados

TALUD	UNIDAD GEOLÓGICA	CONDICIÓN DE ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD MODELO BISHOP SIMPLIFICADO	AASHTO LRFD FS=1.53 ESTADO DEL TALUD
1	Formación Chulec		0.368	Inestable
2	Formación Chulec		0.441	Inestable
3	Deposito inconsolidado		0.921	Inestable
4	Deposito inconsolidado		0.945	Inestable
5	Formación Pariatambo		0.412	Inestable
6	Formación Yumagual	Estático	0.771	Inestable
7	Formación Quilquiñan-Mujarrun		10.175	Estable
8	Formación Quilquiñan-Mujarrun		3.910	Estable
9	Formación Quilquiñan-Mujarrun		4.175	Estable
10	Formación Yumagual		2.531	Estable

Para la realización del análisis cinemático en el software Dips, se consideró falla en cuña por las características de orientación de los taludes y las discontinuidades que favorecen la presentación de estas; es así que el talud 1, talud 2 y talud 5 presentan

3, 6 y 5 cuñas respectivamente que pueden fallar en cualquier momento debido a factores condicionantes, como las precipitaciones pluviales, ya que sus discontinuidades se encuentran rellenas por arcillas.

De los taludes 6,7,8,9 y 10; según el análisis cinemático presentan cuñas entre 15 y 200, evidenciando un mayor riesgo de presentarse la rotura de estas por la cantidad con respecto a los taludes 1,2 y 5. Estas discontinuidades presentan una mayor rugosidad y en su mayoría se presentan rellenas de óxidos y limpias. En la siguiente tabla se presentan un resumen del número de cuñas por talud.

Tabla 23: Resumen de rotura por cuña de los taludes

TALUD	ANÁLISIS CINEMÁTICO	
	ROTURA	Nº CUÑAS
1		3
2		6
5		5
6	CUÑA	18
7		23
8		54
9		200
10		15

Asimismo, según lo identificado en campo por progresiva analizada, se observó que los talud 7, 8, y 9 presentan algunos desprendimientos de bloques de rocas con medidas entre 0.10 – 0.40 m, afectando temporalmente la vía; sin embargo los talud 3, 6 y 5 solo se puede observar desprendimientos de rocas menores a 0.15m, probablemente esto se deba a que estos últimos son taludes que evidencian un grado de meteorización de moderado a alto y por sus constituyentes litológicos.

En consideración con la hipótesis planteada, la inestabilidad de los taludes en la carretera del Km. 128+000 próximo al pueblo de Choropampa hasta el km 140+000 cerca al pueblo de San Juan, se ve influenciada por el comportamiento de los factores geológicos-geotécnicos de cada geomaterial, influyendo también agentes

geodinámicos externos, factores geométricos y factores desencadenantes. Es válida la hipótesis debido a que los taludes están constituidos en su mayoría por depósitos cuaternarios coluviales (suelos tipo GC>CL), coluvio-aluviales (suelos GM>ML), rocas de las Formaciones Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñan-Mujarrun; afectadas estas a la vez por factores estructurales que han fracturado y deformado los macizos rocosos; por agentes geodinámicos externos que han meteorizado los suelos y rocas provocando denudación de los suelos y rocas, reduciendo su resistencia y alterando sus propiedades geomecánicas. Complementario a esto, también están los factores geométricos de los taludes como su altura y su orientación (Dip/DD de la cara del talud); y las precipitaciones pluviales que aceleran los procesos de meteorización y saturación de suelos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En base a las características geológicas y geotécnicas de los diferentes suelos y rocas, del total de diez taludes analizados, se determinó que: el talud 1, 2, 3, 4, 5 y 6 son inestables por obtener un factor de seguridad menor a 1.53 considerado para esta investigación según la norma AASHTO LRFD; sin embargo el talud 7, 8, 9, 10 presenta un factor de seguridad superior al 1.53 por lo que representan taludes estables, haciendo referencia que se han analizado bajo condiciones estáticas y de obra permanente.

Se han cartografiado depósitos superficiales coluviales y coluvio-aluvial, también rocas sedimentarias Cretácicas correspondientes a las Formaciones Chulec, Pariatambo, Yumagual, Grupo Quilquinan-Mujarrun y Formación Cajamarca; las que han sido afectadas por aspectos estructurales y de geodinámica externa.

El análisis cinemático, no determina tamaño ni forma de los bloques, tampoco da un valor cuantitativo del factor de seguridad, pero indica el sistema de rotura del macizo rocoso en un determinado talud.

Según el análisis cinemático realizado al talud 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 en el Software Dips v 6.0, todas presentan rotura en cuña; pero es necesario indicar que este análisis se realizó en base al ángulo de fricción obtenido del software RocData v 4.0, sobre un rango de falla aplicado a taludes.

