

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



T E S I S

**“EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA
CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por el Bachiller:

OSCAR RONAL PAREDES MARZANA

Asesor:

Ing. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

CAJAMARCA – PERÚ

2016

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por permitir formarme académicamente en sus recintos.

A mi asesor, Reinaldo Rodríguez Cruzado, por brindarme su apoyo, volcar su experiencia, inculcar valores éticos y académicos que siempre los tendré presente.

A los docentes, Reinaldo Rodríguez, José Siveroni, Zenón Quispe, Alejandro Lagos, Roberto González, Víctor Arapa entre otros; que volcaron sus conocimientos y experiencias en beneficio de mi formación profesional.

A mi familia: mi padre José Arcadio Paredes Ávila, mi madre María Altagracia Marzana Huamán, mis hermanos Percy, Alex y a mi querida hermana Bivian; que todos con su apoyo incondicional, en todos los aspectos, son responsables directos de la culminación de esta tesis.

A María Charito Vargas Mendoza, por su apoyo incondicional durante mi formación universitaria.

A todos mis amigos y amigas que me apoyaron incondicionalmente de forma directa e indirecta.

Mi agradecimiento especial al gerente general de Carranza Ingenieros Minería y Construcción S. A., el ingeniero Amílcar Carranza Mercedes y a sus hermanos Aníbal y Elmer, que me brindaron todas las facilidades para la realización de esta tesis.

No terminaría de mencionar a personas que han contribuido en mi formación universitaria y la culminación de esta tesis, por lo que les pido sinceras disculpas por no mencionarlas, no obstante, les agradezco de todo corazón.

O.R.P.M.

DEDICATORIA

A mi madre, María Altagracia Marzana Huamán.

A mi padre, José Arcadio Paredes Ávila.

A mis hermanos, Percy y Alex.

A mi hermana, Bivian.

Mi familia,... ¡mi razón de ser!

CONTENIDO

	<i>Página</i>
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Génesis de los Suelos	5
2.2.2. Los suelos en la Ingeniería Geológica.....	8
2.2.3. Características geotécnicas de los sedimentos	9
2.2.4. Geodinámica.....	11
2.2.5. Modelización en Ingeniería Geológica.....	12
2.2.6. Nomenclatura de los Movimientos.....	14
2.2.7. Clasificación de procesos de remoción de masa	19

2.2.8.	Deslizamientos en Masa (Traslacionales y Rotacionales)	24
2.2.9.	Estabilidad de Taludes.....	27
2.2.10.	Clasificaciones Geomecánicas de las Rocas	30
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	33
 CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		35
3.1.	Central Hidroeléctrica Potrero	35
3.2.	Ubicación	35
3.3.	Accesibilidad	36
3.4.	Clima.....	37
3.5.	Flora y Fauna	38
3.6.	Tipo y Diseño de la Investigación	38
3.7.	Procedimientos y Técnicas de Recolección de Datos.....	39
3.7.1.	Etapla preliminar de gabinete.....	39
3.7.2.	Etapla de Campo.....	40
3.7.3.	Etapla Final de Gabinete	40
3.7.4.	Procesamiento de datos y análisis de información.....	41
3.7.5.	Equipos e Instrumentos	41
 CAPÍTULO IV. GEOTECNIA		43
4.1.	GEOLOGÍA.....	43
4.1.1.	Geología Regional	43
4.1.2.	Geología Local	46
4.2.	GEOMORFOLOGÍA.....	49
4.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	52
4.4.	ESTACIONES GEOMECAÑICAS	53
4.4.1.	Estación Geomecánica 01	54
4.4.2.	Estación Geomecánica 02	57

4.4.3.	Estación Geomecánica 03	60
4.4.4.	Estación Geomecánica 04	63
4.4.5.	Estación Geomecánica 05	66
4.4.6.	Estación Geomecánica 06	69
4.4.7.	Estación Geomecánica 07	72
4.4.8.	Estación Geomecánica 08	75
4.4.9.	Estación Geomecánica 09	78
4.4.10.	Estación Geomecánica 10	81
4.4.11.	Estación Geomecánica 11	84
4.4.12.	Estación Geomecánica 12	87
4.4.13.	Estación Geomecánica 13	90
4.4.14.	Estación Geomecánica 14	93
4.4.15.	Estación Geomecánica 15	96
4.4.16.	Estación Geomecánica 16	99
 CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		105
5.1.	ANÁLISIS DEL TRAMO CAMPAMENTO – DIQUE	105
5.1.1.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 01.....	105
5.1.2.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 02.....	107
5.1.3.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 03.....	109
5.1.4.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 04.....	111
5.1.5.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 05.....	113
5.1.6.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 06.....	115
5.1.7.	Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 07.....	117
5.2.	ANÁLISIS DEL TRAMO DIQUE - CASA DE MÁQUINAS.....	119
5.2.1.	Análisis Cinemático en Dips Estación 08:	119
5.2.2.	Análisis Cinemático en Dips Estación 09	124

5.2.3.	Análisis Cinemático en Dips Estación 10	126
5.2.4.	Análisis Cinemático en Dips Estación 11	128
5.2.5.	Análisis Cinemático en Dips Estación 12	130
5.2.6.	Análisis Cinemático en Dips Estación 13	132
5.2.7.	Análisis Cinemático en Dips Estación 14	134
5.2.8.	Análisis Cinemático en Dips Estación 15	136
5.3.	DESLIZAMIENTO CHICHIR.....	138
 CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		140
 CONCLUSIONES.....		140
RECOMENDACIONES		142
 REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS.....		143
 ANEXOS		145

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura 1. Formación de los suelos.	7
Figura 2. Perfil de meteorización, según diferentes autores.	7
Figura 3. El suelo como sistema particulado.	9
Figura 4. Depósito coluvial en la zona de estudio.	10
Figura 5. Depósito aluvial, a orillas del río Crisnejas.	11
Figura 6. Ejemplos de modelización en ingeniería geológica.	13
Figura 7. Nomenclatura de taludes y laderas.	15
Figura 8. Partes generales de un talud o ladera.	15
Figura 9. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides C1990).	17
Figura 10. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.	18
Figura 11. Caídos de bloques en caída libre de roca fracturada.	20
Figura 12. Izq. Caído de bloques rodando (Pendiente menos de 45°). Der. Algunos mecanismos de formación de caídos.	21
Figura 13. Inclinación y caídos en un proceso de erosión.	22
Figura 14. El volcamiento genera un desmoronamiento del talud o falla en escalera, formando caídos o derrumbes.	22
Figura 15. Procesos de falla al volcamiento.	23
Figura 16. Modos de complejos de volcamiento.	23
Figura 17. Deslizamientos en suelos blandos.	25
Figura 18. Deslizamiento rotacional típico; Izq. Movimientos de las masas de tierra, Der. Orientación de los árboles.	25
Figura 19. Desplazamiento de rotación en una ladera.	26
Figura 20. Tipos de superficie de rotura en suelos.	28
Figura 21. Representación estereográfica de los planos de discontinuidad respecto a la orientación del talud para algunos tipos de macizos rocosos. (Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004.modificado de Hoek y Bray, 1981).	29

Figura 22.	A la Izquierda, esquema de pandeo. A la derecha, esquema de rotura en curva. (Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004).	29
Figura 23.	Índice de resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados (Hoek y Marinos 2000).	30
Figura 24.	Ubicación del Proyecto.	36
Figura 25.	Accesibilidad a la zona del Proyecto.	37
Figura 26.	Flora de la Zona de estudio, Aguas Arriba del Río Crisnejas.	37
Figura 27.	Cactus, flora típica de la zona.	38
Figura 28.	Afloramiento de la Formación Chicama, en la zona de estudio.	47
Figura 29.	Afloramiento de areniscas blancas (cuarcitas) de la Formación Chimú en el inicio del túnel carretero.	48
Figura 30.	Mapa Geológico – Estructural. (Ver Anexo 04: Plano 04).	48
Figura 31.	Valle formado por el río Crisnejas.	49
Figura 32.	Colina, ubicada al borde de la carretera en estudio.	49
Figura 33.	Ladera, ubicada al costado de la carretera.	50
Figura 34.	Llanura, en la que se ubica parte de la carretera.	50
Figura 35.	Superficies de erosión, al norte de la carretera en estudio.	51
Figura 36.	Escarpes que forman el cañón del Crisnejas.	51
Figura 37.	Terraza fluvial, formada en el lado derecho del río Crisnejas.	51
Figura 38.	Fallas y plegamientos regionales de la zona de estudio, círculos en rojo. (Ver Anexo 04: Plano 04).	52
Figura 39.	Depósitos cuaternarios que conforman el talud de la Estación 01.	54
Figura 40.	Cárcavas originadas por la escorrentía del agua proveniente de las precipitaciones.	54
Figura 41.	Clasificación de los depósitos coluvio-aluviales de la Estación 01. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.	55
Figura 42.	Geometría del talud en Slide de la Estación 01, FS=0.997.	56
Figura 43.	Geometría del talud en la Estación 02.	57
Figura 44.	Lutitas negras y areniscas rojizas que conforman el talud de la Estación 02.	57
Figura 45.	Datos en RocData de la Estación 02, cohesión=0.409 MPa y ángulo de fricción=41.76°.	58
Figura 46.	Geometría y análisis en Slide de la Estación 02, FS=0.990 en tensiones totales.	59

Figura 47.	Areniscas rojizas de la Formación Chicama que conforman el Talud en la Estación 03.	60
Figura 48.	Lutitas negras de la Formación Chicama en la progresiva 5+420.	60
Figura 49.	Datos en RocData de la Estación 03, cohesión=0.791 MPa y ángulo de fricción=56.74°	61
Figura 50.	Geometría y análisis en Slide de la Estación 03, FS=1.238.en tensiones totales.	62
Figura 51.	Geometría del talud de la Estación 04 en la progresiva 5+660.....	63
Figura 52.	Intercalación de lutitas, limolitas y areniscas de diferente espesor que forman parte de la Estación 04 en la progresiva 5+670.....	63
Figura 53.	Datos en RocData de la Estación 04, cohesión=0.409 MPa y ángulo de fricción=41.76°	64
Figura 54.	Geometría y análisis en Slide de la Estación 04, FS=0.871 en tensiones totales.	65
Figura 55.	Geometría del talud de la Estación 05.....	66
Figura 56.	Condiciones litológicas de la Estación 05.....	66
Figura 57.	Clasificación de los depósitos coluviales de la Estación 05. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.....	67
Figura 58.	Geometría y análisis en Slide de la Estación 05, FS=1.281 en tensiones totales.	68
Figura 59.	Deslizamiento en el talud de la Estación 06, en la progresiva 6+375. Además el contacto entre las Formaciones Chicama y Chimú.	69
Figura 60.	Litología (depósito coluvial (fragmentos polimícticos en una matriz arenarcillosa y lutitas de la Formación Chicama) de la Estación 06, en la progresiva 6+380.....	69
Figura 61.	Clasificación de los depósitos coluviales de la Estación 06. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.....	70
Figura 62.	Geometría y análisis en Slide de la Estación 06, FS=0.766 en tensiones totales.	71
Figura 63.	Geometría y litología (depósito coluvial) del talud de la Estación 07 en la progresiva 6+520.....	72
Figura 64.	Depósito coluvial, teniendo como base lutitas de la Formación Chicama y por la baja cohesión se observa que el talud se ha desestabilizado ocasionando derrumbes en la progresiva 6+450.	72

Figura 65.	Clasificación de los depósitos coluviales de la Estación 07. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.....	73
Figura 66.	Geometría y análisis en Slide de la Estación 07, FS=1.103 en tensiones totales.	74
Figura 67.	Afloramiento rocoso de areniscas grises en la EG-08.....	75
Figura 68.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	77
Figura 69.	Afloramiento de areniscas en la EG-09.....	78
Figura 70.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	80
Figura 71.	Afloramiento de las areniscas en la EG-10.	81
Figura 72.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	83
Figura 73.	Afloramiento de areniscas con pátinas de óxidos en la EG-11, en la progresiva 1+020.....	84
Figura 74.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	86
Figura 75.	Afloramiento de areniscas blancas en la EG-12, en la progresiva 1+125.....	87
Figura 76.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	89
Figura 77.	Afloramiento de areniscas en la entrada del túnel carretero, EG-13.....	90
Figura 78.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	92
Figura 79.	Afloramiento de roca arenisca en el interior del túnel carretero. EG-14.	93
Figura 80.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	95
Figura 81.	Areniscas con lentes de carbón y presencia de óxidos en el interior del túnel carretero en la EG-15.	96
Figura 82.	Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.	98
Figura 83.	Dimensiones generales del cono coluvial formado en el extremo norte del Cañón del Crisnejas, que intersecta a la carretera entre las progresivas 0+690 y 0+940, Fuente Google Earth Pro.....	99
Figura 84.	Fragmentos y bloques de roca arenisca en una matriz arenosa, con contenido de materia orgánica (raíces y troncos) que conforman el depósito coluvial en la progresiva 0+845. Izquierda: condiciones naturales, Derecha: después de desarrollar actividades antrópicas.	100
Figura 85.	Excavadora realizando trabajos de corte de talud en la progresiva 0+900, junio de 2015.....	101
Figura 86.	Geometría del talud formado por el depósito coluvial, en la progresiva 0+820, Diciembre de 2015.	101

Figura 87.	Datos en RocData de la Estación 16, cohesión=0.261 MPa y ángulo de fricción=39.59°.....	102
Figura 88.	Geometría del talud en Slide de la Estación 16, FS=0.869, en tensiones totales.	103
Figura 89.	Geometría del talud en Slide de la Estación 16, FS=0.481, en tensiones totales + sismicidad.....	104
Figura 90.	Factor de seguridad=1.401, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil, en la EG-01.	106
Figura 91.	Factor de seguridad=1.430, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-02.	108
Figura 92.	Factor de seguridad=1.424, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-03.	110
Figura 93.	Factor de seguridad=1.362, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-04.	112
Figura 94.	Factor de seguridad=1.464, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-05.	114
Figura 95.	Factor de seguridad=1.149, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-06.	116
Figura 96.	Factor de seguridad=1.265, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-07.	118
Figura 97.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-08.	120
Figura 98.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-08, estabilizado disminuyendo el ángulo de talud.	121
Figura 99.	Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.	122

Figura 100.	Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña, con el ángulo de talud disminuido de 84° a 75°.	123
Figura 101.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-09.	124
Figura 102.	Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.	125
Figura 103.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-10.	126
Figura 104.	Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.	127
Figura 105.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-11.	128
Figura 106.	Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.	129
Figura 107.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-12.	130
Figura 108.	Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.	131
Figura 109.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-13.	132
Figura 110.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña de la EG-13.	133
Figura 111.	Estereograma en Dips, que muestra la orientación de las discontinuidades de la EG-14.	134
Figura 112.	Clasificación geomecánica mediante el Q de Barton, Q=32, GSI=70, RMR=75 en la EG-14. (Elaboración Propia).	135
Figura 113.	Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático de la EG-15.	136
Figura 114.	Clasificación geomecánica mediante el Q de Barton, Q=10, GSI=60, RMR=65 en la EG-15.	137
Figura 115.	Deslizamiento Chichir en la margen derecha del río Crisnejas (aguas abajo), Fuente: Google Earth.	138
Figura 116.	Dimensiones aproximadas del Deslizamiento Chichir.	138

Figura 117. Fotografías que muestran evidencias del Deslizamiento Chichir. A: Grieta de tracción de 2.5 metros de abertura en el costado derecho. B: Grieta de tracción en la corona del deslizamiento. C: Grieta de tracción de 1 metro de abertura en el costado izquierdo (a 30 metros del río Crisnejas). D: Slickenside o espejo de falla de la grieta de tracción en el costado izquierdo del Deslizamiento Chichir..... 139

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
Tabla 1. Clasificación Geomecánica según Bieniawski, 1989. RMR. (Modificado de González de Vallejo et al. 2004).	32
Tabla 2. Calidad del macizo rocoso en relacional índice de RMR (González et al. 2004).....	33
Tabla 3. Accesibilidad a la zona del proyecto, indicando el tipo de vía, estado y tiempo.....	36
Tabla 4. Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológicos.	50
Tabla 5. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-01.	105
Tabla 6. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-02.	107
Tabla 7. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-03.	109
Tabla 8. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-04.	111
Tabla 9. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-05.	113
Tabla 10. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-06.	115
Tabla 11. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-07.	117
Tabla 12. Resumen de factor de seguridad, valoración RMR según Bieniawski e Índice Q de Barton de las estaciones geomecánicas.	141

RESUMEN

Esta tesis se desarrolló en un tramo de cinco kilómetros de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero en la provincia de San Marcos. El objetivo del estudio es evaluar geológica y geodinámicamente el tramo de la carretera mencionada. La hipótesis, es que las laderas y taludes de la carretera presentan inestabilidad geodinámica debido a la litología, relieve y precipitaciones fuertes entre los meses de noviembre y abril. La zona está compuesta por lutitas, areniscas grises y areniscas rojizas de la Formación Chicama, infrayaciendo a la Formación Chimú, que está representada por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, además, se encontró depósitos cuaternarios coluviales y aluviales. El comportamiento geológico-geodinámico de la zona, se evidencia en eventos geodinámicos como caída de rocas, derrumbes y deslizamientos. Se realizaron 16 estaciones geomecánicas a lo largo de la carretera, 7 en el tramo Campamento-Dique y 9 en el tramo Dique-Casa de Máquinas. Las estaciones realizadas en el primer tramo se hizo tomando datos descriptivos y mediciones geométricas para luego analizarlos mediante los programas RocData y Slide; mientras que, en el segundo tramo los datos se tomaron usando tablas geomecánicas y descripciones que posteriormente se analizaron en Excel, RocData y Dips los mismos que se muestran en los capítulos IV y V de esta tesis; la estación 16 se encuentra dentro del segundo tramo, y ha sido tratado con diferente criterio por la naturaleza de la litología encontrada. Luego del procesamiento de la información, se determinaron cuatro tipos de taludes en función a la estabilidad, estos son: estables, que representan el 47%, ligeramente inestables, que representa el 36%, moderadamente inestables que alcanza 6% y altamente inestables que alcanza el 11% de la longitud total; también se determinó que las zonas de mayor peligro se encuentran entre las progresivas 6+330 – 6+600 y 0+690 - 0+940 que por la disposición litológica podría ocasionar caída de rocas, derrumbes y/o deslizamientos. Además, se advierte que el Deslizamiento Chichir, estaría reactivado. Las estaciones geomecánicas 01, 02, 04, 06 y 16 son las que presentan mayor inestabilidad geodinámica con valores de factor de seguridad menor a 1.

Palabras Claves: Geomecánica, Taludes, Laderas, Deslizamientos, Reactivado.

ABSTRACT

This thesis was developed in a stretch of five kilometers from the highway entrance Hydroelectric Potrero in the province of San Marcos. The aim of the study is to evaluate the geological and geomechanically stretch of road mentioned. The hypothesis is that the slopes and slopes of the road have geodynamic instability due to lithology, relief and heavy rainfall between the months of November and April. The area is composed of shales, gray sandstones and reddish sandstones of the Chicama Formation, under to the Chimu Formation, which is represented by quartz sandstones of medium to coarse grained further colluvial and alluvial Quaternary deposits found. El-geodynamic geological area, geodynamic behavior is evident in events such as rockfalls, landslides and mudslides. 16 were performed geomechanical stations along the road, the section 7 in Camp-Levee and 9 in the section Dique-Powerhouse. The stations made in the first tranche was made on descriptive data and geometric measurements and then analyzed using the Slide RocData and programs; while in the second stage data they were taken using geomechanical tables and descriptions that were subsequently analyzed in Excel, and Dips RocData the same as shown in Chapters IV and V of this thesis; station 16 is within the second section, and has been treated with different criterion by the nature of the lithology encountered. After processing the information, four types of slopes were determined according to stability, these are: stable, accounting for 47%, slightly unstable, representing 36%, moderately unstable reaching 6% and highly unstable reaching 11% of the total length; it was also determined that the areas of greatest risk are among the progressive 6 + 330-6 + 600 and 0 + 690-0 + 940 by the lithological provision could cause rockfalls, landslides and / or mudslides. In addition, it is noted that sliding Chichir, would be reactivated. Geomechanical stations 01, 02, 04, 06 and 16 are those with greater geodynamic instability factor values less than 1 security.

Keywords: geomechanics, embankments, slopes, landslides, Reactivated.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Geológicamente, las laderas y taludes de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero, está conformado por rocas de edad del Jurásico Superior y Cretácico Inferior, principalmente de areniscas, lutitas y limolitas; que conforman relieves escarpados, depósitos cuaternarios coluviales, aluviales y fluviales; que en conjunto forman parte del valle del Crisnejas. Geodinámicamente, las rocas y suelos, presentan problemas de inestabilidad, debido al fracturamiento intenso de las rocas, depósitos cuaternarios no consolidados, relieves empinados, suelos no cohesivos, condiciones climáticas tropicales (valle) y drenaje de la zona. Por esta razón se realizó la evaluación geodinámica de la carretera teniendo en cuenta la geología, geodinámica e hidrogeología del área, para tomar medidas de control antes, durante y después de la construcción de la carretera.

Con este estudio se intenta encontrar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el comportamiento geológico-geodinámico de los taludes de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero en la provincia de San Marcos?, para lo cual se tiene la siguiente hipótesis: El comportamiento geológico-geodinámico de los taludes de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero, presenta inestabilidad geodinámica, debido a la litología y fracturamiento de las rocas, relieve con pendientes altas, y precipitaciones en los meses entre noviembre y abril; que al interactuar en conjunto producen deslizamientos y caídas de roca generando inestabilidad en los taludes de la carretera.

Esta evaluación geológico-geodinámica de los taludes de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero permitió conocer el comportamiento geológico-geodinámico del terreno a lo largo del eje de diseño, asimismo identificar otros eventos o fenómenos no contemplados en el estudio previo a nivel de proyecto, que podrían tener incidencia en la inestabilidad de los taludes durante y después de la construcción, y servirá

para tomar las medidas de control y aumentar la vida útil de la obra beneficiando a la población, evitando deterioros prematuros que ocasionarían gastos de mantenimiento. Esta información geológica podría servir como base para estudios posteriores que se realicen en la zona de estudio y alrededores.

El objetivo general de esta investigación es evaluar el comportamiento geológico-geodinámico de los taludes de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero; los objetivos específicos planteados son: cartografiar las unidades estratigráficas, morfológicas y estructurales, determinar los principales eventos geodinámicos externos, determinar modificaciones del diseño en caso sea necesario, elaborar el plano de zonificación geodinámica, identificar las zonas de peligro en los taludes de la carretera.

El contenido de los capítulos se describe a continuación:

Capítulo I: En este capítulo, se desarrolla todo lo concerniente a la introducción al tema de investigación, planteamiento y formulación del problema. Se indica la hipótesis de la investigación así como su justificación e importancia. Se delimita la investigación indicando el tiempo, espacio y metodología que se llevó a cabo en el proceso y desarrollo de la tesis.

Capítulo II: En este capítulo se detalla algunos antecedentes bibliográficos, las bases teóricas que abarca desde la formación de los suelos, geodinámica, nomenclatura y clasificación de movimientos en masa, hasta los criterios utilizados para caracterizarlos a través de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski, el GSI, etc., así como la definición de algunos términos básicos, que en conjunto, todos estos aspectos son el sustento de esta investigación.

Capítulo III: En este capítulo se da a conocer los aspectos generales del área de estudio en donde se localiza la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero, además se indica los procedimientos y técnicas de recolección de datos, el procesamiento y análisis de la data recogida en campo en los softwares RocData, Dips, Slide y ArcGIS.

Capítulo IV: En este capítulo se explica aspectos geológicos como geología regional y geología local, la geomorfología de la zona, la geología estructural y se detalla cada una de las 16 estaciones geomecánicas, 7 de las cuales se desarrollaron en el tramo Campamento-Dique que fueron analizadas en Excel, RocData y Slide; y las 9 estaciones restantes se

desarrollaron en el tramo Dique-Casa de Máquinas y fueron analizadas en Excel, RocData y Dips.