5.2 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones están dirigidas a las autoridades locales de los Distritos de San Juan y Magdalena:

Realizar ensayos de laboratorio para suelos y rocas que ayuden a mejorar los resultados obtenidos, debido a que en esta investigación nos hemos basado en métodos empíricos y algunos datos de laboratorio tomados del estudio definitivos del Puente el Tingo - San Juan.

Monitorear los taludes con factor de seguridad menor a 1.53, sobre todo en los meses que aumentan las precipitaciones pluviales y realizar cunetas de coronación revestidas para evitar la infiltración de agua y disminuir los procesos de erosión superficial.

Realizar análisis de deformaciones producidas en el talud, con cálculos numéricos mediante el método de diferencias finitas o elementos finitos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja, M. 2001. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Sacramento, USA. Cengage Learning Latin Am.
- Davila, J. 2011. Diccionario Geológico. INGEMMET, Lima, Perú.
- Ferrer, J. 2002. Factores de formación y propiedades de suelos en una transecta cordillerana al noroeste del Lago Viedma, Santa Cruz. 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 518-523, Calafate.
- GEMMA. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Publicación Geológica Multinacional No. 4.
- Gonzales de Vallejo, L. et. al. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid, España. Pearson Educación.
- Granados, A. 2006. Estabilización del Talud de la Costa Verde en la Zona del Distrito de Barranco. Lima-Perú.
- Herrera, F. 2003. Introducción al Análisis de la Estabilidad de Taludes en Suelos y los Diferentes Métodos de Cálculo Utilizados. Ponencia presentada en el VI Curso de Geotecnia. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG). Aragón.
- Hoek, E., Carranza, C., Corkum, B. 2002. El Criterio de Rotura de Hoek - Brown. Edición 2002. Minnesota.
- Hoek, E. 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics, Geomechanics Symposium.
- Hoek, E. 2007. Rock Mass Properties. In Practical Rock Engineering. Toronto, Canadá.
- Melentijevic, S. 2005. Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos con Criterios de Rotura No Lineales y Leyes de Fluencia No Asociada. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Montoya, F. 2014. Evaluación geotécnica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca - El Gavilán. Tesis, UNC.
- Reyes, L. 1980. Boletín N° 31, Cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos – Cajabamba. INGEMMET, Lima-Perú.

- Romana, M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas.
- Suarez, J. 2009. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. España. U. Industrial de Santander.
- Varnes, D. 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Vilchez, M. & Guerrero, C. 2006. Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la Cuenca del Río Jequetepeque. INGEMMET, Lima-Perú.
- Zavala, B. & Rosado, M. 2011. Riesgo Geológico en la Región de Cajamarca. INGEMMET. Lima-Perú.

ANEXOS

Anexo: A-1. Ficha de recolección de datos

PROYECTO :		UBICACIÓN :										DISTRITO:		PROVINCIA:		DEPARTAMENTO:										
TRAMO :		AL		HOJA Nº :		DE:		CODIGO:		FECHA:		EJECUTADO POR:		EQUIPO:												
DATUM:		MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS					ESTADO DE ACTIVIDAD	PROPIEDADES DEL DESLIZAMIENTO			DIMENSIONES DE DESLIZAMIENTOS												
ZONA:		METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI		TIPOS		RESIST. COMP. UNMAX		RQD Tramo		1= Activo	TIPO DE MATERIAL	HUMEDAD	ÁNGULO DE REPOSO DE MATERIAL	Ancho de masa desplazada (m)	Ancho de superficie de Falla (m)	Longitud de la masa desplazada (m)	Longitud de la superficie de falla (m)	Profundidad de la masa desplazada (m)	Profundidad de superficie de falla (m)	Longitud total (m)	Longitud de la línea central (m)	VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO (m³)		
Nº		COORDENADAS			Descripción	E=Estratíf.	D=Diaclasa	RQD=100*(e^(-(0.1^x)))*(0.1^x+1)	2= Reactivado	3= Suspendido	1= Roca	1= Seco	1= Arena Fina <35°	3= Dormido	3= Tierra	3= Mojado	2= Arena Gruesa 35° - 45°	Wd	Wr	Ld	Lr	Dd	Dr	L	Lc	Vol. Des m³
NORTE	ESTE	COTA				F=Fract-Intenso	Fi=F, Inversa	Prom golpes	Número de Discontinuidades (ND):	Longitud del tramo (L):	λ= NDL	RQD	4= Inactivo	2= Detritos	2= Húmedo	3= Gravas y bloques >46°										
5=Comp Met					4=Fract-Intenso	Ff=F, Direcc							6= Abandonado	4= Lodo	4= Muy Mojado											
					Agrega MB, B, M, P, MP	mf=Microfalla	C=Contacto						7= Estabilizado													
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										

Fuente: Modificado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica – Curso Geotecnia