Capítulo V: El capítulo explica el análisis de los resultados de cada una de las 16 estaciones geomecánicas. El análisis se realiza en dos partes, la primera corresponde al tramo Campamento- Dique en donde se analizan 7 estaciones en Excel, RocData y Slide, dado que se han tomado en taludes que están conformados por depósitos cuaternarios y en menor proporción roca; la segunda parte corresponde al tramo Dique-Casa de Máquinas, estas 9 estaciones restantes se analizan en Excel, RocData y Dips porque éstas han sido tomadas en taludes de afloramientos rocosos.

Capítulo VI: En este capítulo se encuentran las conclusiones, de acuerdo al análisis de resultados que ha realizado con criterio científico, respecto al estado geológico-geodinámico de la carretera de ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Reyes (1980) realizó el estudio, Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, que corresponde al Boletín N° 31 de la Serie A del INGEMMET. Estudio en el que se realizó el levantamiento geológico regional realizado para conocer las características geológicas y tectónicas de las provincias, contribuyendo a ampliar los conocimientos acerca de la constitución geológica de la zona, así como el potencial económico del suelo y subsuelo de la región. El área estudiada corresponde a un sector de la parte septentrional de la Cordillera Occidental disectado por numerosos valles, entre los cuales destacan el Jequetepeque y el Chicama, pertenecientes al sistema hidrográfico del Pacífico. Longitudinalmente, esta cordillera está dividida por los valles interandinos de Cajamarca y Condebamba que convergen en el distrito Eduardo Villanueva (La Grama) para formar el río Crisnejas, llevando sus aguas al Marañón, que a su vez es afluente del río Amazonas en el sistema hidrográfico del Atlántico. Geológicamente la zona de estudio está compuesta por rocas del paleozoico, mesozoico y cenozoico.

Aliaga (2003) realizó el Estudio Geológico-Geotécnico para la Rehabilitación de la Carretera Corral Quemado – Rio Nieva Tramo I: Puerto Naranjitos- Pedro Ruiz, en la provincia de Bagua, región de Amazonas; donde analiza tres factores importantes: Inestabilidad de Taludes, Deslizamientos y Precipitaciones Intensas, realizando además la zonificación geotécnica y geodinámica de la carretera. Fue presentado como Tesis en la Universidad Mayor de San Marcos.

Zavala y Rosado (2011) realizaron el estudio llamado Riesgo Geológico en la Región Cajamarca, que corresponde al Boletín N° 44 de la Serie C. En el que se realiza la evaluación de zonas críticas por peligros geológicos e hidrológicos en la Región

Cajamarca, en los temas de evaluación de riesgos, movimientos en masa, peligros geológicos y otros. Fue publicado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Villacorta y Núñez (2006) realizaron un estudio llamado Peligros Geológicos y Comunicación con Comunidades en la Cuenca Alta del Río Chancay-Lambayeque, Región Cajamarca, en el cual determinaron que los fenómenos geodinámicos más frecuentes en la cuenca alta del valle Chancay-Lambayeque, son los deslizamientos, derrumbes y erosión de laderas. En su estudio indican que los sectores críticos son Catache, Chugur, Chancay-Baños, La Esperanza, Santa Cruz, Ninabamba, Sexi, Pulán, Tongod y Utiyacu. Las causas de estos fenómenos son la mala calidad de las rocas piroclásticas, fuerte pendiente del terreno, infiltración de agua superficial, aumento del nivel freático durante lluvias excepcionales y actividades antrópicas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Génesis de los Suelos

González de Vallejo et al. (2004) señalan que los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en tres facetas:

Física, debida a cambios térmicos (lo que origina dilataciones diferenciales entre los minerales y da lugar a acciones y fisuras internas) y a la acción del agua (arrastres de fragmentos ya erosionados); posible acción directa por congelación, que produce tensiones internas por el aumento de volumen de hielo respecto al agua, etc. Estas acciones físicas tienden a romper la roca inicial y a dividirlas en fragmentos cada vez más pequeños, que pueden ser separados de la roca por agentes activos (agua, viento, gravedad) y transportados a otros puntos en los que continúa la acción erosiva, (González de Vallejo et al. 2004).

Química, originada por fenómenos de hidratación (por ejemplo, paso de anhidrita o sulfato hemihidratado a yeso o sulfato dihidratado), disolución (de sales, como los sulfatos en el agua), oxidación (de minerales de hierro por efecto ambiental), cementación (por agua

conteniendo carbonatos previamente disueltos a partir de otra roca), etc. Esta acción, por lo tanto, tiende tanto a disgregar como a cementar, lo que quiere decir que puede ayudar a la acción física y, posteriormente, cementar los productos formados, dando unión química a las partículas pequeñas, tamaño suelo, que se forman, aunque la mayor parte de las veces contribuye más a destruir y transformar que a unir, (González de Vallejo et al. 2004).

Biológica, producida por actividad bacteriana, induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen físico-químico, actuando de elemento catalizador, etc., (González de Vallejo et al. 2004).

Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación (alteración o meteorización) y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización (Figura 2). En este perfil la roca madre ocupa la parte más baja y alejada de la superficie, y el suelo la más alta. Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado, se le conoce como suelo residual, y cuando ha sufrido transporte, formando depósitos coluviales, aluviales, etc., se denomina suelo transportado, (González de Vallejo et al. 2004).

En la Figura 1 se resume los distintos procesos que intervienen en la formación de los suelos, según González de Vallejo et al. (2004), caracterizados por:

- Ser un sistema particulado de sólidos de diverso origen, que pueden considerarse indeformables.
- Tener una granulometría de gruesos (centímetros) a finos (micras); las partículas más finas (por debajo de las 2 o 5 micras) necesitan procesos fisicoquímicos para su constitución; las de mayor tamaño solo necesitan procesos físicos, aunque pueden intervenir los químicos.
- Una estructura y fábrica en función del origen de los minerales, agentes cementantes, transformaciones químicas, medio de deposición, etc.
- Presencia importante de huecos (o poros o intersticios), con agua (suelo saturado), aire y agua (semisaturado) o solo aire (seco), situación prácticamente inexistente en la naturaleza. El fluido intersticial se considera, a las temperaturas normales, incompresible.

- Las deformaciones del conjunto de suelos se producen por giros y deslizamientos relativos de las partículas y por expulsión de agua; solo en raras ocasiones se producen por rotura de granos.

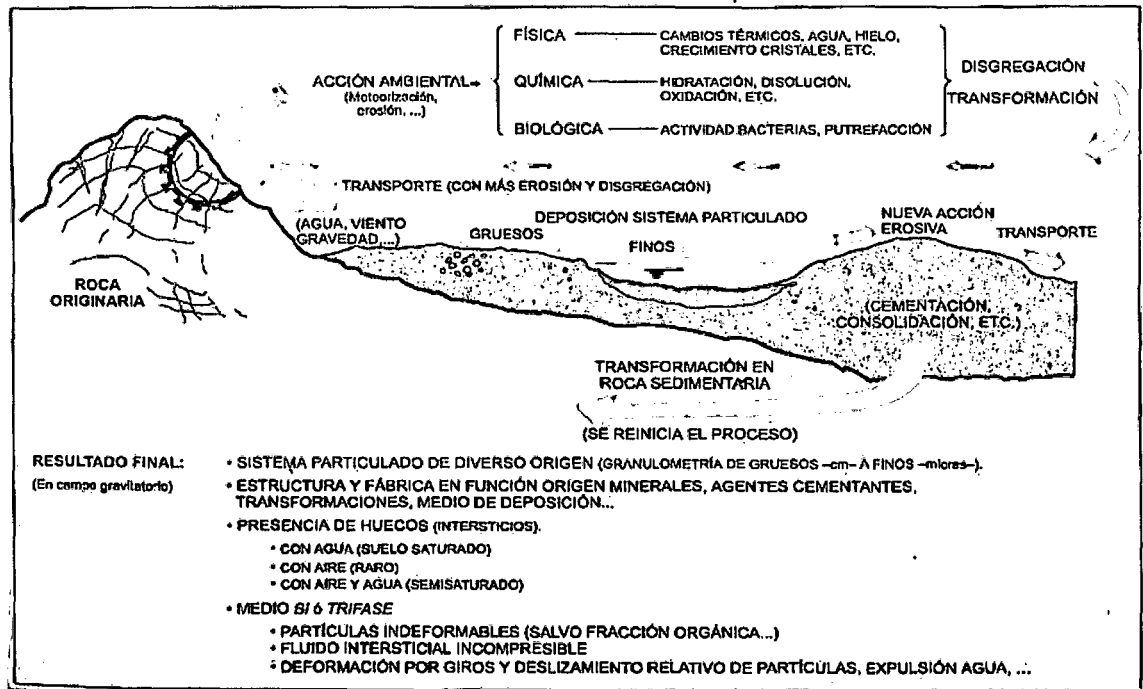


Figura 1. Formación de los suelos.

Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004.

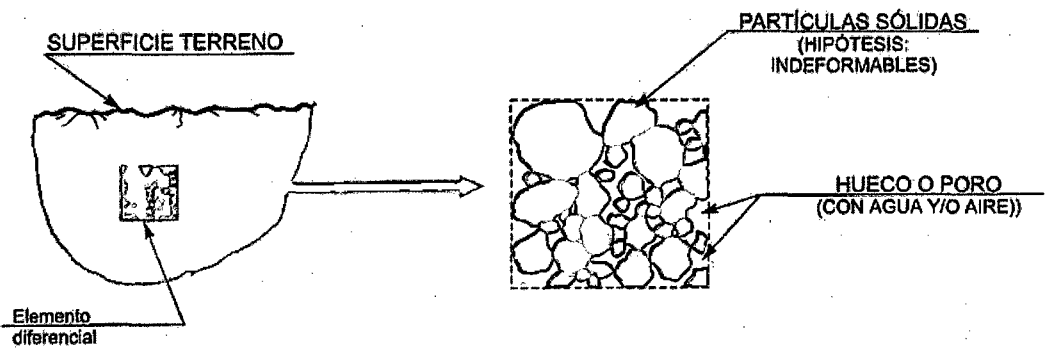
PÉRFIL ESQUEMÁTICO	LOVE (1951) LITTLE (1961)	VARGAS (1951)	SOWERS (1954, 1963)	CHANDLER (1989)	GEOLOGICAL SOC. ENG. GROUP (1970)	DEERE Y PATTON (1971)
	ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS, BASÁLTICAS Y ARENISCAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	MARGAS Y LIMOLITAS	ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS
	VI SUELO	SUELO RESIDUAL	ZONA SUPERIOR	V COMPLETAMENTE ALTERADA	VI SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL JOVEN	ZONA INTERMEDIA	PARCIALMENTE ALTERADA	IV	HORIZONTE IB
	IV ALTAMENTE ALTERADA	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	ZONA PARCIALMENTE ALTERADA		III	HORIZONTE IC (SAPROLITO)
	III MODERADAMENTE ALTERADA				IV ALTAMENTE ALTERADA	IA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO
	II ALGO ALTERADA				III MODERADAMENTE ALTERADA	IB PARCIALMENTE METEORIZADA
	I ROCA SANA	ROCA SANA	ROCA INALTERADA	I ROCA INALTERADA	II DEBILMENTE ALTERADA	IB MUY POCO ALTERADA
				I ROCA SANA	IA ROCA SANA	

Figura 2. Perfil de meteorización, según diferentes autores.

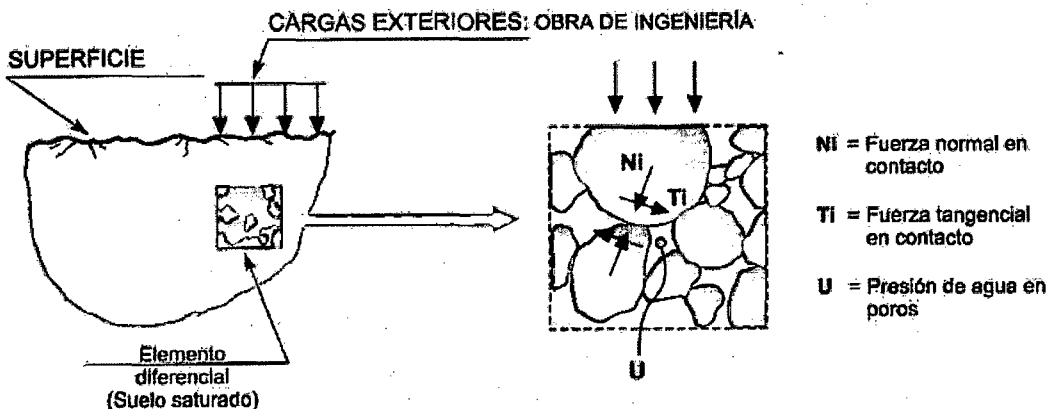
Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004.

2.2.2. Los suelos en la Ingeniería Geológica

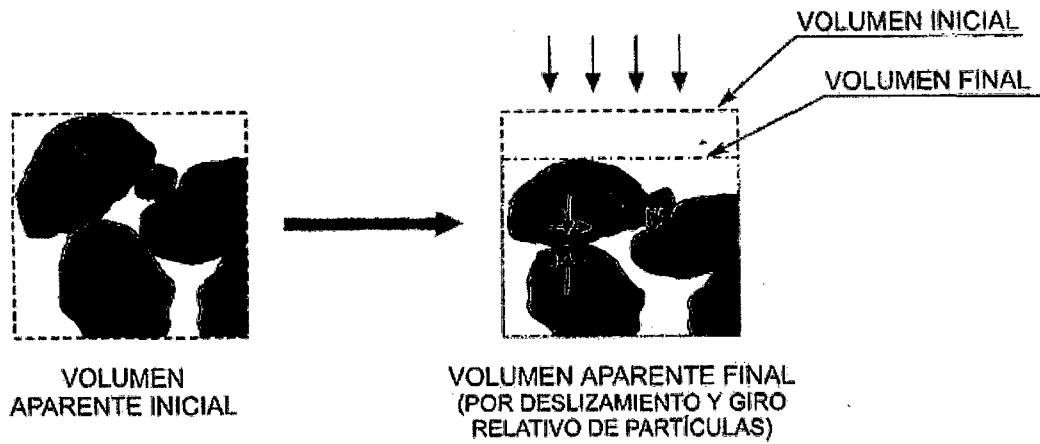
La acción antrópica, en un entorno geográfico concreto, altera las condiciones del medio natural al realizarse excavaciones, explanaciones, aplicación de cargas al terreno, etc. La respuesta del terreno frente a esa alteración depende de su constitución y características, de los condicionantes geológicos del entorno, de las actividades que están relacionadas con las actividades humanas y de la acomodación de la obra realizada al entorno natural. Según Ortuño, L., La respuesta del terreno, por lo tanto, es compleja, dependiendo en primer lugar de los materiales preexistentes en la zona y del tipo de acciones a que se le someta. Si el terreno es un macizo rocoso esa respuesta vendrá condicionada por la resistencia de la roca, la presencia de zonas alteradas, discontinuidades, etc. Pero si se trata de suelos, es decir, materiales sueltos producto de la erosión ejercida sobre las rocas preexistentes y depositado por acción del agua o del aire, la respuesta cambia sustancialmente, Figura 3 a, b y c. (González de Vallejo et al. 2004).



a) Constitución de un suelo.



b) Acciones sobre un suelo.



c) Movimientos de partículas producidos por acciones exteriores

Figura 3. El suelo como sistema particulado.
 Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004.

2.2.3. Características geotécnicas de los sedimentos

Los depósitos sedimentarios se forman por la acción de los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización. Los distintos medios de sedimentación originan una serie de depósitos cuyas características geotécnicas están relacionadas con las condiciones de formación de estos sedimentos. Así, la clasificación de los materiales, granulometría, forma y tamaño, dependen del medio de transporte. Conociendo los factores geomorfológicos y climáticos, es posible prever la disposición y geometría del depósito, propiedades físicas y otros aspectos de interés en ingeniería geológica. De acuerdo a estas condiciones se distinguen depósitos: Coluviales, aluviales, lacustres, litorales, glaciares, de climas áridos y desérticos, evaporíticos, de climas tropicales y de origen volcánico, (González de Vallejo et al. 2004).

En este informe de investigación solo se describirán los depósitos relacionados con los materiales existentes en la zona de estudio basado en las definiciones de González de Vallejo et al. (2004).

Depósitos coluviales

Son materiales transportados por gravedad, la acción del hielo – deshielo y, principalmente, por el agua. Su origen es local, producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera o depósitos de solifluxión.

Frecuentemente están asociados a masas inestables. Su composición depende de la roca de la que proceden, estando formados por fragmentos angulares y heterométricos, generalmente de tamaño grueso, englobados en una matriz limo arcillosa. Su espesor suele ser escaso, aunque puede ser muy variable. La resistencia de estos materiales es baja, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso, y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas, (González de Vallejo et al. 2004).

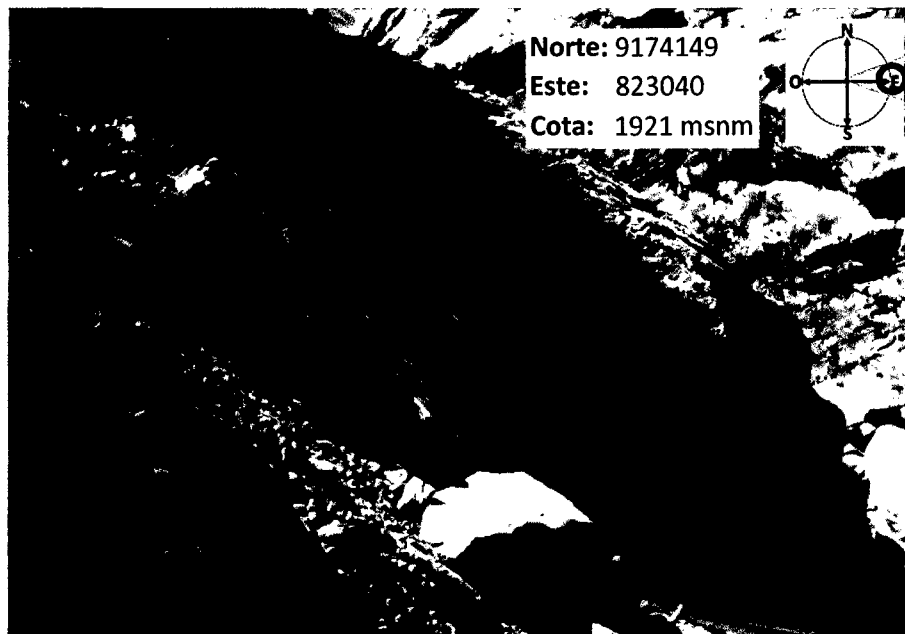


Figura 4. Depósito coluvial en la zona de estudio.

Depósitos aluviales

Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados. Se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación, variando mucho su densidad. Están muy desarrollados en los climas templados, ocupando cauces y valles fluviales, llanuras y abanicos aluviales, terrazas y paleocauces.

Son suelos muy anisotrópicos en su distribución, sus propiedades están estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría y generalmente presentan un nivel freático alto. Los depósitos aluviales constituyen una fuente de recursos de materiales de construcción, sobre todo como áridos, (González de Vallejo et al. 2004).



Figura 5. Depósito aluvial, a orillas del río Crisnejas.

La clasificación de suelos se realizó utilizando la tabla de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de Lambe y Whitman 1981, citado por González de Vallejo et al. (2004).

2.2.4. Geodinámica

La geodinámica es una disciplina de las ciencias geológicas que se refiere a todos los movimientos que experimenta la tierra desde sus inicios, tanto aquellos que se originan en su interior (geodinámica interna), como los que se generan por la interacción de la hidrósfera y/o atmósfera (fuerzas externas) sobre la corteza terrestre (geodinámica externa)... (Medina 1991).

Fenómenos de Geodinámica Externa

Según Medina, J. 1991. Son todos aquellos fenómenos que participan en la evolución del modelado de la superficie terrestre, como resultado de la interacción de agentes geodinámicos, que pueden ser percibidos por el hombre. Ocurren bajo diferentes modalidades o mecanismos, dependiendo del agente principal y los factores que participan en su origen y desarrollo. Se clasifican en fenómenos de remoción de masa, flujos hídricos y otros.

2.2.5. Modelización en Ingeniería Geológica

González de Vallejo et al. 2004. Señalan que la ingeniería geológica tiene sus fundamentos en la geología y en el comportamiento mecánico de los suelos y las rocas. Incluye el conocimiento de las técnicas de investigación del subsuelo, tanto mecánicas como instrumentales y geofísicas, así como los métodos de análisis y modelización del terreno. La metodología de estudio responde en términos generales a la secuencia descrita a continuación:

- Identificación de materiales y procesos. Definición de la geomorfología, estructuras, litología y condiciones del agua subterránea.
- Investigación geológica-geotécnica del subsuelo.
- Distribución espacial de materiales, estructuras y discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas, tensionales y ambientales.
- Caracterización de propiedades geomecánicas, hidrogeológicas y químicas.
- Caracterización de los materiales geológicos utilizados en la construcción, extracción de recursos naturales y trabajos de protección medioambiental.
- Comportamiento geológico-geotécnico bajo las condiciones del proyecto.
- Evaluación del comportamiento mecánico o hidráulico de suelos y macizos rocosos. Predicción de los cambios de las anteriores propiedades con el tiempo.
- Determinación de los parámetros que deben ser utilizados en los análisis de estabilidad para excavaciones, estructuras de tierras y cimentaciones.
- Evaluación de los tratamientos del terreno para su mejora frente a filtraciones, asentamientos, inestabilidad de taludes, desprendimientos, hundimientos, etc.
- Consideraciones frente a riesgos geológicos e impactos ambientales.
- Verificaciones y adaptación de los resultados del proyecto a las condiciones geológico-geotécnicas encontradas en obra. Instrumentación y auscultación.

Para el desarrollo completo deben definirse tres tipos de modelos (Figura 6).

Modelo Geológico: representa la distribución espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia, (González de Vallejo et al. 2004).

Modelo Geomecánico: representa la caracterización geotécnica e hidrogeológica de los materiales y su clasificación geomecánica, (González de Vallejo et al. 2004).

Modelo Geotécnico: representa la respuesta del terreno durante la construcción y después de la misma, (González de Vallejo et al. 2004).

Esta metodología constituye la base de las siguientes aplicaciones de la ingeniería geológica a la ingeniería civil y al medio ambiente.

- Infraestructuras para el transporte.
- Obras hidráulicas, marítimas y portuarias.
- Edificación urbana, industrial y de servicios.
- Centrales de energía (aplicación en esta investigación)
- Minería y canteras.
- Almacenamientos para residuos urbanos, industriales y radiactivos.
- Ordenamiento del territorio y planificación urbana.
- Protección civil y planes de emergencia.

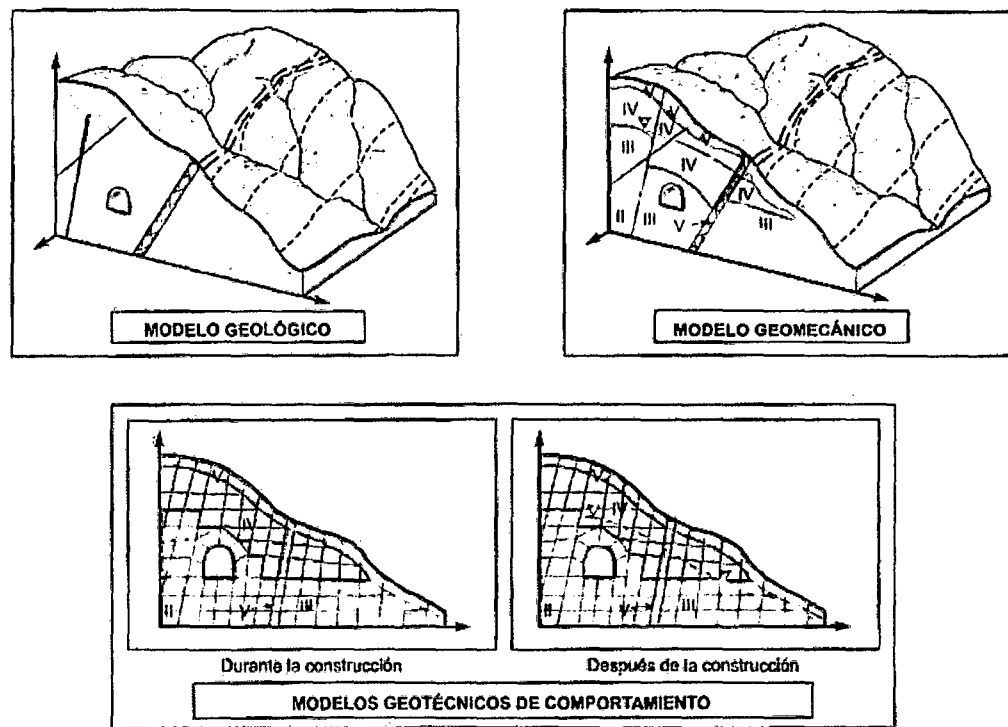


Figura 6. Ejemplos de modelización en ingeniería geológica.
Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2004.

2.2.6. Nomenclatura de los Movimientos

Suárez (1998) en su publicación *Deslizamientos – Análisis Geotécnico*, menciona que los taludes y sus procesos son estudiados por una gran variedad de disciplinas del conocimiento tales como: la geología, la geomorfología, la geotecnia, la hidrología, las ciencias forestales, etc. Además, muchas otras disciplinas tienen relación con los taludes y sus efectos o implicaciones: la arquitectura, la planeación urbana, la ingeniería en todas sus especialidades, la agricultura, el turismo, etc.

En nuestros tiempos debido a la gama de disciplinas que existen en el mundo, es importante la utilización de términos que permitan el entendimiento entre los involucrados en las ciencias geológico-geotécnicas.

La nomenclatura más utilizada en las ciencias geológico-geotécnicas, se basa en los sistemas de clasificaciones propuestas por Hutchinson (1968) y por Varnes (1958 y 1978). Este último sistema fue actualizado por Cruden y Varnes en el “Special Report 247” del Transportation Research Board de los Estados Unidos (1996) y es el sistema de nomenclatura y clasificación más utilizado en el mundo. Posteriormente a esta clasificación se agregaron algunos elementos nuevos e importantes, complementándolos con otros vocablos y términos, los cuales no se encontraban en la terminología original de TRB. Por otra parte, en cada país o región se utilizan algunos vocablos propios.

Talud y ladera

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas, (Suárez 2004).

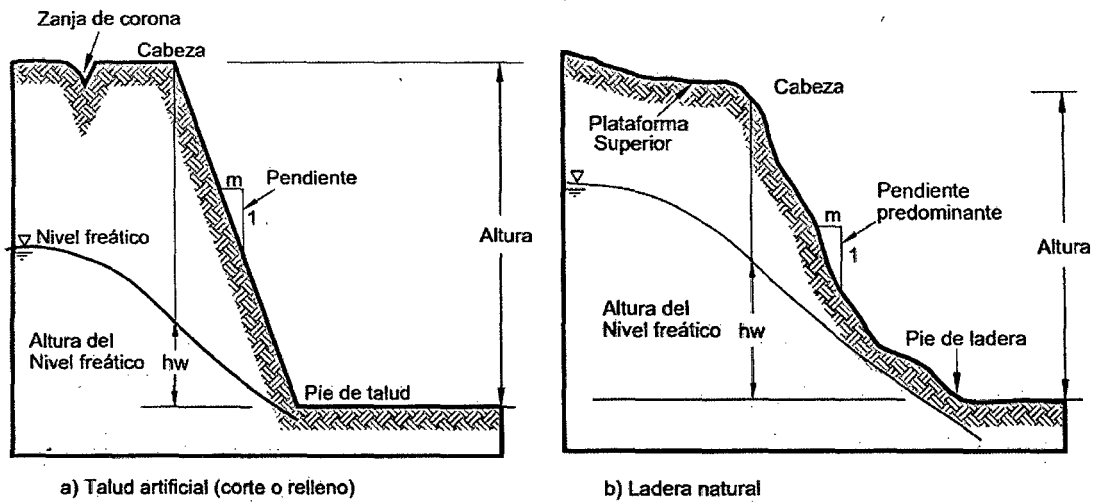


Figura 7. Nomenclatura de taludes y laderas.
Fuente: Suárez, J. 2004.

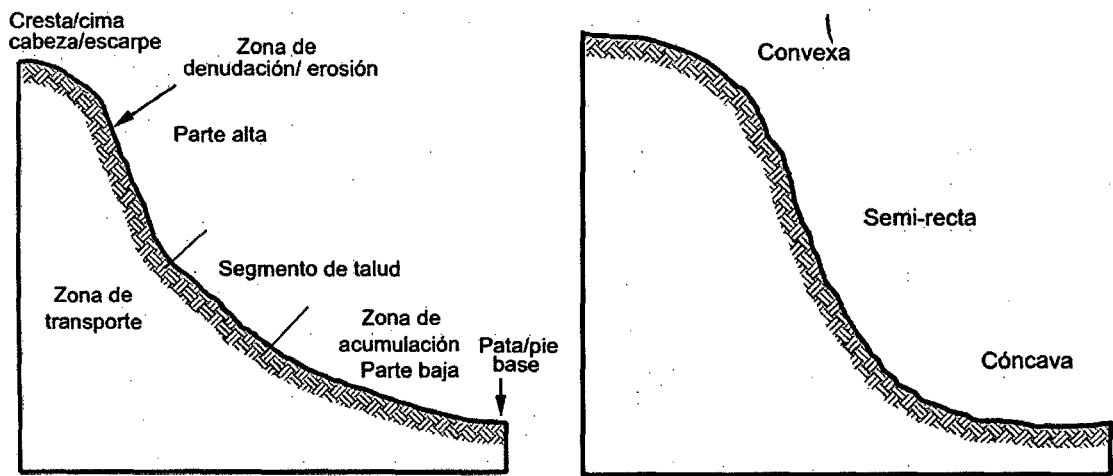


Figura 8. Partes generales de un talud o ladera.
Fuente: Suárez, J. 2004.

Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud o ladera estable puede convertirse en un “deslizamiento”.

Deslizamientos

Los deslizamientos (Landslides) consisten en movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud (Cruden 1991). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales.

Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de las superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera, pueden moverse hacia abajo mientras otros se mueven hacia arriba. Los fenómenos de inestabilidad incluyen, generalmente, una combinación de procesos erosivos y denudacionales interrelacionados entre sí y a menudo mezclados.

Los procesos denudacionales pueden activar procesos erosivos y viceversa. Los procesos de erosión actúan generalmente sobre las capas más subsuperficiales del perfil y los denudacionales o de “remoción en masa” afectan el perfil a una profundidad considerable. (Suárez 2004).

Dimensiones de los movimientos

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG, (Figura 10).

Ancho de la masa desplazada W_d . Ancho máximo de la masa desplazada, perpendicular a la longitud L_d .

Ancho de la superficie de falla W_r . Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud L_r .

Longitud de la masa deslizada L_d . Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

Longitud de la superficie de falla L_r . Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

Profundidad de la masa desplazada D_d . Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .

Profundidad de la superficie de falla D_r . Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .

Longitud total L . Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

Longitud de la línea central L_c . Distancia que hay desde la punta (o uña) hasta la corona del deslizamiento, a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistantes de los bordes laterales o flancos.

Igualmente, se deben medir alturas del nivel freático, alturas de los escarpes, radios de rotación del movimiento, pendientes de la superficie antes y después de la falla. En los deslizamientos la escala horizontal debe ser igual a la vertical. Se recomienda que las dimensiones sean identificadas en planos en planta y perfil del deslizamiento.

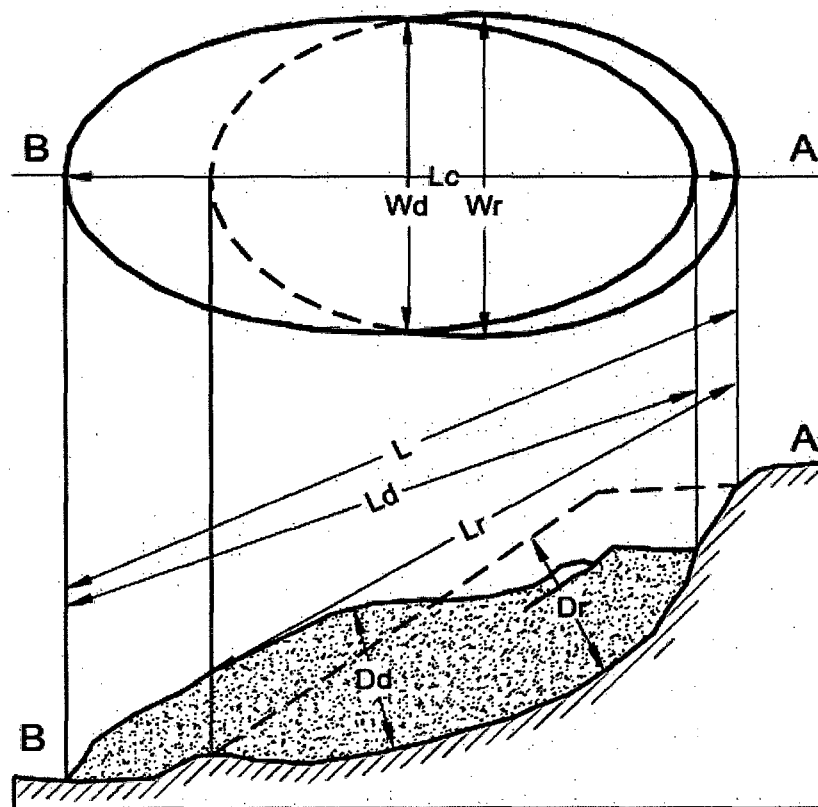


Figura 9. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides C1990).
Fuente: Suárez, J. (2004).

Partes de un Deslizamiento:

En la Figura 9, se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa, donde se observa sus partes principales. Algunas de las partes de un deslizamiento son cabeza, corona, escarpes principales y secundarios, costados, pie o punta, superficie de falla.

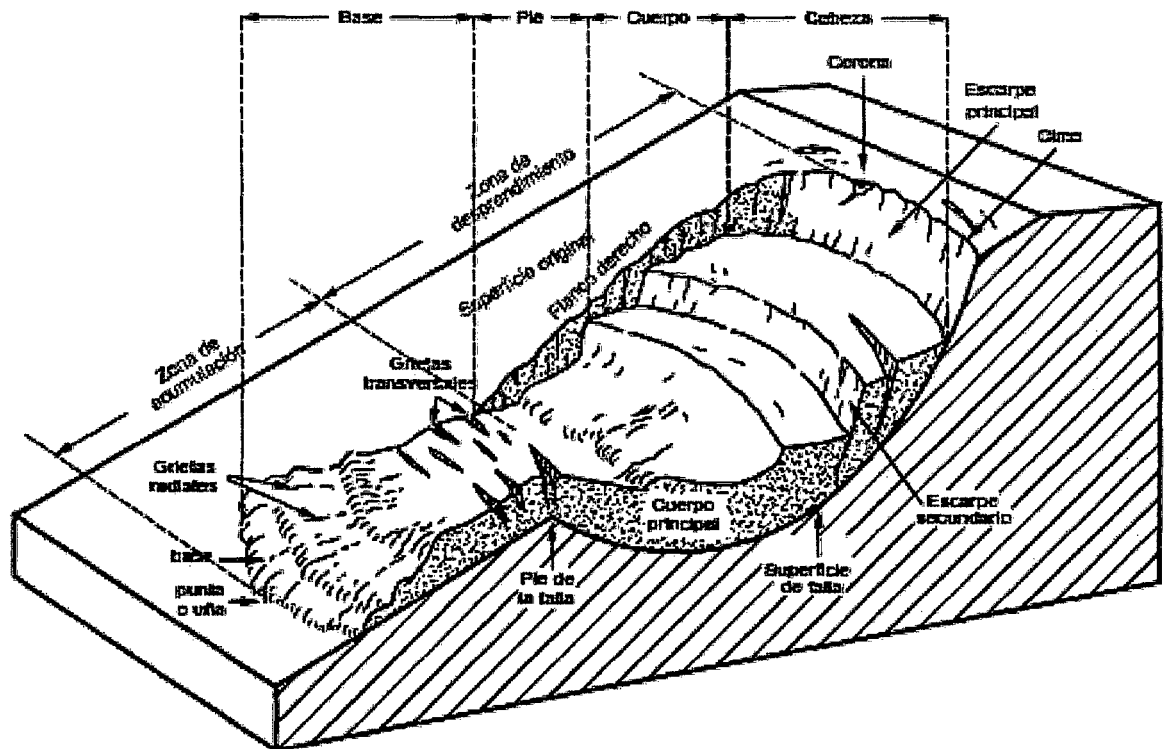


Figura 10. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.
Fuente: Suárez, J. 2004.

Volumen de un Deslizamiento

El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen aproximado de un desplazamiento de rotación puede calcularse utilizando la expresión:

$$Vol_{ass} = \left(\frac{1}{6} \pi D_r x W_R x L_R \right) F_{ex}$$

Donde F_{ex} : Factor de expansión del suelo al ser perturbado.

Este factor es comúnmente de 1.25 a 1.30. En algunas ocasiones, como en el caso de la roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70% ($F = 1.7$).

El volumen del deslizamiento es importante para determinar la amenaza y el riesgo en los flujos y avalanchas. De acuerdo con el volumen y la concentración de sedimentos se puede determinar la velocidad del flujo, (Suárez 2004).

2.2.7. Clasificación de procesos de remoción de masa

La clasificación de remoción de masas más aceptada y aplicada a nivel internacional está basada en: Cruden 1991, Varnes 1978, Hutchinson (1988) y Coraminas (1997), elaborando *una diferenciación* entre el tipo de movimiento y los materiales involucrados. Dividiendo los movimientos en masa en dos tipos: caída y deslizamiento. Además, dividiendo a los materiales en dos clases: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierra.

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

Algunos de los procesos y tipos de movimientos propuestos por Varnes (1978) son:

Caído

Caído es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da, (Suárez. 2004).

Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando. Los caídos de suelo, en escarpes semiverticales, representan un riesgo importante para los elementos que están debajo del talud.

Los caídos pueden incluir desde suelo y partículas relativamente pequeñas, hasta bloques de varios metros cúbicos. Los fragmentos son de diferentes tamaños y generalmente se rompen en el proceso de caído, (Suárez. 2004).

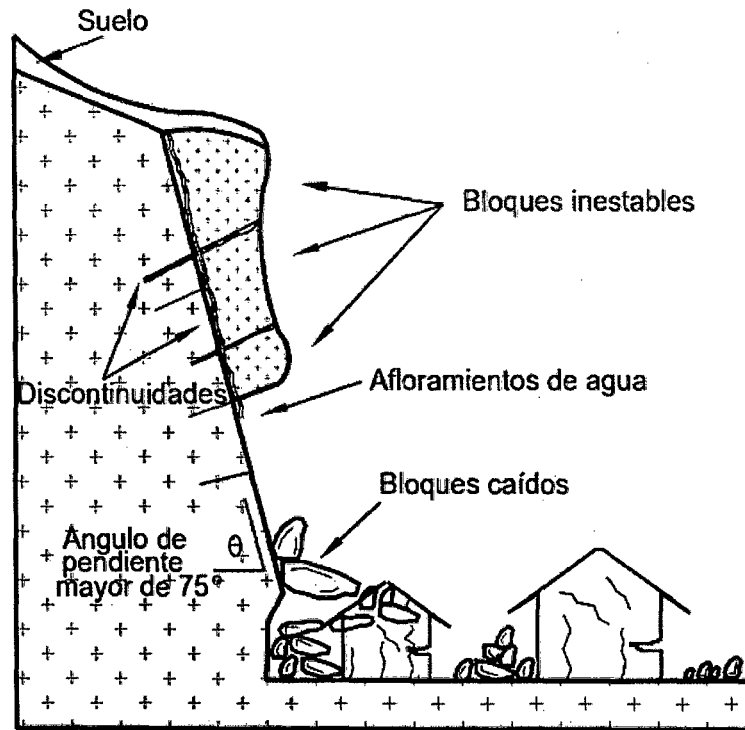


Figura 11. Caídos de bloques en caída libre de roca fracturada.
Fuente: Suárez, J. (2004).

Procesos del movimiento de los caídos

Aunque se utiliza el término general “caído”, éste incluye un rango completo de movimientos rápidos tales como: saltos, brincos, rebotes, giros, caídas, etc. Todos estos movimientos pueden ocurrir en secuencias diferentes.

El movimiento de caído es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, estar precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o a la inclinación del bloque o masa de material. Comúnmente, los caídos ocurren sin evidencias previas de movimiento. Los factores que controlan el tipo preciso de movimiento, son la pendiente del talud, la morfología y la rugosidad de la superficie (incluyendo la cobertura vegetal), (Suárez. 2004).

La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse en caída libre cuando la pendiente superficial es mayor de 75°. En los taludes de ángulo menor, generalmente rebotan los materiales y en los taludes de menos de 45°, los materiales tienden a rodar.

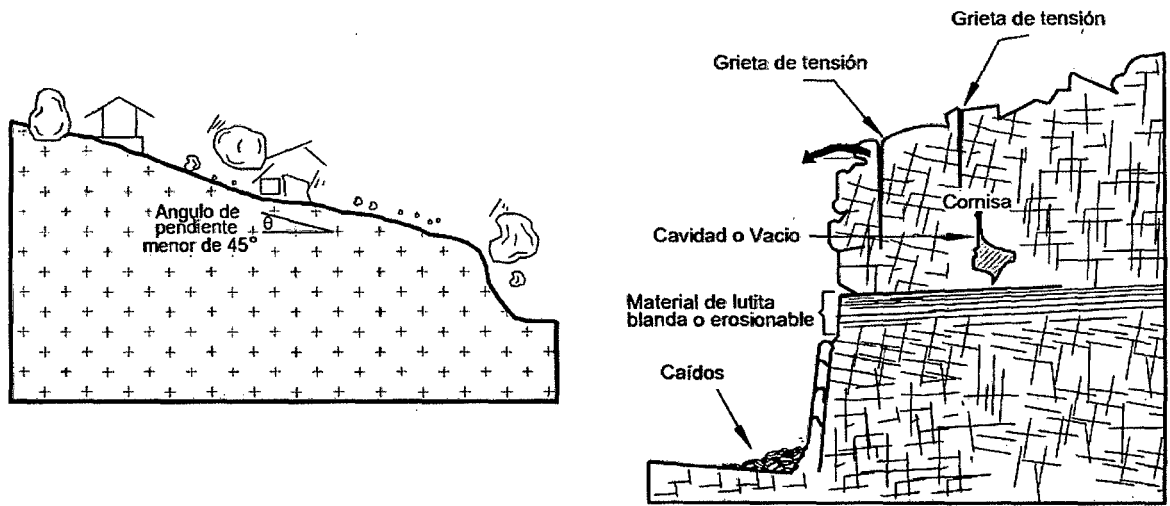


Figura 12. Izq. Caído de bloques rodando (Pendiente menos de 45°). Der. Algunos mecanismos de formación de caídos.
Fuente: Suarez, J. 2004.

Inclinación o volcamiento

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia delante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales (Ver figura 13). La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir grandes volúmenes de varios millones de metros cúbicos, (Suárez. 2004).

Las características de la estructura de la formación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación. Las características de buzamiento y estratificación de los grupos de discontinuidades definen el proceso, la naturaleza del proceso, la altura y el tamaño del bloque inclinado, (Suárez. 2004).

Dependiendo de las características geométricas y de la estructura geológica, la inclinación puede o no terminar en caídos o en derrumbes (Figuras 14 y 15). Las fuerzas que producen el volcamiento son generados por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, las inclinaciones pueden variar de extremadamente lentas a extremadamente rápidas.

Por lo general, son lentas a extremadamente lentas al inicio y aumentan de velocidad con el tiempo. A menudo, terminan en caídos de roca o residuos, derrumbes (caído de suelo) o flujos, (Suárez. 2004).

En los volcamientos de roca, las fracturas definen las características de movimiento. En las inclinaciones de suelo las gritas de tensión, la cohesión de los materiales, la altura y la pendiente de los taludes, determinan el volumen de la masa, la magnitud del movimiento y la posibilidad de desmoronamiento, caído o flujo; (Suárez. 2004).

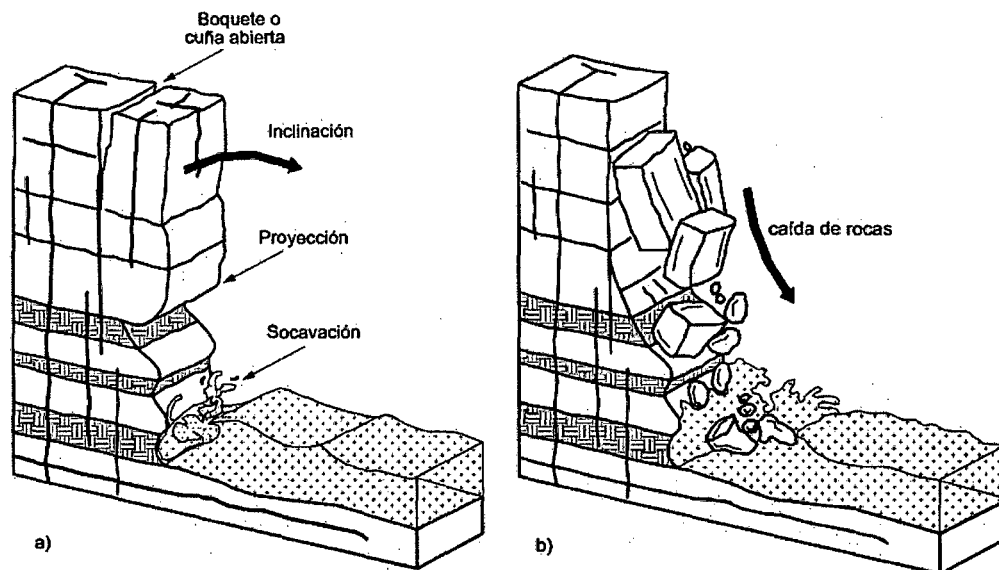


Figura 13. Inclinación y caídos en un proceso de erosión.
Fuente: Suárez, J. 2004.

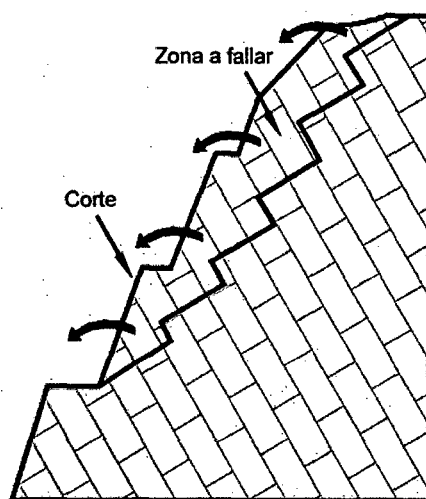


Figura 14. El volcamiento genera un desmoronamiento del talud o falla en escalera, formando caídos o derrumbes.
Fuente: Suárez, J. 2004.

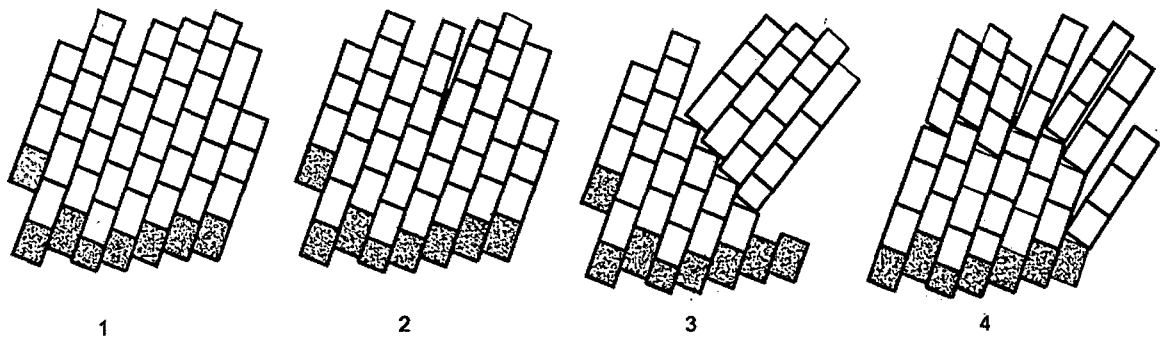


Figura 15. Procesos de falla al volcamiento.
Fuente: Suárez, J. 2004.

Modos de Volcamiento

Se pueden diferenciar tres tipos de volcamiento:

Volcamiento a flexión. Columnas se rompen y separan unas de otras en flexión a medida que se inclinan hacia adelante (Figura 16), (Suárez. 2004).

Volcamiento en V invertida. Consiste en la inclinación múltiple de una serie de bloques con centro de giro en la superficie inferior del sistema de volcamiento, el cual puede convertirse en una superficie de falla, (Suárez. 2004).

Flexión por bloque. Flexión continua de columnas largas a través de desplazamientos acumulados a lo largo de las numerosas juntas, (Suárez. 2004).

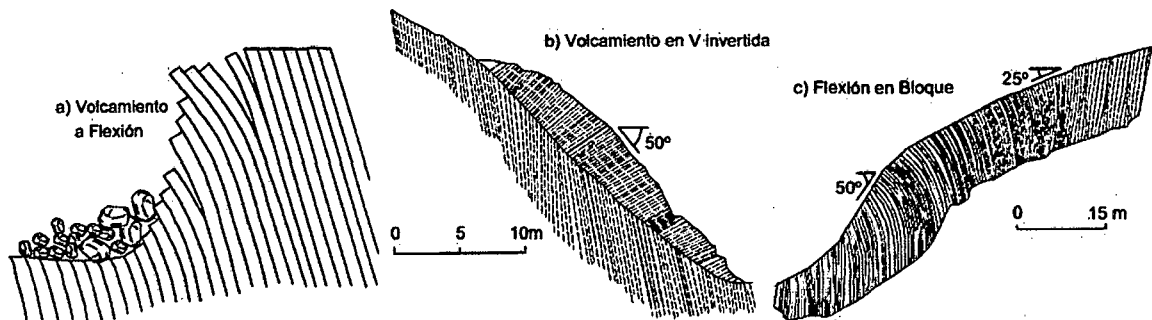


Figura 16. Modos de complejos de volcamiento.
Fuente: Suárez, J. 2004.

2.2.8. Deslizamientos en Masa (Traslacionales y Rotacionales)

El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes, (Suárez. 2004).

El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla, sino que se va generando en un proceso gradual. La superficie de falla es una zona de determinado espesor, en la cual se producen cambios volumétricos y desplazamientos relacionados con la falla o rotura, al cortante de los materiales, (Suárez. 2004).

Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear, (Suárez. 2004).

Deslizamiento Rotacional

En un desplazamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento, (Suárez. 2004).

El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento, (Suárez. 2004).

Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento (Figura 17). La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento, (Figura 18), (Suárez. 2004).

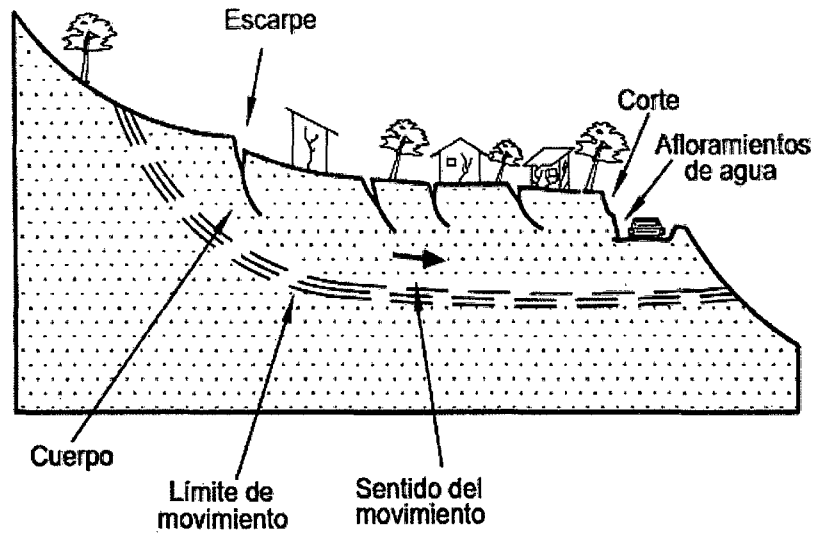


Figura 17. Deslizamientos en suelos blandos.
Fuente: Suárez, J. 2004.

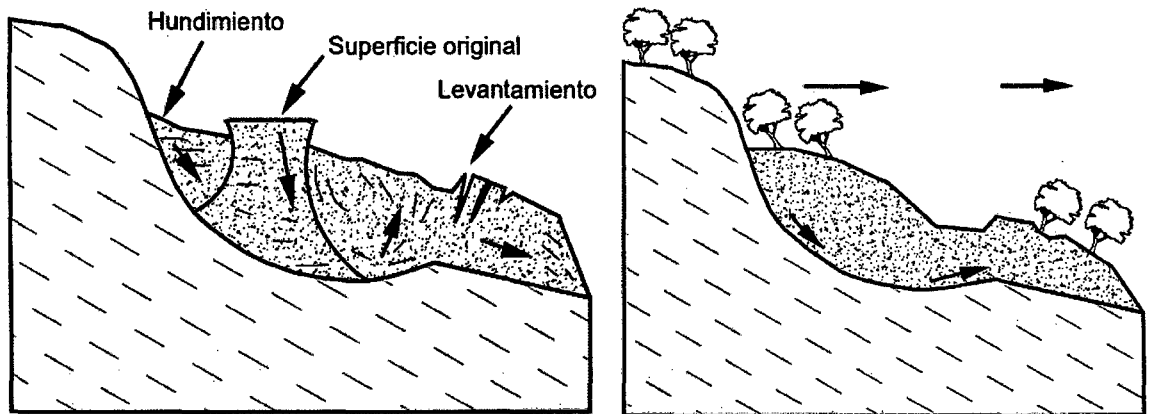


Figura 18. Deslizamiento rotacional típico; Izq. Movimientos de las masas de tierra, Der. Orientación de los árboles.
Fuente: Suárez, J. 2004.

En la mayoría de los desplazamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara” Figura 19. Los desplazamientos rotacionales generalmente tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33 (Skempton y Hutchinson 1969).

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento aparentemente es semi-vertical y tiene muy poca rotación. No obstante, se puede observar que la superficie original del terreno gira en la dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.

La formación de los escarpes semi-verticales en los deslizamientos de rotación facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos o progresivos hacia arriba.

Dentro del deslizamiento ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente, ocurren varios desplazamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de desplazamientos rotacionales independientes. Los casos más conocidos de deslizamientos de rotación, se presentan en suelos arcillosos blandos con perfil profundo y en suelos residuales con perfiles meteorizados de gran espesor,

También se presentan con frecuencia en los terraplenes. Generalmente, la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades y juntas o planos de estratificación, (Suárez. 2004).

El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad.

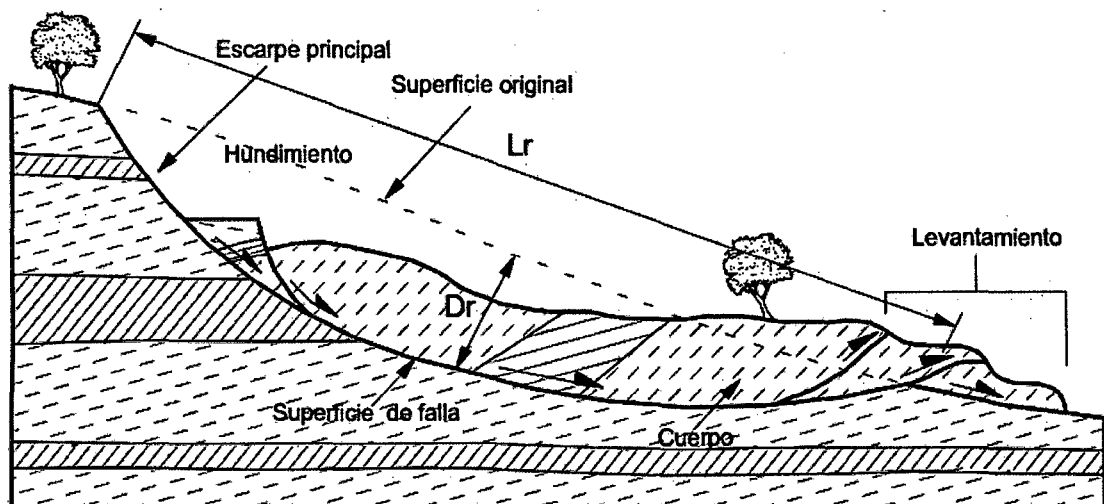


Figura 19. Desplazamiento de rotación en una ladera.

Fuente: Suárez, J. 2004.

Deslizamiento de Traslación

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r/L_r de menos de 0.1. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte, (Suárez. 2004).

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies débiles tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación, foliación, “slickensides” o por el contacto entre la roca y los suelos blandos o coluviones, (Suárez. 2004).

A los movimientos sobre discontinuidades sencillas en roca, se les denominan deslizamientos de bloque, los cuales conforman unidades coherentes o grupos de unidades coherentes. Cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades, se les conocen como deslizamientos de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades, se les puede denominar falla en escalera, (Suárez. 2004).

2.2.9. Estabilidad de Taludes

González de Vallejo et al. (2004) señala que cualquier obra de infraestructura que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, requiere hacer cortes de taludes, ya sea en superficie o al realizar excavaciones por debajo de ella. El diseño de taludes es uno de los aspectos primordiales de la Ingeniería Geológica porque está presente en la mayoría de actividades constructivas o extractivas.

Taludes en Suelos

De acuerdo a lo que postulan González de Vallejo et al. (2004), los suelos se rompen generalmente a favor de superficies curvas, de diversas formas, condicionadas por la morfología y estratigrafía del talud (Figura 20). Puede ser, aproximadamente circular (la más frecuente) con su extremo inferior en el pie del talud (deslizamiento de pie) (Figura

20b), cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas. También puede ser casi circular pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo) (Figura 20c). si se dan determinadas condiciones del talud como la presencia de estratos o capas de diferente competencia, se puede dar una rotura a favor de una superficie plana o una superficie poligonal formada por varios tramos planos (Figuras 20a y 20d). Las roturas de taludes en suelos a favor de un único plano paralelo al talud son prácticamente inexistentes aunque puede ser válido en laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre roca.

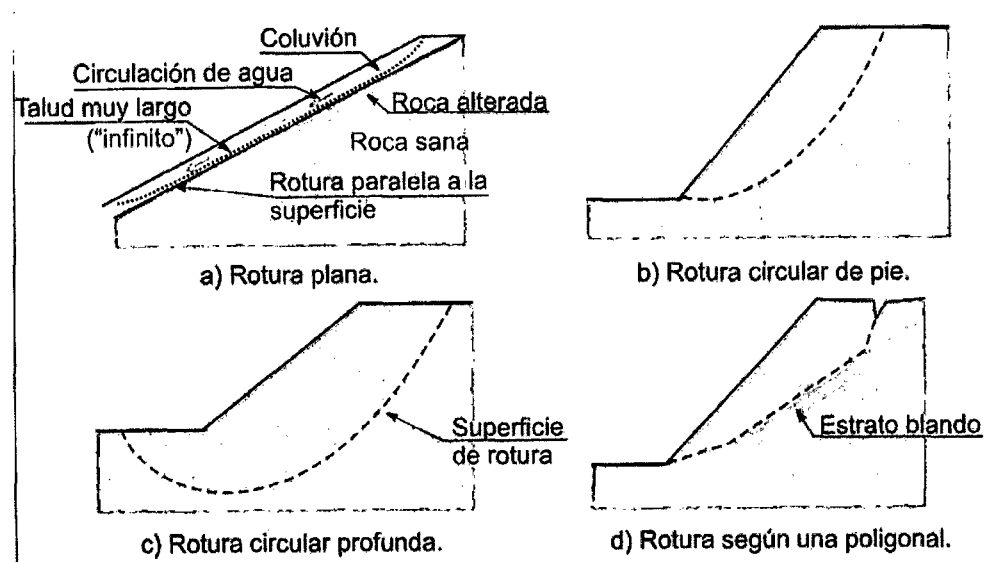


Figura 20. Tipos de superficie de rotura en suelos.
Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004.

Taludes en Roca

Estos tipos de rotura están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud. Algunos modelos más frecuentes de rotura en rocas son:

Rotura plana: Se produce a favor de una superficie preexistente (discontinuidad) ésta se encuentra buzando a favor del talud y con su misma dirección, y se cumple que el buzamiento es mayor que el ángulo de rozamiento interno.

Rotura en cuña: deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad a favor de su línea de intersección. Se cumple que el ángulo de talud es

mayor que el buzamiento de la línea de intersección y éste mayor que el ángulo de rozamiento interno.

Vuelco de estratos: Los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo, este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques.

Rotura por pandeo: se produce a favor de los planos de estratificación paralelos al talud con buzamiento mayor que el ángulo de rozamiento interno. La rotura puede ocurrir con o sin flexión del estrato.

Rotura curva: puede ocurrir en macizos rocosos blandos poco competentes y en macizos muy alterados o intensamente fracturados, que presentan un comportamiento isótropo y donde los planos de discontinuidad no controlan el comportamiento mecánico comportándose como un suelo, (González de Vallejo et al. 2004).

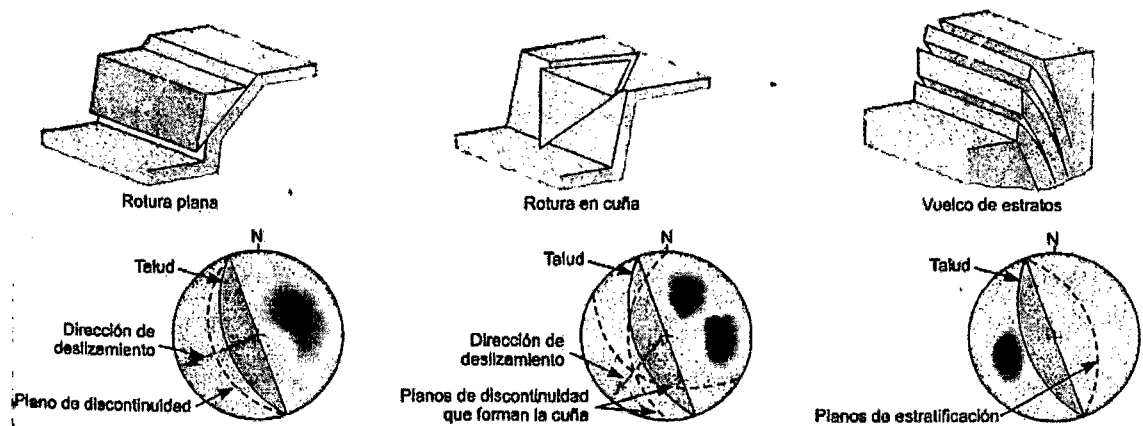


Figura 21. Representación estereográfica de los planos de discontinuidad respecto a la orientación del talud para algunos tipos de macizos rocosos. (Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004.modificado de Hoek y Bray, 1981).

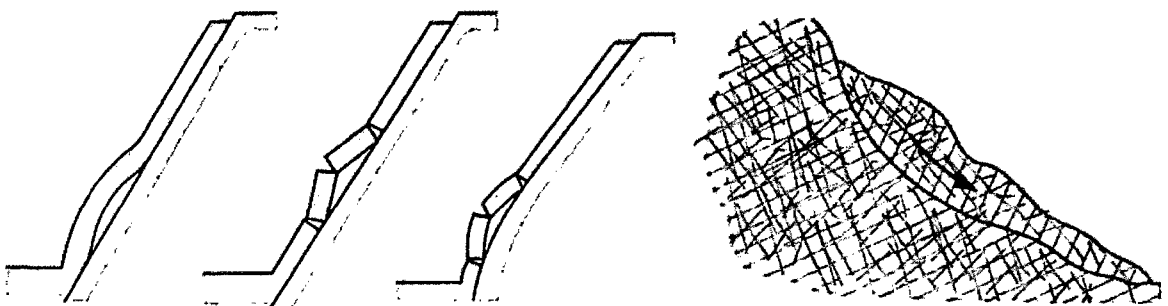








Figura 22. A la izquierda, esquema de pandeo. A la derecha, esquema de rotura en curva. (Fuente: González, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. 2004).

2.2.10. Clasificaciones Geomecánicas de las Rocas

Geological Strength Index (GSI)

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie en afloramientos y sondeos como se muestra en la siguiente imagen, (Hoek y Marinos 2000).

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES →					
 <p>INTACTO O MASIVO Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.</p>	90			N/A	N/A
 <p>FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.</p>	80	70			
 <p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.</p>		60	50		
 <p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.</p>			40	30	
 <p>DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.</p>				20	
 <p>LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.</p>	N/A	N/A			10

ENCAJE DECRECIENTE ENTRE LOS TROZOS DE ROCA ↓

Figura 23. Índice de resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos fracturados (Hoek y Marinos 2000).

Índice de Calidad de la Roca (RQD), Deere (1967)

El índice de designación de la calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation Index) proporciona un valor estimado cuantitativo de la calidad del macizo rocoso a partir de testigos de perforación diamantina principalmente y de afloramientos en superficie.

Cálculo del RQD para sondeos

Para el cálculo del RQD para sondeos se utiliza la siguiente fórmula:

$$R.Q.D = \left[\frac{\sum(\text{Longitud de fragmento} \geq 10\text{cm})}{\text{Longitud total de la perforación}} \right] \times 100$$

Cálculo del RQD para una línea de mapeo

Cuando no se dispone de núcleos de perforación, el RQD puede ser estimado a partir de una línea o de un área de mapeo, como se describe a continuación:

Para una línea de mapeo, se puede obtener el promedio del espaciado de las discontinuidades (número de discontinuidades dividida entre la longitud de la línea de muestreo). El RQD obtenido de esta manera, se puede calcular con la siguiente ecuación:

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

Dónde, para esta tesis:

$$\lambda = (\text{Número de discontinuidades}) / (\text{longitud total de muestreo})$$

Rock Mass Rating (RMR)

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- (1) Resistencia uniaxial de la matriz rocosa: ensayo PLT, ensayo de compresión simple.
- (2) Grado de fracturación del macizo: ensayo RQD.
- (3) Espaciado de las discontinuidades: separación entre diaclasas (m).

(4) Condiciones de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, relleno, bordes.

(5) Condiciones hidrogeológicas: caudal, presión de agua, humedad.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Tabla 1. Clasificación Geomecánica según Bieniawski. 1989. RMR. (Modificado de González de Vallejo et al. 2004).

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación	20	17	13	6	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P / σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
	Puntuación	15	10	7	4	0			

Tabla 2. Calidad del macizo rocoso en relacional indice de RMR (González et al. 2004).

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 - 81	> 4 kg/cm ³	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm ³	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm ³	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm ³	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm ³	< 45°

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Talud: es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura y que se conformó artificialmente, (Suarez 2004).

Deslizamiento: (“Landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” Cruden (1991). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos de denudación, (Suarez 2004).

Depósitos Coluviales: Son materiales transportados por gravedad. Frecuentemente están asociados a masas inestables. Su composición depende de la roca de la que proceden, estando formados por fragmentos angulares y heterométricos, generalmente de tamaño grueso, englobados en un matriz limo-arcillosa o arenosa, dependiendo de la roca que los origina, (González de Vallejo et al. 2004).

Desprendimientos: Son caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, grietas de tracción, etc.). Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados y, en general, en paredes rocosas, siendo frecuentes las roturas en forma de cuñas y en bloques formados por varias familias de discontinuidades. Los factores que los provocan son la erosión y la pérdida de apoyo o descalce de los bloques previamente independizados o sueltos, el agua en las discontinuidades y grietas, las sacudidas sísmicas, etc., (González de Vallejo et al. 2004).

Macizos Rocosos: Las masas rocosas aparecen en la mayoría de los casos afectados por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa o roca intacta constituyendo en su conjunto los macizos rocosos, (González de Vallejo et al. 2004).

Suelo residual: Suelo cuyo material de origen resulta de la meteorización “in situ” de lechos rocosos, duros o blandos. M. Ch. A. Diccionario Geológico.

Suelo transportado: Suelo cuyo material originario ha sido transportado de su lugar de origen y depositado en el actual, en la mayoría de los casos lateralmente, debido a la acción del viento, agua, gravedad o hielo proveniente de los glaciares. M. Ch. A. Diccionario Geológico.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Central Hidroeléctrica Potrero

La Central Hidroeléctrica Potrero, consiste en una “Central de Pasada”, es decir no considera embalse alguno, aprovechará los recursos hídricos del Río Crisnejas, con un salto neto de 125.38 m. El proyecto plantea aprovechar el salto hidráulico existente entre la cota de captación a los 1948.50 m.s.n.m. hasta los 1808.45 m.s.n.m. del eje de la turbina. Luego de las pruebas y puesta en marcha de la central, se interconectará al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) a través del sistema eléctrico existente Cajamarca - San Marcos – Cajabamba, en 60 KV.

El cierre del cauce es mediante un dique de concreto, la captación está en la margen izquierda, entregando a un corto canal cubierto, y luego a un desarenador; posteriormente la conducción es mediante canal cubierto de similares característica del anterior, el canal entrega a un túnel a pelo libre, este culmina en una cámara de carga en subterráneo, allí inicia el conducto forzado con un pique vertical, posteriormente desarrolla en horizontal y subterráneo hasta llegar a una semi-caverna, a la salida en superficie, donde se ha ubicado la cámara de válvula, finalmente la conducción es en tubería enterrada hasta entregar a la casa de máquinas. (Fuente: Memoria Descriptiva del Proyecto).

3.2. Ubicación

El proyecto se ubica en la cordillera occidental de los andes, en el norte del Perú, al sur-este de la Ciudad de Cajamarca. Puntualmente se ubica al este del caserío Chirimoyo, al sur del caserío Socchagón y al norte del caserío Chichir. Se desarrolla entre las coordenadas UTM WGS84 Zona 17: N 9174758, E 822187, Cota 1950 y N 9174234, E 823654, Cota 1780.

REGIÓN	Cajamarca
PROVINCIA	San Marcos
DISTRITO	Eduardo Villanueva - La Grama
CENTRO POBLADO	Aguas Calientes
CASERÍO	Chirimoyo

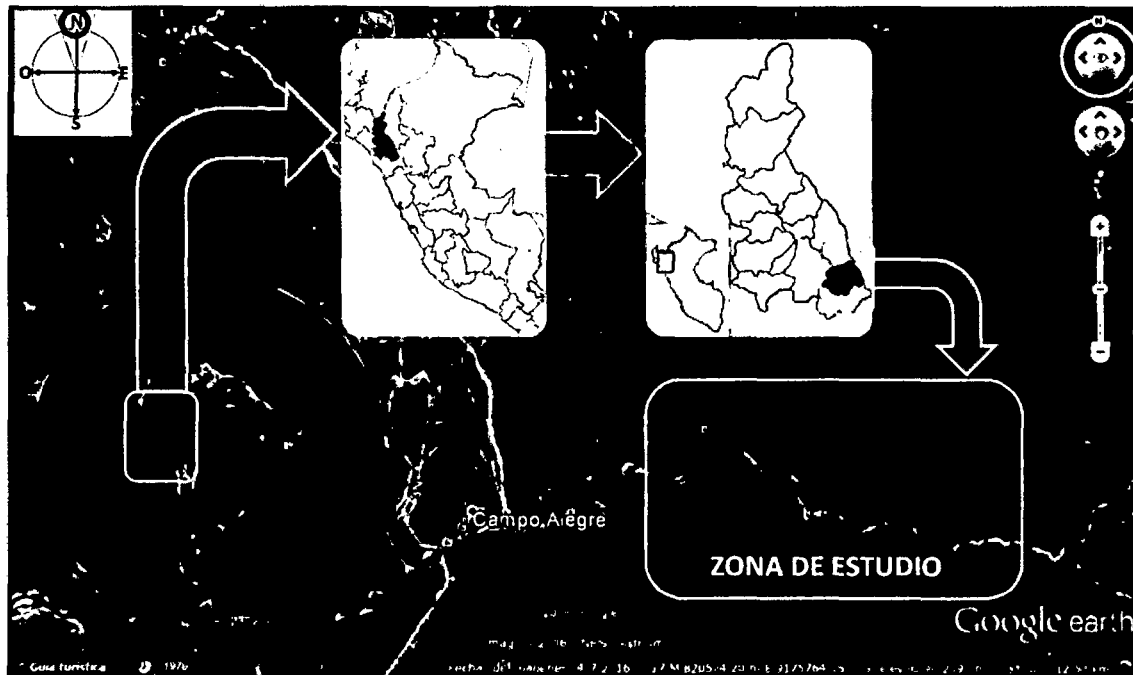


Figura 24. Ubicación del Proyecto.

3.3. Accesibilidad

La accesibilidad a la zona del proyecto se describe en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que desde Aguas Calientes al proyecto existe una trocha carrozable, y el tiempo aproximado es de 15 minutos.

Tabla 3. Accesibilidad a la zona del proyecto, indicando el tipo de vía, estado y tiempo.

ACCESIBILIDAD A CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO		
VÍA	ESTADO	TIEMPO (Aprox.)
Lima-Cajamarca-Proyecto	Asfaltada	1080 minutos (18 h)
Cajamarca-San Marcos-Proyecto	Asfaltada	150 minutos (2.5 h)
San Marcos-Chancay-Proyecto	Asfaltada	75 minutos (1.25 h)
Cajabamba-Aguas Calientes-Proyecto	Asfaltada	45 minutos (0.75 h)

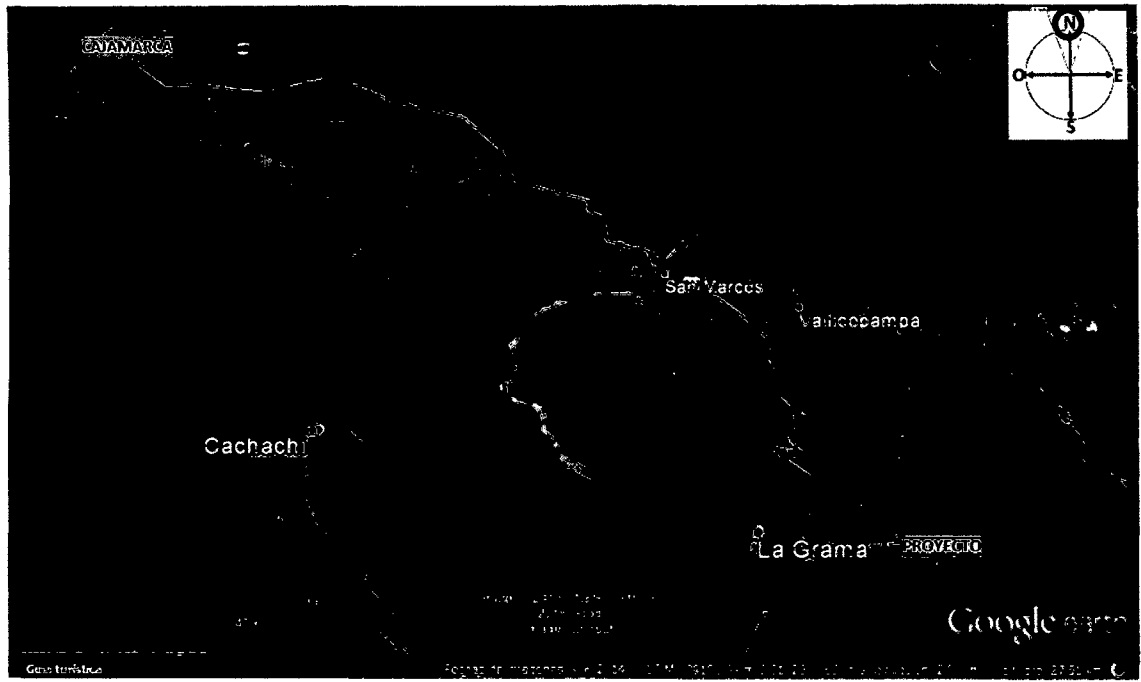


Figura 25. Accesibilidad a la zona del Proyecto.

3.4. Clima

La zona del proyecto se caracteriza por tener un clima seco, templado y soleado. La temperatura máxima anual es de 22.6°C, la temperatura mínima anual es de 9.7°C, siendo la temperatura media anual de 16°C. La humedad relativa alcanza un promedio de 80% entre octubre y abril y 70% entre mayo y septiembre. Los vientos soplan con mayor intensidad en agosto. Los meses de lluvia son entre octubre y abril, y los meses de estiaje son entre mayo y septiembre. (Fuente: Memoria Descriptiva del Proyecto)



Figura 26. Flora de la Zona de estudio, Aguas Arriba del Río Crisnejas.

3.5. Flora y Fauna

La zona presenta una flora diversa tales como huarango, molle, tuna, eucalipto, naranja, lima, plátano, mango, huayaba, caña, pauquillo, ñul, retama, chilca, paucó, tara, carrizo, penca, aliso, cactus, congona, etc. Los cultivos son comunes como maíz, trigo, cebada, ocas, ollucos, papas. La fauna es muy variada, siendo común en fauna doméstica ganado vacuno, porcino, ovino, caprino, cuyes, conejos, caballos. etc. En aves tenemos águila, paloma, gavián, tortolita, guardacaballo, picaflor, putilla, turríche, chisco, jilguero, huanchaco, perico, golondrina, etc. En peces existen sardina, sharcoca, dorado lambo, shagán, life, etc.

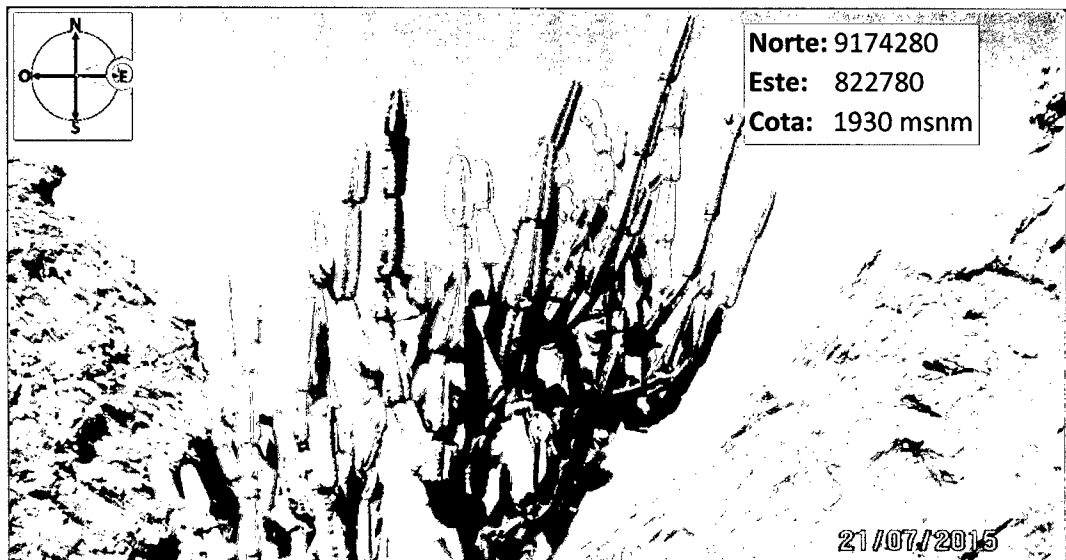


Figura 27. Cactus, flora típica de la zona.

3.6. Tipo y Diseño de la Investigación

La metodología de la investigación se basa en sus objetivos, por lo cual, es descriptiva, explicativa, no experimental y transversal en el tiempo; basada en observaciones y toma de datos directamente del medio físico como afloramientos de rocas, taludes y laderas. Los métodos utilizados son describir, analizar, comparar, deducir y explicar a través de cuadros, tablas, gráficos, figuras, etc. Los datos tomados en campo son rumbo o azimut, buzamiento, dirección de buzamiento de pliegues, fallas, discontinuidades, estructuras, parámetros geomecánicos del macizo rocoso; teniendo en cuenta que dichos datos son

reales y no están sujetos a ser manipulados o modificados, generando resultados objetivos que fueron analizados por el tesista.

El trabajo de campo se inició con la observación y descripción de las diferentes estructuras tectónicas, procesos de geomecánica externa del área de estudio. La observación y medida de la orientación de la estratificación, talud de la carretera y deslizamientos. Finalmente se utilizaron técnicas de procesamiento de datos a partir de fotografías y datos geomecánicos recopilados en campo para determinar las condiciones geotécnicas de la carretera.

3.7. Procedimientos y Técnicas de Recolección de Datos

El procedimiento fue sistemático y de orden lógico. Iniciando con el planeamiento, recolección de información, salidas al campo y toma de datos como cartografiado geológico, estructural, geomorfológico y geotécnico, luego dichos datos fueron procesados, analizados llegando a resultados concretos que han sido plasmados en gráficos, cuadros, tablas, planos etc. Finalmente se elaboró el informe final de tesis para su presentación y sustentación.

3.7.1. Etapa preliminar de gabinete

Esta etapa consistió en la búsqueda, revisión, clasificación, ordenamiento y análisis de la información existente sobre los trabajos realizados en la zona de estudio y alrededores, los cuales estén basados en fundamentos similares; además se puede considerar como parte de la recopilación de información, mantener contacto con profesionales de amplia trayectoria laboral, los mismos que dan mayor credibilidad y confiabilidad de la aplicación de metodologías modernas relacionadas al tema de investigación. Se realizó la recopilación de mapas topográficos y geológicos (escala 1:100000) del cuadrángulo de San Marcos hoja 15g del INGEMMET, para tener una referencia de la geología de la zona, con la cual se realizó una mejor interpretación y también la exploración en el Google Earth Pro 2010.

3.7.2. Etapa de Campo

Una vez completado la recopilación bibliográfica se realizaron los trabajos de campo. Se requiere de objetivos claros programados en cada salida (plan de trabajo de campo), un compromiso absoluto y una definición específica de la estrategia y tácticas a seguir para la toma de datos geotécnicos y estructurales.

En el terreno con los mapas base (geológicos, topográficos e imagen satelital) y la interpretación de imágenes y fotografías realizadas en la etapa preliminar de gabinete, se ubicó el área donde hacer las estaciones geomecánicas tanto para taludes como para deslizamientos, obviamente realizando el cartografiado de campo y teniendo en cuenta estrategias analíticas de recolección de datos representativos.

El trabajo de campo se inició con la observación y descripción de los procesos de remoción de masa haciendo uso del formato de campo y un cartografiado geomecánico de la zona de estudio, este trabajo de campo se realizó analizando la imagen satelital, fotografías aéreas y tomando como referencia la geología de la base de datos del INGEMMET. Las salidas al área de estudio se realizaron con la finalidad de la verificación in situ de la litología, procesos de geodinámica externa (deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, etc.).

Para realizar la toma de datos se utilizó formatos de campo basados en las caracterizaciones geomecánicas de RMR de Bieniawski de 1989, Q de Barton complementando con descripciones de todos los datos tomados.

3.7.3. Etapa Final de Gabinete

En esta etapa se desarrolló el procesamiento de datos obtenidos en campo, la redacción del informe así como la digitalización de los planos respectivos, construcción de perfiles geológicos, análisis del comportamiento geomecánico y cinemático de los taludes y laderas en programas del paquete de Rocscience y paquete de GIS.

En esta etapa final se realizó el procesamiento de datos, así como, su interpretación, análisis, redacción y revisión final de la tesis.

3.7.4. Procesamiento de datos y análisis de información

Geológico: Para el análisis geológico se procedió al mapeo geológico para determinar los diferentes contactos geológicos presentes en la zona de estudio, también a través de este análisis se identificaron los diferentes tipos de rocas, estructuras, etc.

Geomecánico: Para el análisis geomecánico se utilizaron diversas tablas geomecánicas para así poder clasificar a la roca si es muy buena, buena o mala, utilizando para este análisis, las diferentes propiedades tanto del macizo rocoso como de las discontinuidades siendo algunas de ellas: meteorización, grado de fracturamiento, espaciado, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, etc.

Numérico: Para el análisis numérico se utilizaron los programas RocData, Dips, Slide, ArcGis, QGis; para así determinar la resistencia del macizo rocoso mediante los criterios de rotura de Hoek-Brow y Mohr-Coulomb.

3.7.5. Equipos e Instrumentos

Se utilizaron los siguientes equipos e instrumentos:

Rayador: Instrumento utilizados para el reconocimiento de las propiedades físicas de las muestras.

Ácido: Utilizado para comprobar las composición químicas de las muestra observables.

Flexómetro: utilizado para la medición de longitudes en las estaciones geomecánicas.

Libreta de Campo: Utilizada para la toma de datos de campo y para la realización de los diferentes croquis o dibujos observados en el campo.

Tablero: usado como soporte y plataforma para manipular planos y tablas geomecánicas.

Picota: Instrumento utilizado para extracción de muestras en cada salida de campo.

Lupa Iwamoto 20X: Usada para visualizar estructuras y minerales que a simple vista no es posible.

Brújula Brunton: Que sirve para medir la orientación e inclinación de las diferentes estructuras.

GPS Navegador: utilizado para la ubicación en el lugar de la toma de datos, configurado en el sistema UTM WGS 1984 Zona 17 Sur.

Computadora: Maquina electrónica que recibe, procesa y analiza datos ingresados y manipulados por el ser humano.

Cámara fotográfica digital: Dispositivo electrónico usado para capturar y almacenar fotografías, sonidos y videos electrónicamente en formato digital.

CAPÍTULO IV. GEOTECNIA

4.1. GEOLOGÍA

4.1.1. Geología Regional

Formación Chicama

STÁPPENBECK (1929) dio el nombre de Formación Chicama a un conjunto litológico que aflora en la parte baja del valle de Chicama, situado al oeste del área de trabajo, (Cuadrángulo de San Marcos), en la que existe una secuencia con ligeras variantes, como la que se expone, cerca al puente del río Crisnejas donde superficialmente sufre un cambio de coloración.

En la mayoría de los afloramientos del valle de Condebamba se nota predominancia de lutitas negras laminares, deleznales, con delgadas intercalaciones de areniscas grises. Contienen abundantes nódulos negros, piritosos, algunas veces con fósiles algo piritizados. Es común observar manchas blancas amarillentas por eflorescencia de alumbre.

En los alrededores del puente del río Crisnejas, la formación Chicama presenta, por intemperismo, una coloración rosada, por lo que fácilmente, puede confundirse con la formación Carhuaz; en este sector los sedimentos arenosos de coloración rojiza han aumentado, y los estratos lutáceos ofrecen colores claros, ligeramente marrones. Numerosos sills andesíticos gris verdosos con más de un kilómetro de longitud, se exponen en algunos lugares y finalmente venillas de yeso entrecruzan a los estratos de esta formación; se estima un grosor de 800 a 1000m. se correlaciona con la Formaciones Oyón de la zona de Canta, Puente Piedra de la zona de Lima y con la parte inferior del Grupo Tura en Arequipa.

Grupo Goyllarisquizga: está formado por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. No se ha podido determinar su edad con precisión, por la ausencia de fósiles, pero sus relaciones estratigráficas son las mismas a las encontradas en las regiones vecinas y los Andes Centrales del Perú, por lo que se le asigna al Neocomiano-Aptiano.

A continuación se describe cada una de ellas.

Formación Chimú

La formación Chimú, designada con este nombre por BENAVIDES (1956), aflora suprayaciendo mayormente en forma concordante, sobre la formación Chicama, (lo más probable es que exista una discordancia paralela) e infrayaciendo con igual carácter a la formación Santa. La secuencia se extiende ampliamente en el área y fuera de ella, alcanzando ámbitos regionales. Sus afloramientos se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras, originando grandes farallones. Estructuralmente, esta formación funcionó como roca competente, dando perfectos anticlinales y sinclinales y quedando como rezagos de ellos las estructuras del norte de la hacienda Sunchubamba hasta el sur de Contumazá y San Benito, así como las de Sanagorán, Mallucayan, etc.

Litológicamente, la formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso, con ocasionales, lentes de granos de cuarzo poco redondeados. Tiene un grosor aproximadamente superior a los 600m.

Suprayace a la Formación Chicama del Titoniano e infrayace. a. la formación Santa del Valanginiano superior. Se correlaciona con las cuarcitas de la Formación Hualhuani (parte superior del Grupo Yura) de la región de Arequipa y con la parte inferior de la formación Llacanora de TAFUR (1950).

Formación Santa

Esta denominación fue dada por BENAVIDES (1956), en el área consiste en una intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que

oscila entre los 100 y 150m. Suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos.

El cambio de facies es notable según los lugares; así, mientras en la zona de Huamachuco, Cajamarca y Coína la proporción calcárea es predominante; en la zona de Cajamarca, Cascas y San Benito solamente hay lutitas y areniscas grises, fenómeno que se interpreta como relacionado con la forma de la cuenca.

Formación Carhuaz:

Esta formación descrita inicialmente por BENAVIDES (1956), en el área tiene aproximadamente un grosor de 500 m, con incremento hacia el sur y disminución hacia el noreste. Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo). Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Solamente en la bajada ala hacienda Jocos (Cajamarca) se ha observado por vez primera, delgados lechos carbonosos en esta formación.

La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace, concordantemente, a la formación Farrat. Probablemente las edades Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación, ya que encima se encuentra la formación Farrat que a su vez infrayace a sedimentos del Aptiano-Albiano; es equivalente con la parte intermedia de la formación Llacanora.

Formación Farrat

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500m, aumentando en el sector suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

La formación Farrat, suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual.

Por su similitud litológica con la formación Chimú es fácil confundirlas siendo necesario en el campo, establecer muy bien sus relaciones estratigráficas para diferenciarlas, aunque

en algunos casos solamente por la falta de mantos de carbón es posible, diferenciarla de la formación Chimú.

Por sus características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y Chimú conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas, observables por las zonas de Contumazá, Asunción, Cospán, hacienda Chuquizongo, Callacullan, Algamarca, ruinas de Marcahuamachuco, Tamboras y al sur de Huamachuco. La formación Farrat se extiende con el mismo nombre hacia el norte del Perú, y a las regiones de Sihuas, Pomabamba, etc., al sur se correlaciona con la parte superior de la formación Llacanora.

4.1.2. Geología Local

La zona de estudio se encuentra ubicado en rocas mesozoicas jurásico-cretáceas con numerosos plegamientos menores y anticlinales y sinclinales de gran tamaño. La zona está principalmente representada por las Formaciones Chicama infrayaciendo a la Formación Chimú, la primera consta de lutitas intemperizadas que toman diferentes coloraciones por lo que se pueden confundir con la Formación Carhuaz, lutitas bituminosas, limolitas, areniscas grises y la segunda (Formación Chimú) representada por areniscas blancas cuarzosas con transición a cuarcitas debido a un metamorfismo de bajo grado, generalmente las areniscas son de grano medio a grueso que forman bancos potentes que alcanzan más de 10 metros de espesor en la parte superior y con alternancia de lutitas, areniscas grises y limolitas en estratos de poco espesor aproximadamente de 0.5 metros en la parte inferior en contacto con la Formación Chicama. Además existen depósitos cuaternarios coluviales, aluviales, fluviales que forman pie de montes, abanicos, conos y terrazas característicos de un valle.

Veamos a mayor detalle cada una de estas formaciones.

Jurásico Superior

Formación Chicama, (Js-chic): Esta Formación suprayace a la Formación Pucará y aflora al norte del puente del río Crisnejas, donde superficialmente sufre un cambio de coloración, representada por lutitas negras laminares, deleznables, con delgadas intercalaciones de areniscas grises. En el área de estudio de esta investigación se encuentra

aflorando al este del puente del río Crisnejas entre las progresivas 3+900 y 7+000 que corresponde al tramo Campamento-Dique. Contiene nódulos negros piritosos y con algunos fósiles, principalmente es común encontrarlos en el lecho de las quebradas o zonas bajas; también es común observar manchas blancas amarillentas por fluorescencia de alumbre, conocido en la zona como “salitre” o “colpa”. También afloran abundantes sills andesíticos y se encuentran venillas de yeso que entrecruzan los estratos, en esta formación se deja ver que la inestabilidad del terreno es la de mayor riesgo. Además afloran horizontes arcillosos ricos en alúmina que son utilizados en la industria de la cerámica en los lugares Socchagón, La Lucmilla, Pomarongo y Tacora.

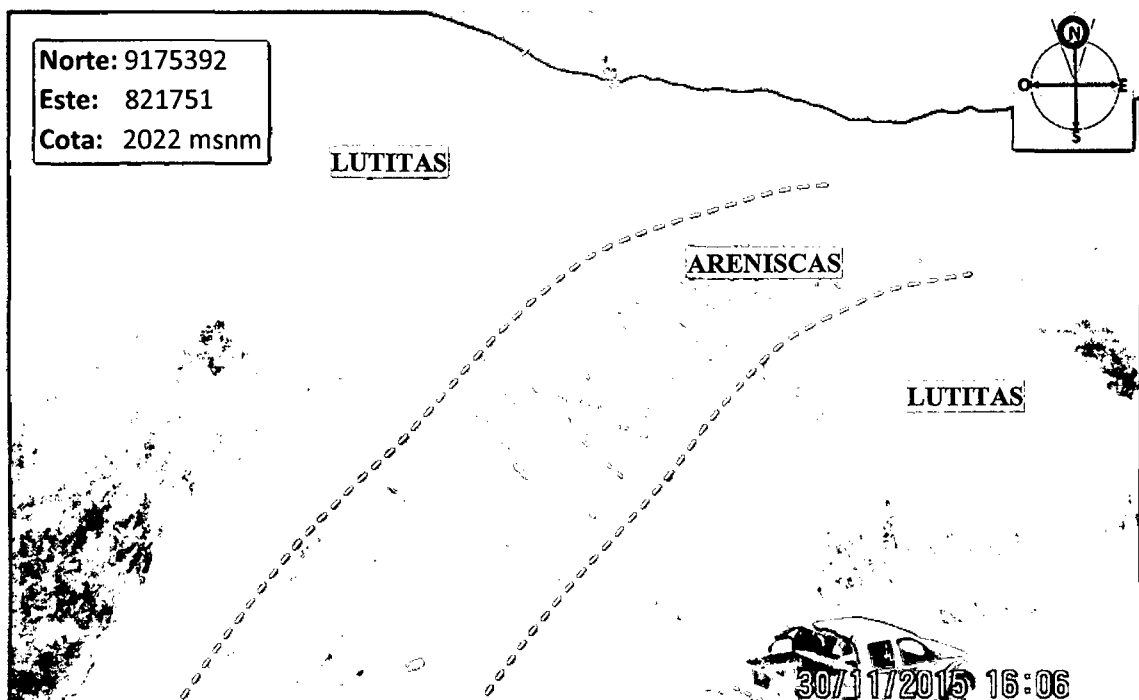


Figura 28. Afloramiento de la Formación Chicama, en la zona de estudio.

Cretácico Inferior

Formación Chimú, (Ki-chim): Aflora presentando areniscas blancas que han sufrido un leve metamorfismo siendo aceptable llamarlas cuarcitas o metacuarcitas, formando una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos que alcanzan los 30 metros en la parte superior. Las areniscas y cuarcitas generalmente son de grano medio a grueso, con ocasionales, mantos de carbón, encontrándose un manto representativo de 0.90 metros (90 cm), Ver Anexo 03, Galería de Fotos, Foto 04.

Generalmente en tramo de la carretera entre las progresivas 0+700 y 1+900 presenta una orientación promedio de 15° con respecto al norte y buzamientos que oscilan entre 25° y 45° debido a la presencia de un sinclinal a al final de tramo. Se observa estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada y ripple marks

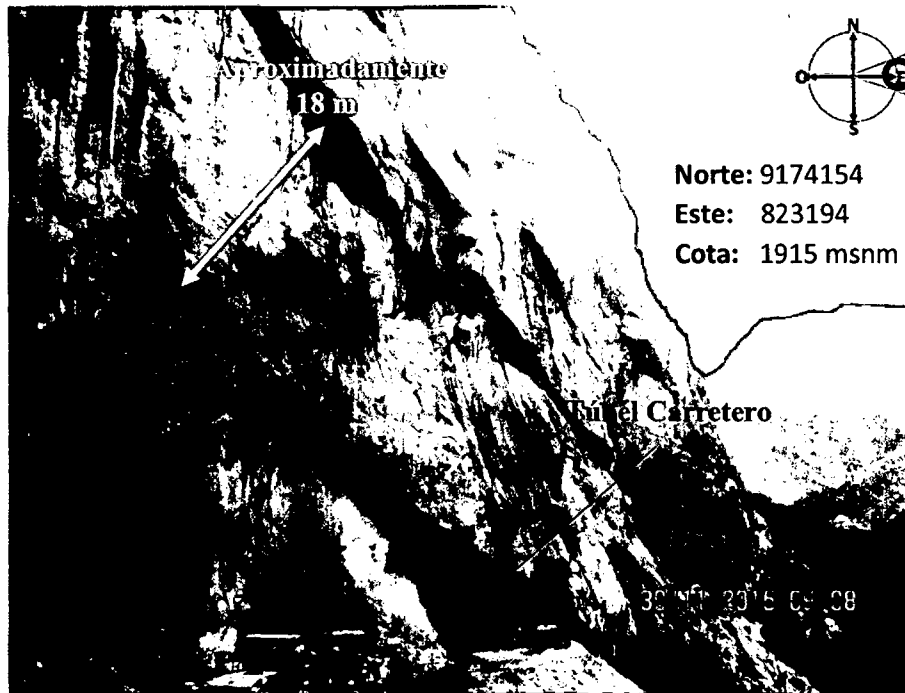


Figura 29. Afloramiento de areniscas blancas (cuarcitas) de la Formación Chimú en el inicio del túnel carretero.

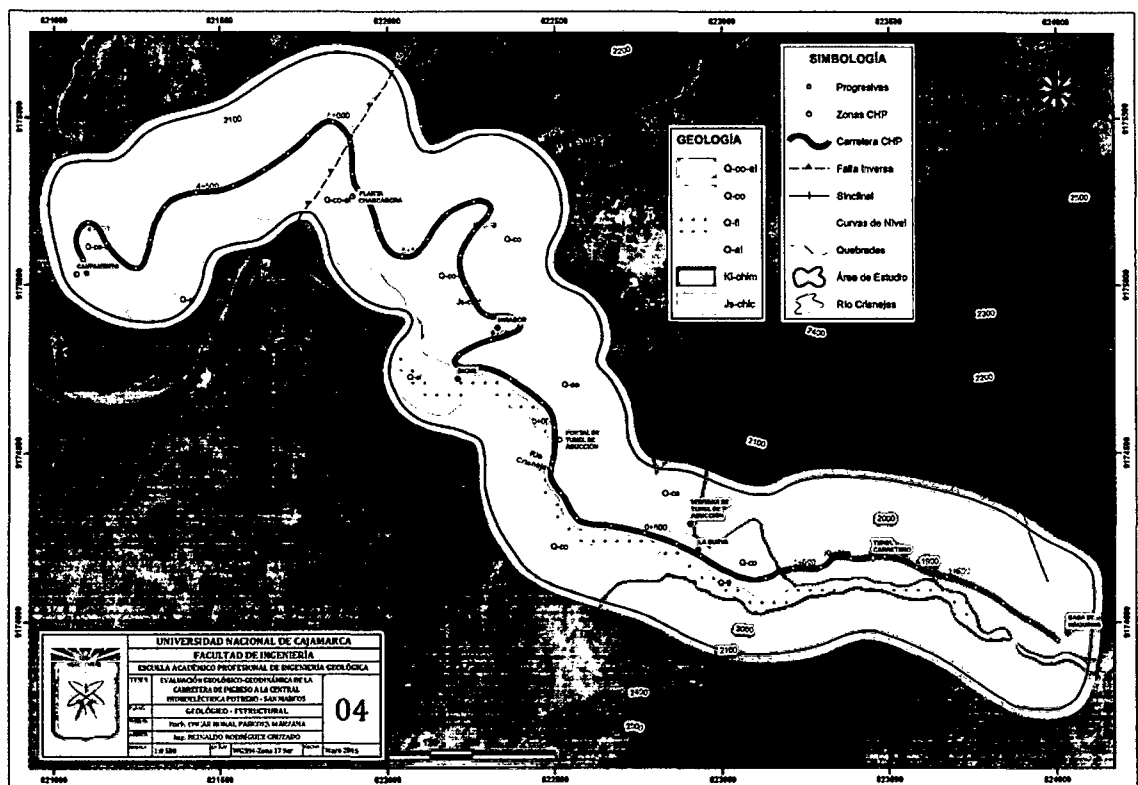


Figura 30. Mapa Geológico – Estructural. (Ver Anexo 04: Plano 04).

4.2. GEOMORFOLOGÍA

Uno de los aspectos importantes de un área de trabajo es el estudio de las formas de relieve (Geomorfología). La geomorfología es una de las ciencias de la tierra que tiene su origen ligado a la geología, que constituye la evolución del modelado de la corteza terrestre. La zona de estudio presenta un relieve característico de la cordillera andina generalmente con estructuras orientadas NW-SE. Presenta pendientes entre 5° y zonas escarpadas que alcanzan los 90°, entre las geformas resaltantes hay un valle.

Valle: Está formado por el río Crisnejas, que es afluente del río Marañón el mismo que desemboca en el río Amazonas y finalmente en el Océano Atlántico.

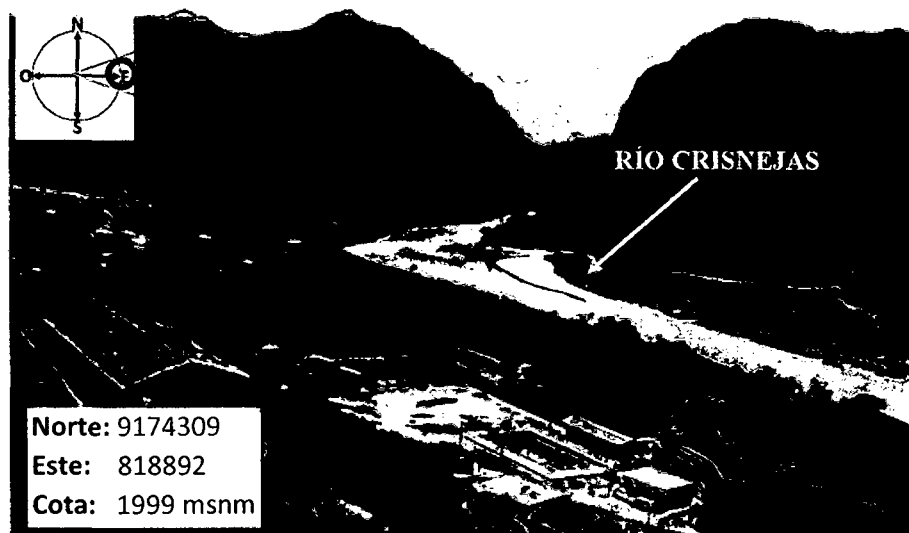


Figura 31. Valle formado por el río Crisnejas.

Colinas: Relieves accidentados desde fuertemente inclinados a muy inclinados (5°-15° y 15°-35° respectivamente, según Demek, 1972), a veces sub-redondeados por la meteorización y erosión, en la zona de estudio, formado por algunas geformas de la Formación Chicama.



Figura 32. Colina, ubicada al borde de la carretera en estudio.

Tabla 4. Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológicos.

Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológicos (Demek 1972)			
Categoría	Ancho de clase	Término de pendiente	Gradiente en %
0 - 2°	2°	Plano (planicie)	3.5
>2° - 5°	3°	Ligeramente inclinado	3.6 - 8.7
>5° - 15°	10°	Fuertemente inclinado	8.7 - 26.8
>15° - 35°	20°	Muy inclinado	26.8 - 70
>35° - 55°	20°	Empinado	70 - 143
>55° - 90°	35°	Vertical	143 - ∞

Ladera: En la zona encontramos laderas que oscilan entre 5° y 35° de pendiente ligeramente inclinadas a muy inclinadas según la clasificación de Demek (1972).

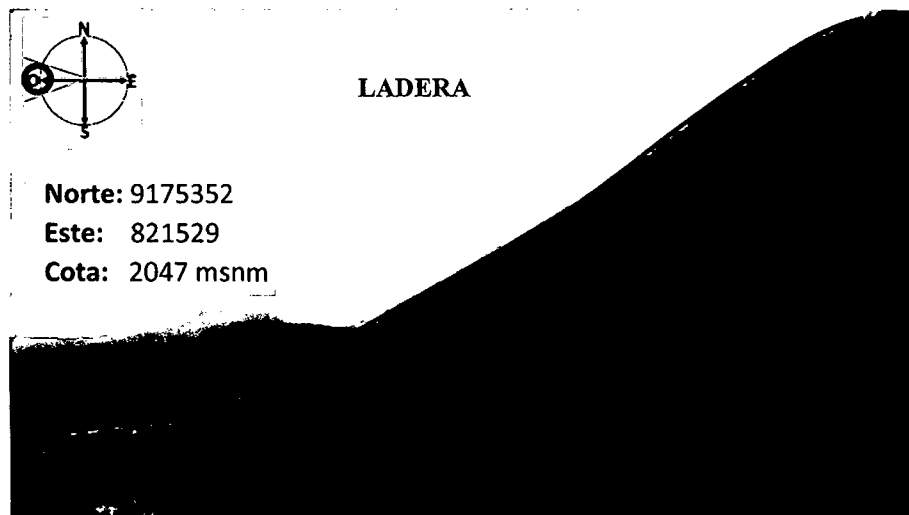


Figura 33. Ladera, ubicada al costado de la carretera.

Llanura Coluvio-aluvial: geformas características en ambos extremos de la carretera en estudio, relacionado a la cercanía del río Crisnejas.

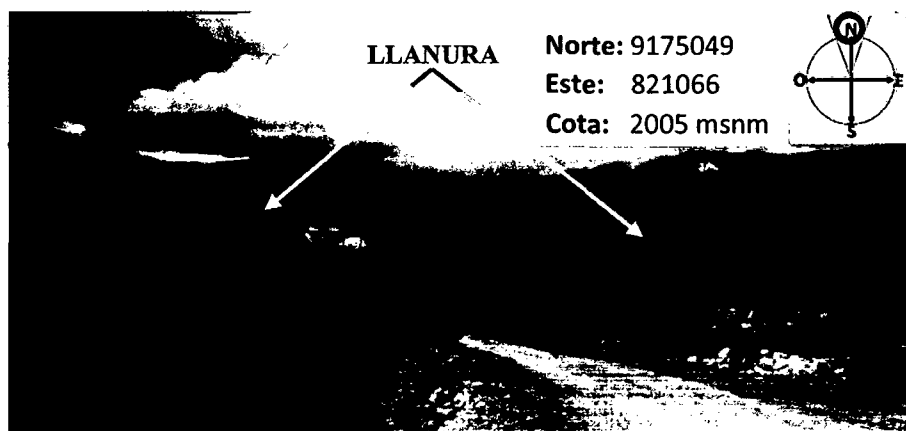


Figura 34. Llanura, en la que se ubica parte de la carretera.

Superficies de Erosión: En el área se reconoce superficies de erosión expuesta entre 2140 y 2750 msnm, producto de los procesos morfogenéticos (meteorización-erosión y transporte).

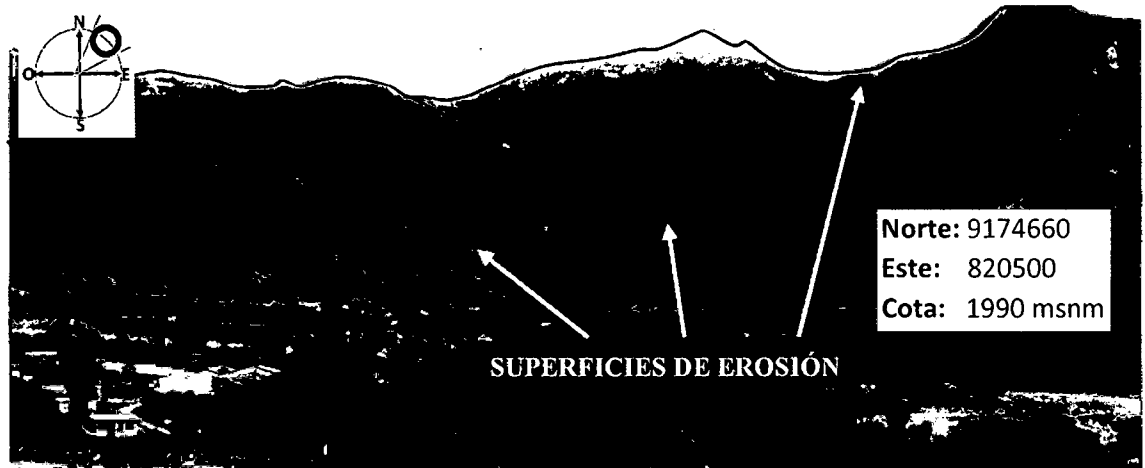


Figura 35. Superficies de erosión, al norte de la carretera en estudio.

Escarpes: Estas zonas de pendientes abruptas o empinadas ($> 35^\circ$, según Demek 1972) se encuentran dos escarpes que forman el Cañón de Crisnejas, entre las progresivas 0+600 y 1+900 es decir hasta la Casa de Máquinas.

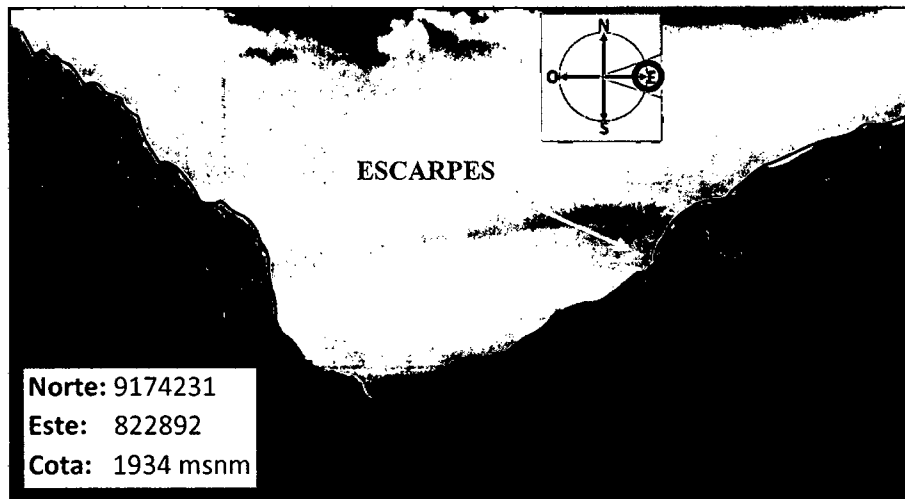


Figura 36. Escarpes que forman el cañón del Crisnejas.

Terraza Fluvial: Zonas planas formadas por la acumulación de material transportado (sedimentos) y depositado en los márgenes del cauce del río Crisnejas.

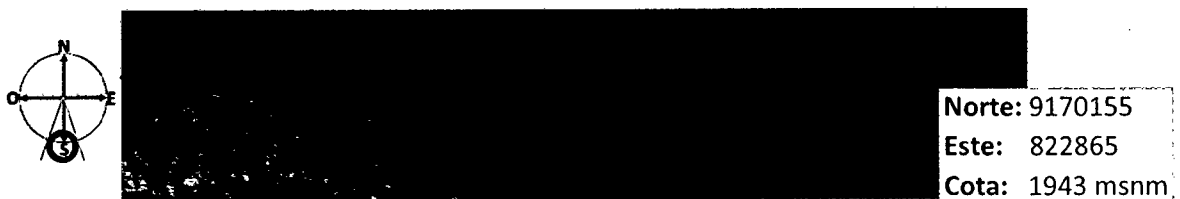


Figura 37. Terraza fluvial, formada en el lado derecho del río Crisnejas.

4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio se encuentra controlada por estructuras continuas y discontinuas como plegamientos, fallas, fracturas y diaclasas (discontinuidades) que dieron origen al relieve y aspecto geomorfológico actual.

Una falla inversa regional se ubica en la zona de estudio, que intersecta a la carretera en la progresiva 5+100 de tramo Campamento-Dique. La falla tiene una dirección aproximada de 215° con respecto al norte. La zona se presenta intensamente fracturada, la litología de la formación Chimú presenta características de fracturación moderada a alta, mientras que la Formación Chicama presentan fracturamiento intenso por sus constituyentes lutáceos. Producto de la tectónica de compresión que ha sufrido la zona se han creado zonas de plegamiento en la Formación Chicama de niveles lutáceos, no obstante en la Formación Chimú es visible un sinclinal, que tiene una dirección de 170° con respecto al norte. (Ver Anexo 04, Plano 04: Geológico-Estructural).

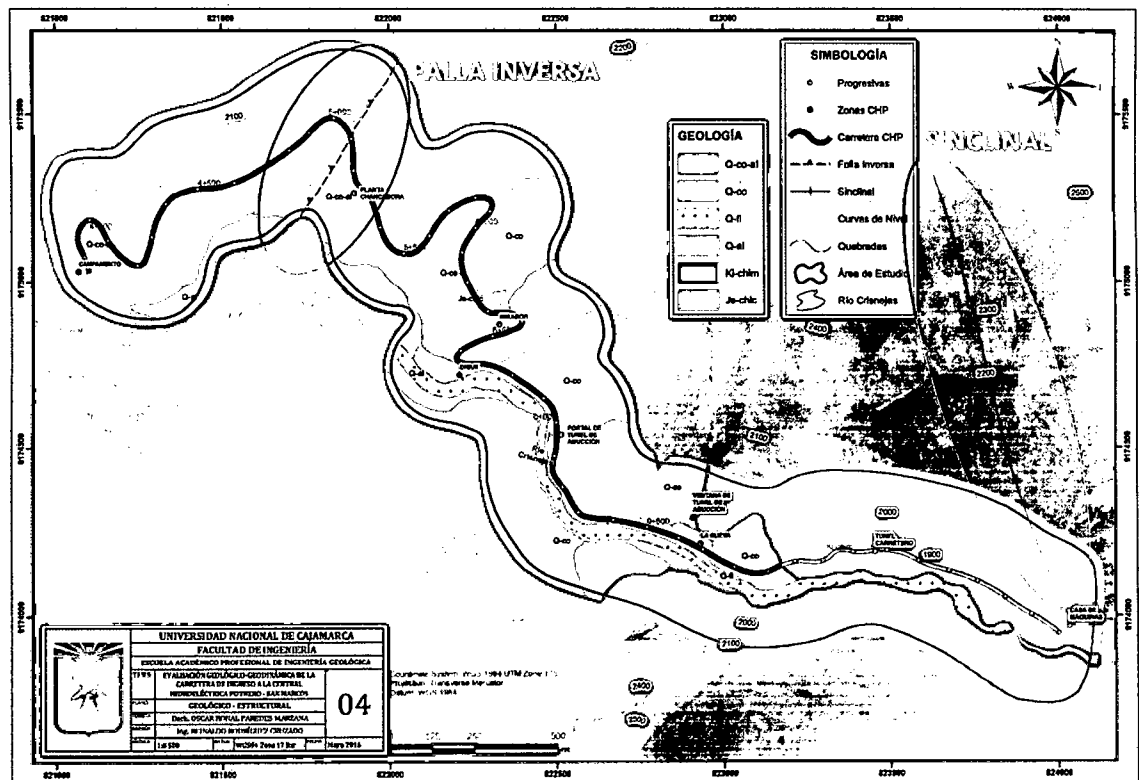


Figura 38. Fallas y plegamientos regionales de la zona de estudio, círculos en rojo. (Ver Anexo 04: Plano 04).

4.4. ESTACIONES GEOMECÁNICAS

Se realizaron 16 estaciones geomecánicas, en el tramo Campamento - Dique se realizaron 7 estaciones y 9 en el tramo Dique – Casa de Máquinas; dichos tramos son de 3 y 2 kilómetros respectivamente.

La recolección de datos se realizó entre los meses de mayo y diciembre de 2015, usando formatos y tablas geomecánicas, técnicas de campo como la resistencia en campo con martillo de geólogo, también se utilizó instrumentos como Brújula Brunton Azimutal, GPS, flexómetro, lupa Iwamoto, rayador, etc.

Geológicamente, el tramo Campamento- Dique está compuesto por lutitas negras y areniscas grises que corresponden a la Formación Chicama y por depósitos coluviales y aluviales en las cercanías de las quebradas; el tramo Dique-Casa de Máquinas tiene como base a la Formación Chicama hasta la progresiva 0+600 y a partir de ésta, hasta la casa de máquinas se encuentra como base la Formación Chimú representada por areniscas blancas de grano medio a grueso que alcanzan varios metros de espesor; también existen depósitos coluviales que tienen bloques de areniscas de gran tamaño que alcanzan varios metros de diámetro (12 m) que serían producto de la caída de rocas de la Formación Chimú principalmente entre las progresivas 0+690 y 0+940. Las rocas mencionadas se encuentran levemente meteorizadas y poco alteradas, con un bajo grado de fracturamiento, salvo en zonas puntuales que tienen fracturamiento intenso y se encuentran afectadas por un bajo grado de metamorfismo, además estas estructuras geológicas forman parte de un anticlinal que habría tenido deformación de charnela.

4.4.1. Estación Geomecánica 01

Inicia en la progresiva 3+320 y alcanza hasta la progresiva 4+500. Consta de depósitos cuaternarios coluvio-aluviales, que se presentan en capas con baja consistencia. El talud tiene una altura de 5 metros y en otros tramos alcanza los 8 metros. El material cuaternario se erosiona fácilmente por las precipitaciones y la baja cohesión.

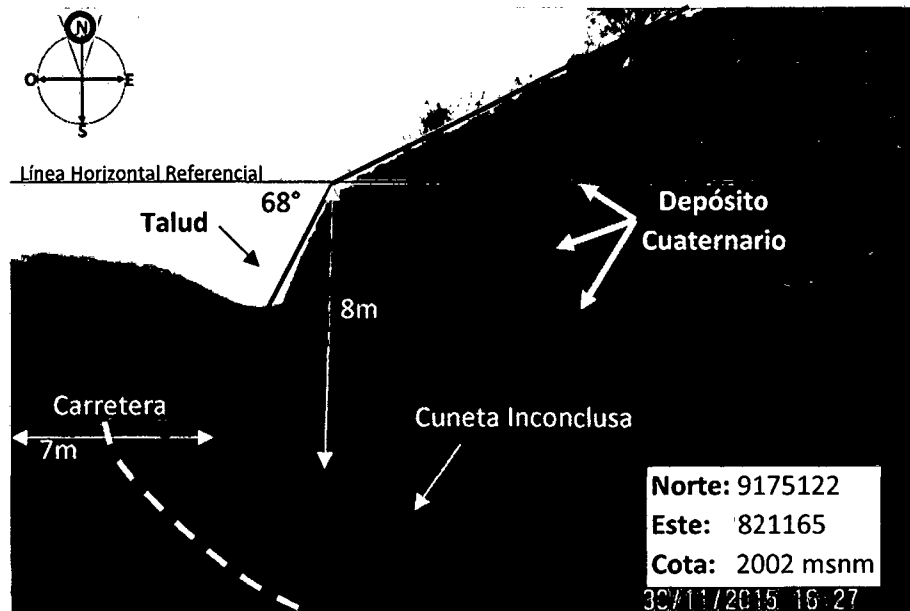


Figura 39. Depósitos cuaternarios que conforman el talud de la Estación 01.

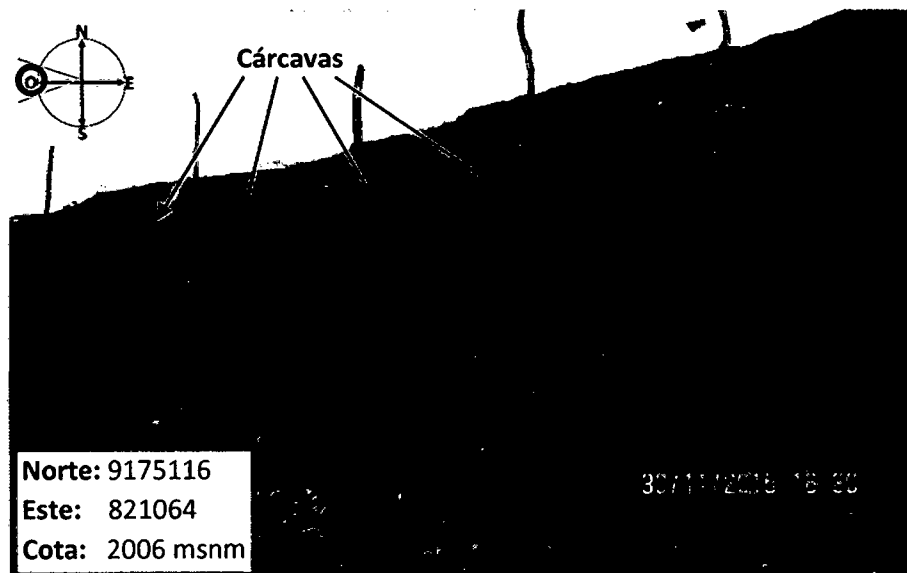


Figura 40. Cárcavas originadas por la escorrentía del agua proveniente de las precipitaciones.

Para la clasificación de los depósitos cuaternarios de esta estación, se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de Lambe y Whitman citado por González de Vallejo et al. 2004, y la tabla de Parámetros Característicos del Suelo desarrollado en el curso aplicado a cimentaciones por José María Rodríguez y Jesús Serrad Tuesta.

Según lo indicado el tipo de suelo correspondería a una mezcla de gravas y arenas envueltas en limos y arcillas, que corresponden a la combinación GM-GC, tal como se observa en la Figura 41, asimismo según los parámetros característicos del suelo tendría un peso específico entre 19 y 23 KN/m³, el ángulo de fricción entre 30° y 38° y la cohesión entre 1 y 30 KN/m².

Identificación en el campo (examinando las cantidades mayores de 7.6 cm y separando las fracciones en platos calibrados)		Símbolo del grupo	Nombre(s) típicos		
<p>Suelos de grano grueso: más de la mitad del peso seco retenido por el tamiz N.º 200 y menos de 5% retenido por el tamiz N.º 400.</p> <p>Arenas: más de la mitad de la fracción gruesa pesa por el tamiz N.º 4.</p> <p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro.</p>	Gravas: más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fración fina no plástica (para la identificación ver el grupo <i>ML</i> más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo <i>CL</i> más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla
	Arenas: más de la mitad de la fracción gruesa pesa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo <i>ML</i> más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo <i>CL</i> más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas

Figura 41. Clasificación de los depósitos coluvio-aluviales de la Estación 01. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.

Factor de seguridad en Slide en tensiones totales

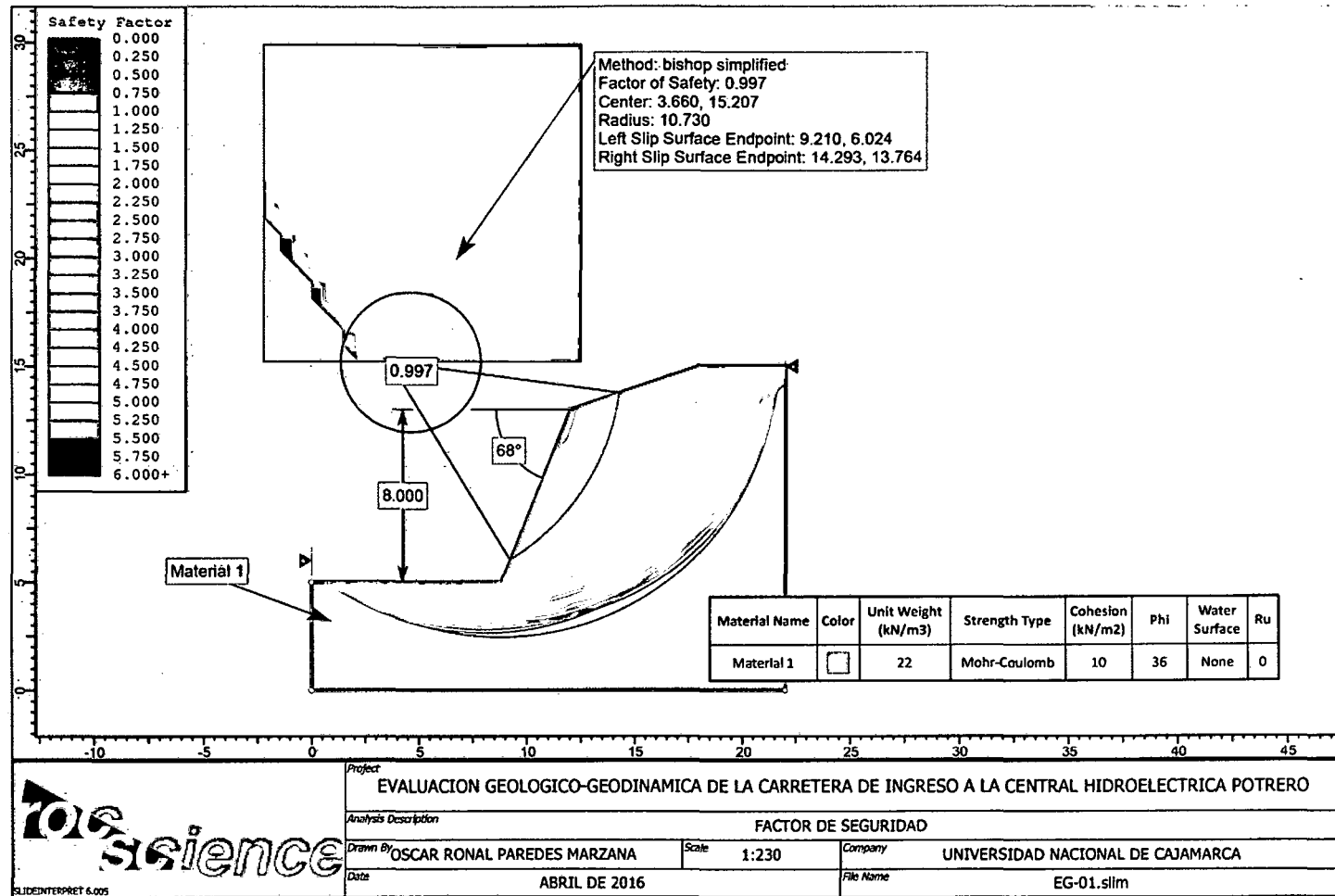


Figura 42. Geometria del talud en Slide de la Estación 01, FS=0.997.

4.4.2. Estación Geomecánica 02

Inicia en la progresiva 4+500 y abarca hasta la progresiva 5+100. Consta de lutitas negras con algunos estratos de areniscas que toman coloraciones rojizas y verdosas por contaminación superficial. Los pocos estratos de areniscas alcanzan espesores de 2 metros, predominando las lutitas fisibles que hacen que el talud sea débil a la erosión en presencia de lluvias, principalmente en los meses entre noviembre y abril. El ángulo de talud oscila entre 33° a 50° , con una altura de talud que va desde 15 hasta 30 metros.

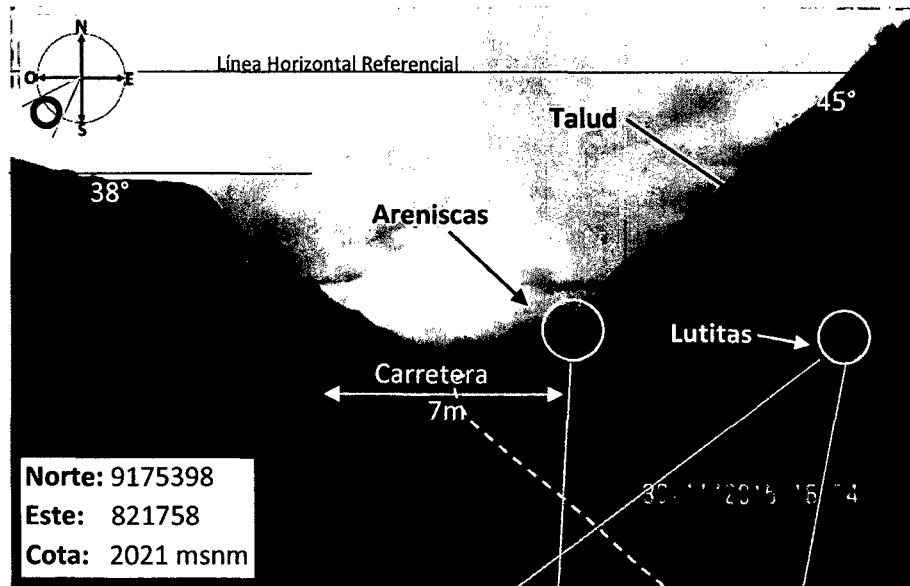


Figura 43. Geometría del talud en la Estación 02

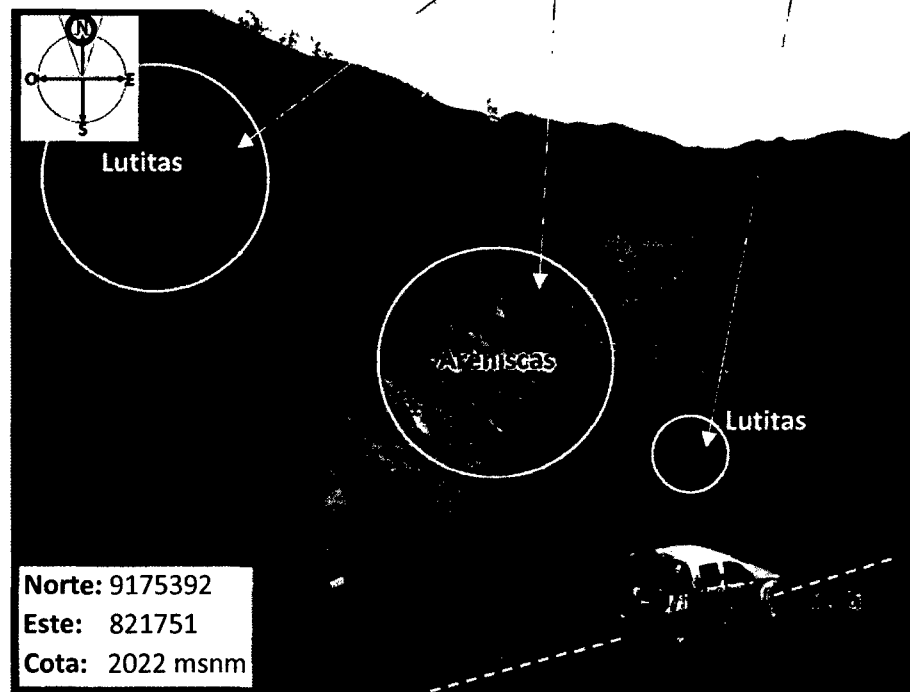


Figura 44. Lutitas negras y areniscas rojizas que conforman el talud de la Estación 02.

Características del medio geológico en el programa RocData

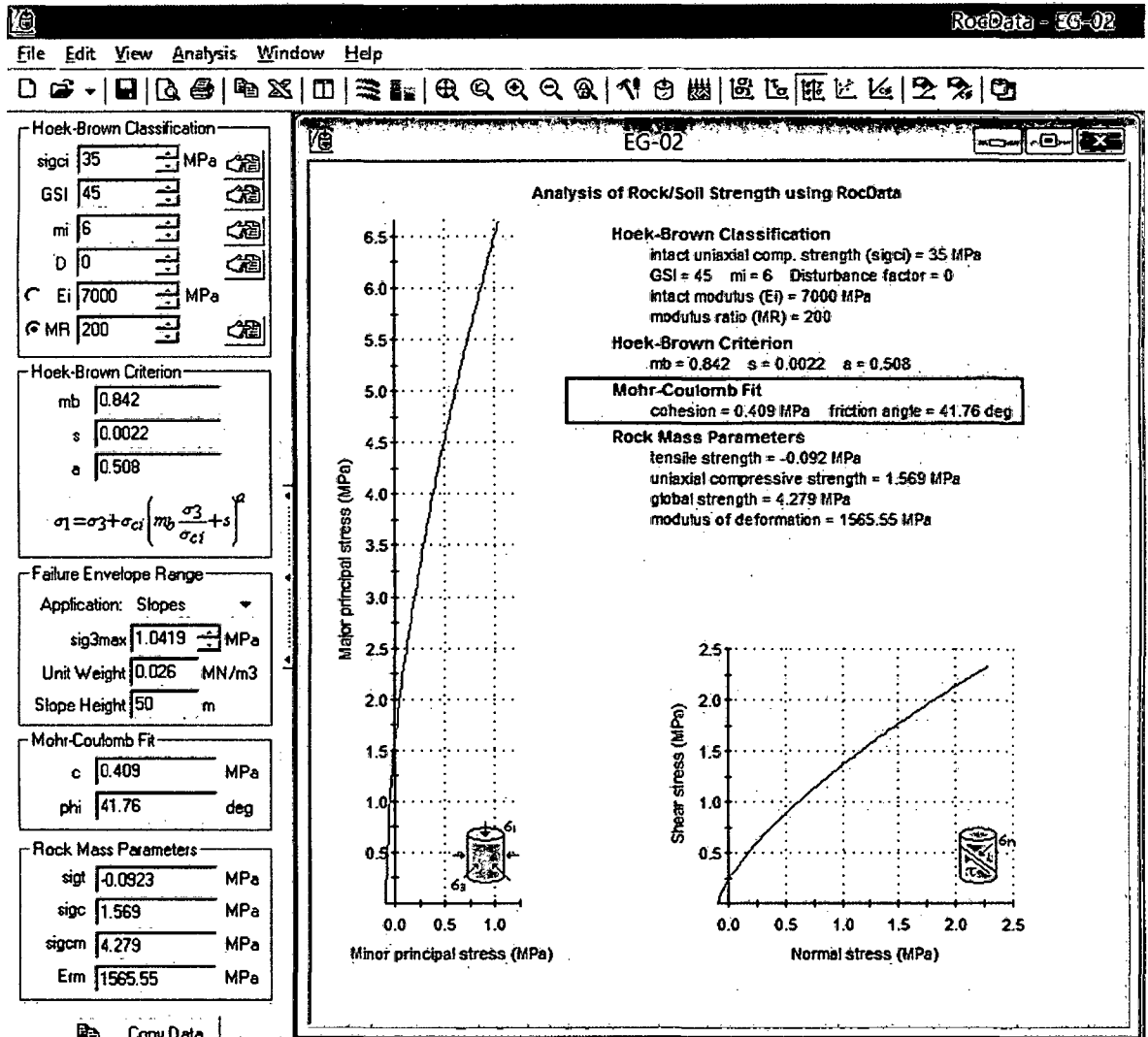


Figura 45. Datos en RocData de la Estación 02, cohesión=0.409 MPa y ángulo de fricción=41.76°.

Factor de seguridad en Slide en tensiones totales

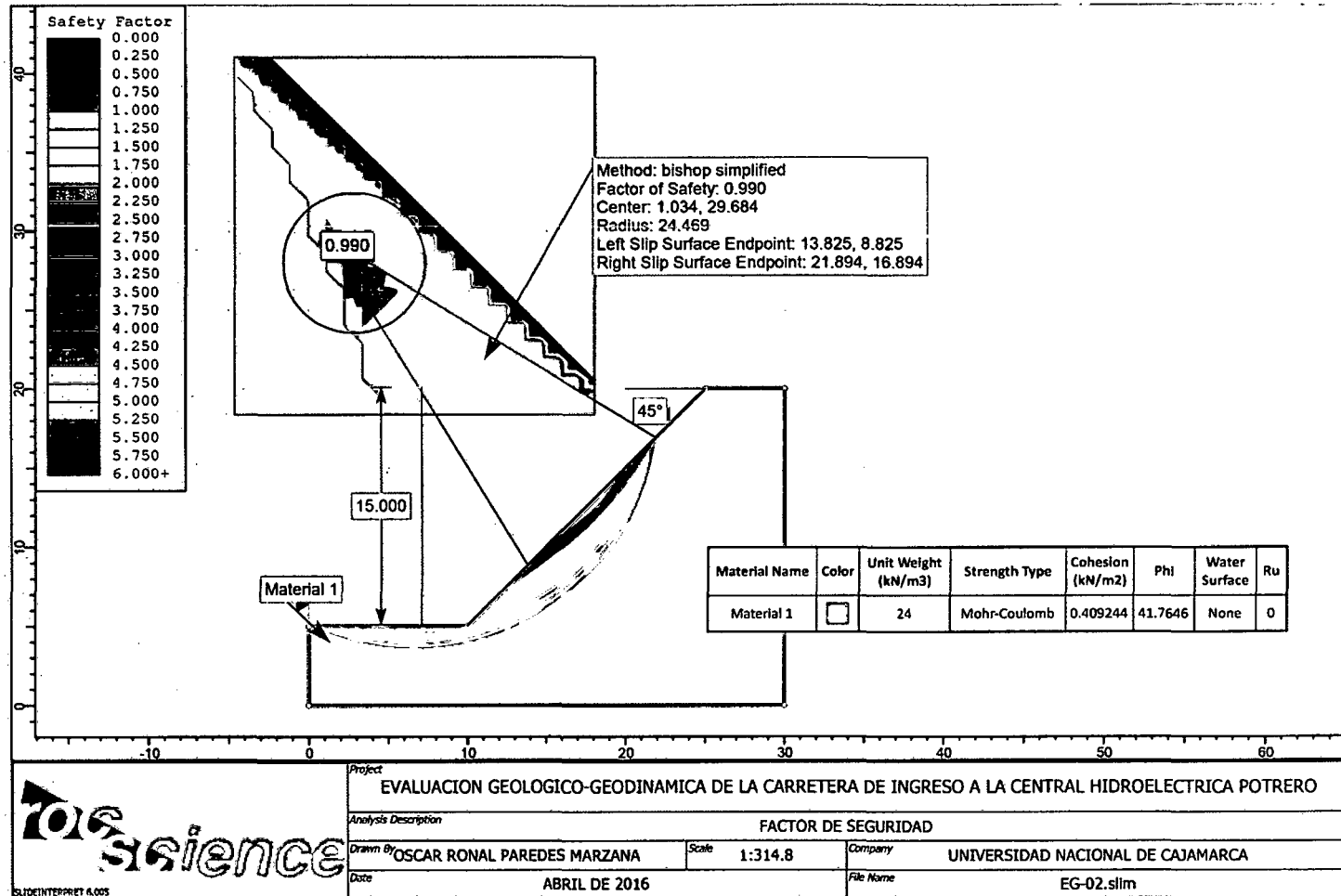


Figura 46. Geometría y análisis en Slide de la Estación 02, FS=0.990 en tensiones totales.

4.4.3. Estación Geomecánica 03

Inicia en la progresiva 5+100 y abarca hasta la progresiva 5+460. Consta de pequeños estratos de lutitas negras, limolitas, con intercalaciones de areniscas rojizas que presentan fracturamiento medio, sin embargo, los pocos metros de altura del talud (7 a 8 m) ofrecen buenas condiciones de estabilidad, y con la predominancia de las areniscas hace que el talud sea estable. El ángulo de talud es de 56° .

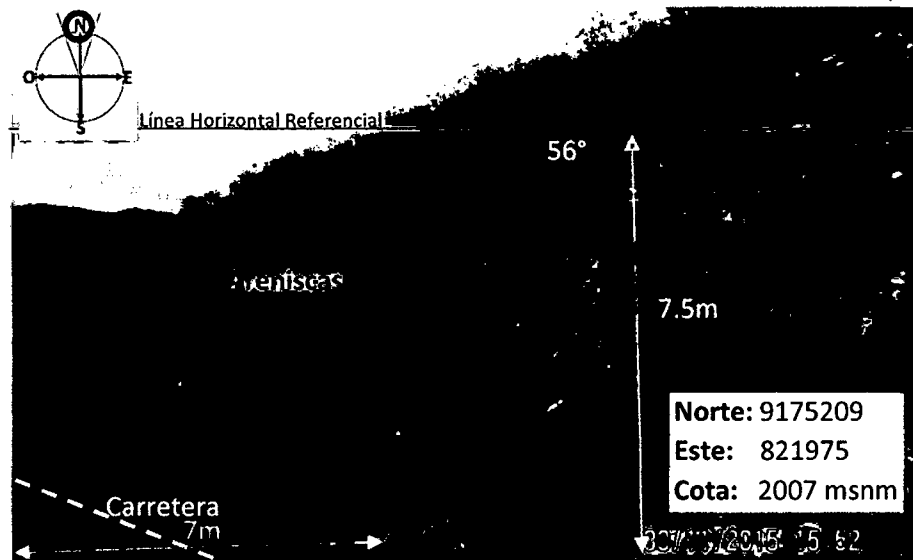


Figura 47. Areniscas rojizas de la Formación Chicama que conforman el Talud en la Estación 03.

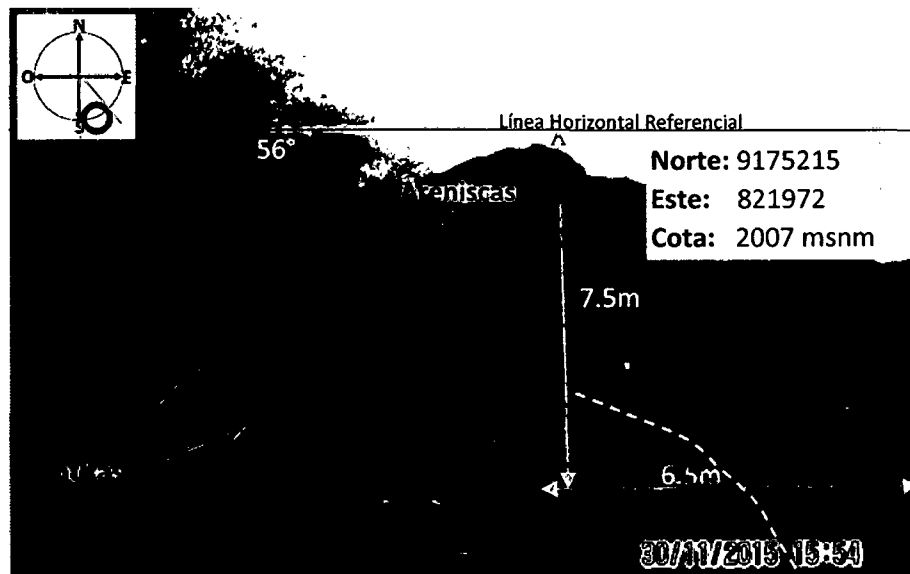


Figura 48. Lutitas negras de la Formación Chicama en la progresiva 5+420.

Características del medio geológico en el programa RocData

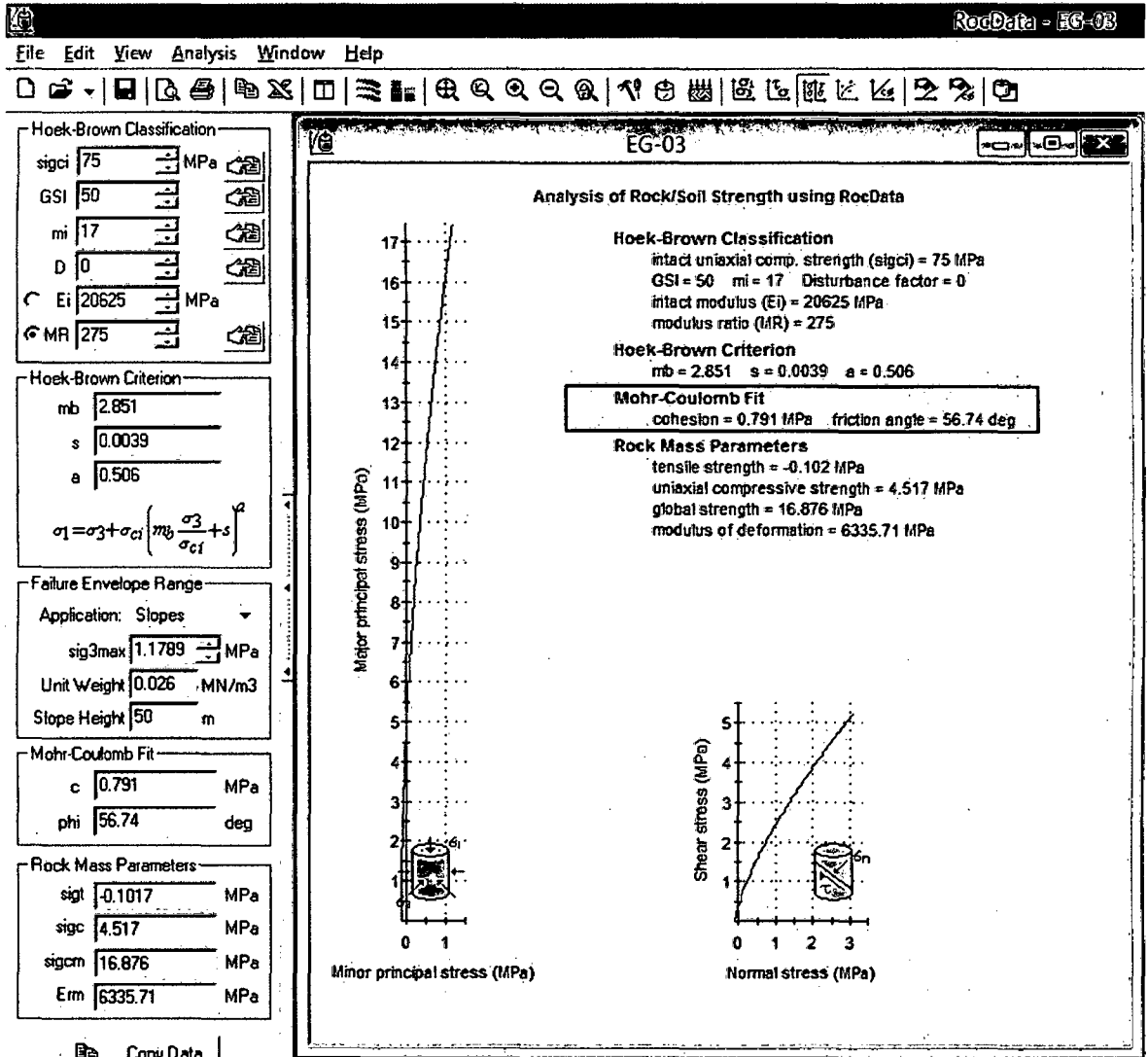


Figura 49. Datos en RocData de la Estación 03, cohesión=0.791 MPa y ángulo de fricción=56.74°

Factor de seguridad en Slide en tensiones totales

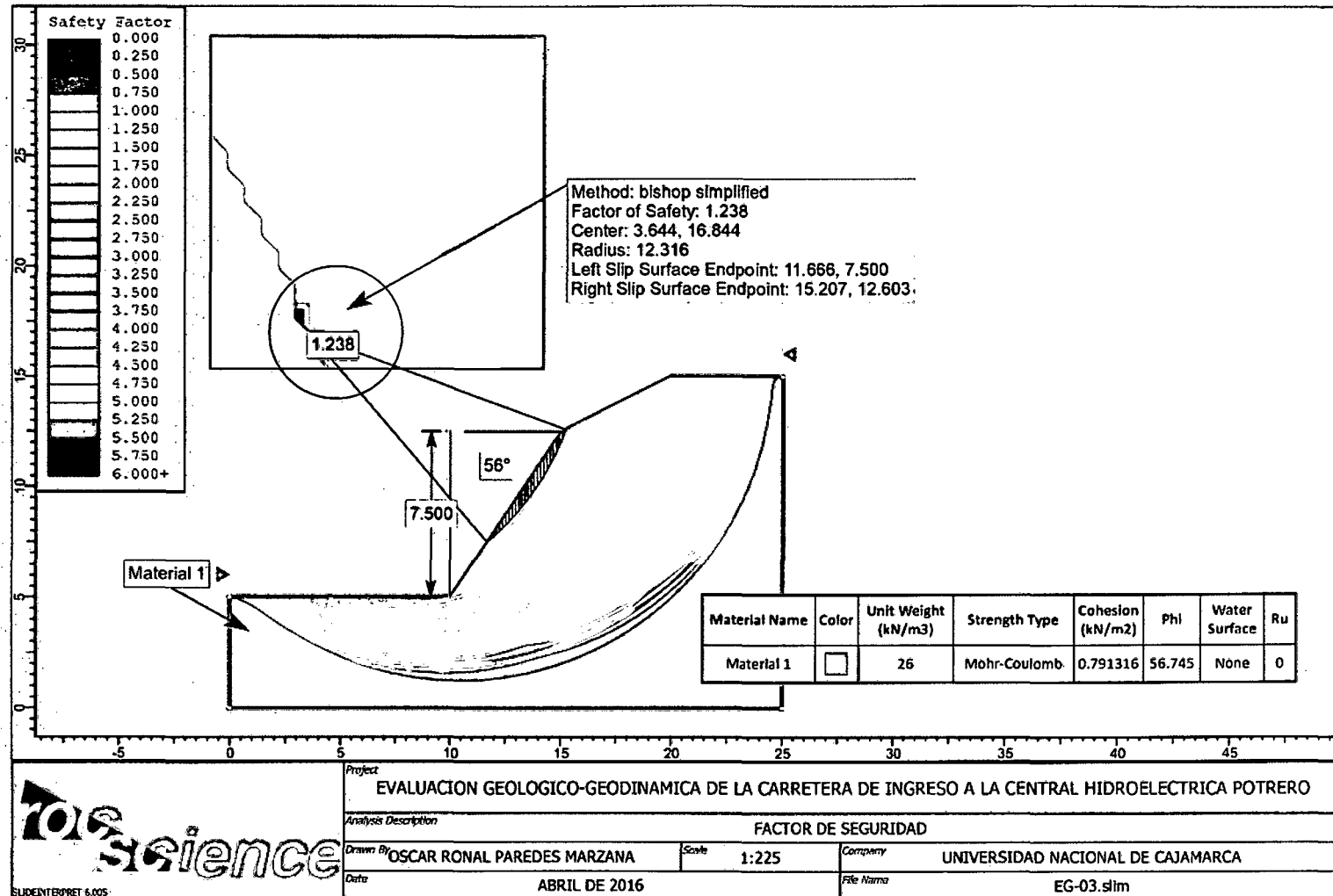


Figura 50. Geometría y análisis en Slide de la Estación 03, FS=1.238.en tensiones totales.

4.4.4. Estación Geomecánica 04

Inicia en la progresiva 5+460 y abarca hasta la progresiva 5+850. Consta de lutitas negras, con intercalaciones de limolitas y areniscas rojizas que presentan fracturamiento medio. El ángulo de talud es de 50° y la altura de talud oscila desde 15 hasta 30 metros en algunos tramos.

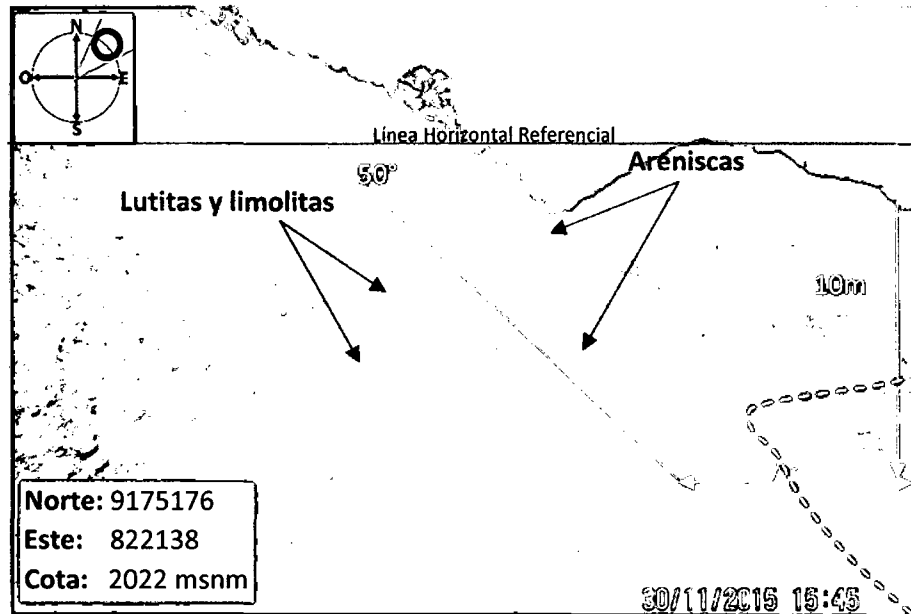


Figura 51. Geometría del talud de la Estación 04 en la progresiva 5+660.

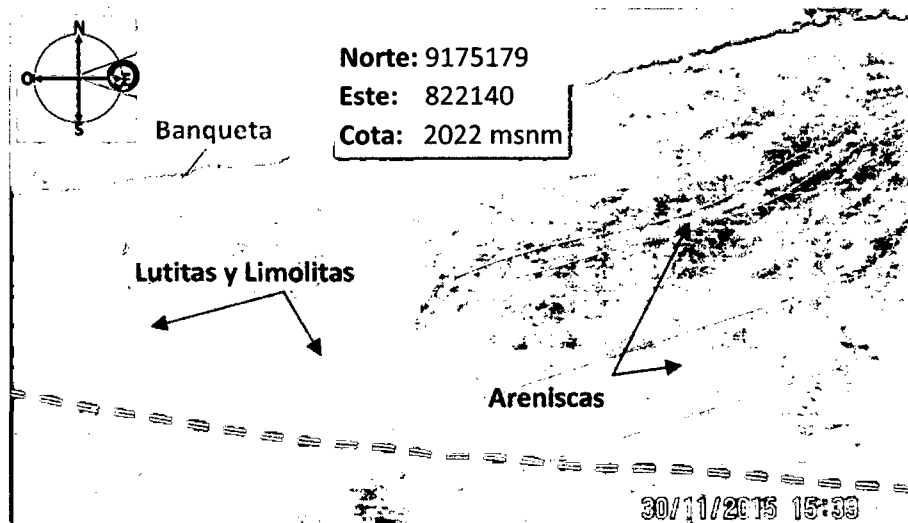


Figura 52. Intercalación de lutitas, limolitas y areniscas de diferente espesor que forman parte de la Estación 04 en la progresiva 5+670.

Características del medio geológico en el programa RocData

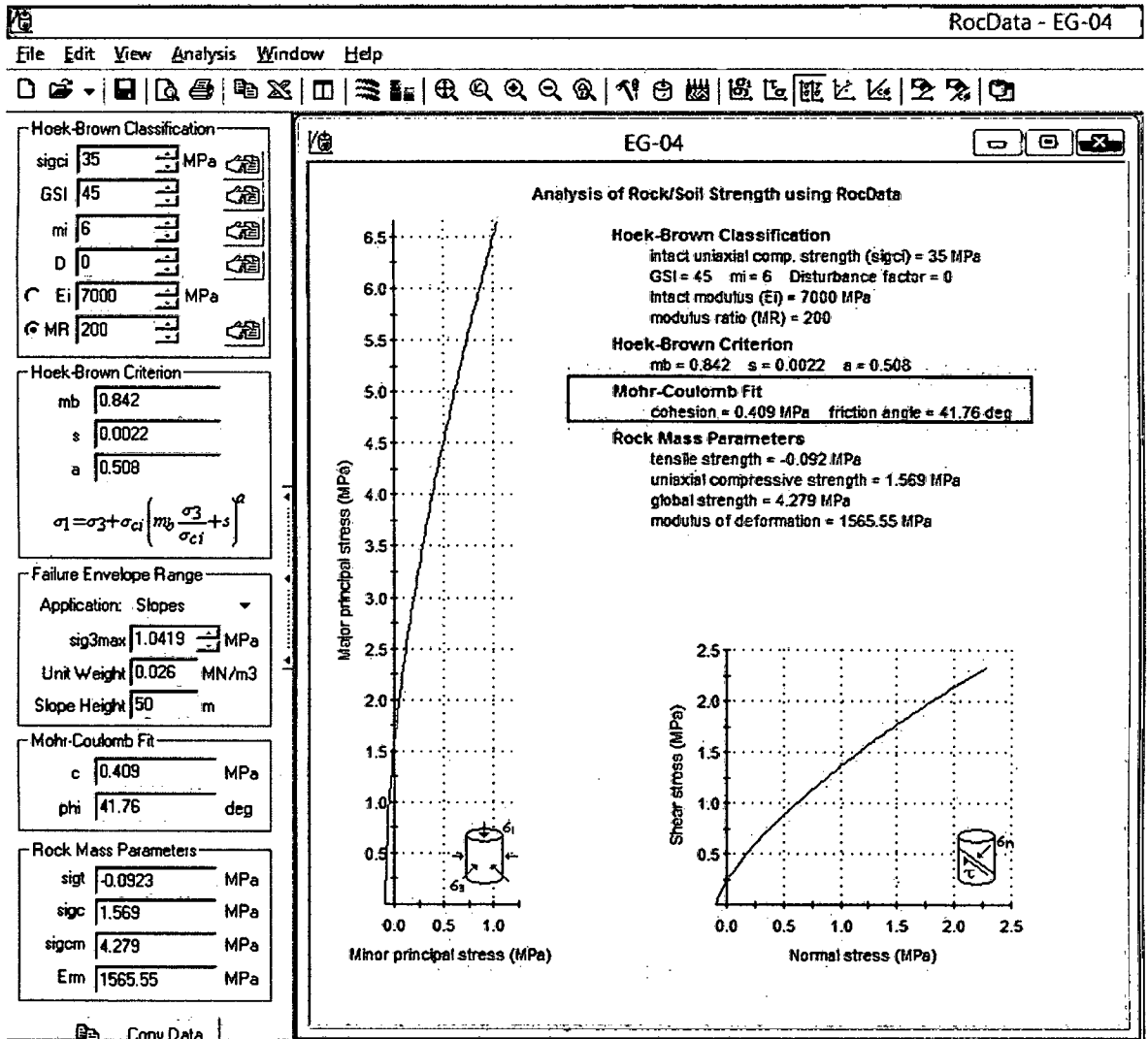


Figura 53. Datos en RocData de la Estación 04, cohesión=0.409 MPa y ángulo de fricción=41.76°.

Factor de seguridad en Slide en tensiones totales.

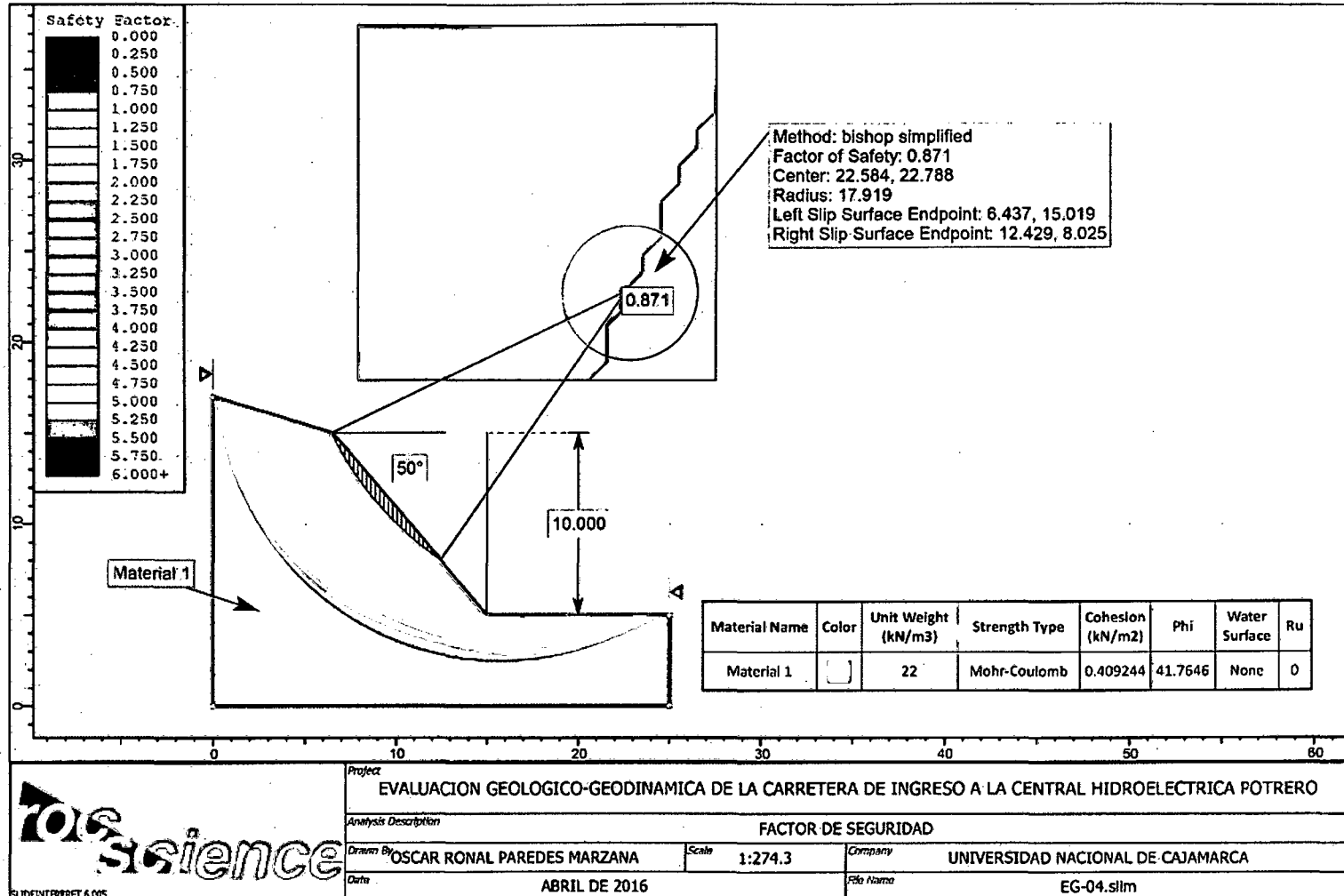


Figura 54. Geometría y análisis en Slide de la Estación 04, FS=0.871 en tensiones totales.

4.4.5. Estación Geomecánica 05

Inicia en la progresiva 5+850 y abarca hasta la progresiva 6+280. Está conformada por depósitos coluviales, arcillas rojizas, areniscas, lutitas y fragmentos andesíticos. El ángulo de talud es de 60° y tiene una altura que oscila entre 5 a 8 metros en diversos tramos. Debido a la altura y la litología el talud está en condiciones estables.

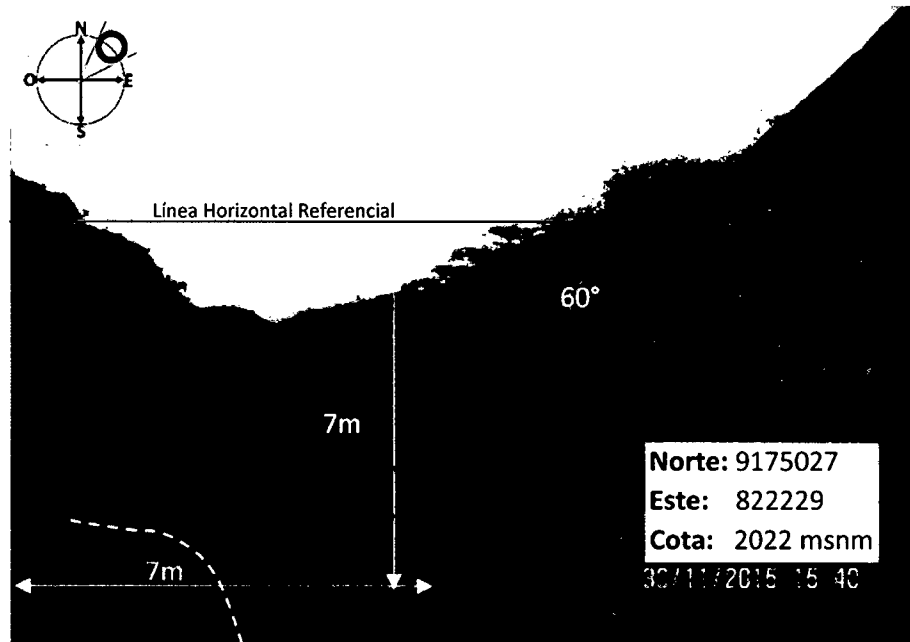


Figura 55. Geometría del talud de la Estación 05.

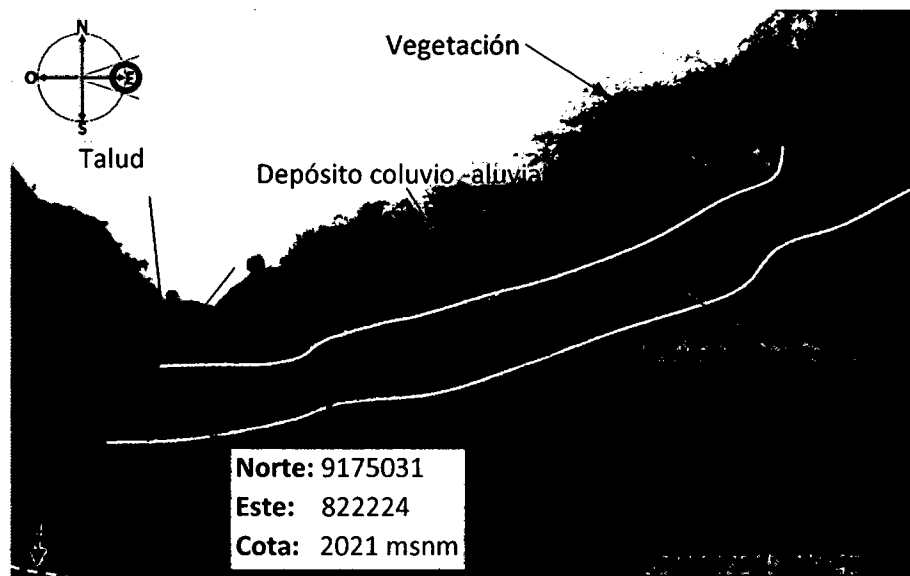


Figura 56. Condiciones litológicas de la Estación 05.

Para la clasificación de los depósitos cuaternarios de esta estación, se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de Lambe y Whitman citado por González de Vallejo et al. 2004, y la tabla de Parámetros Característicos del Suelo desarrollado en el curso aplicado a cimentaciones por José María Rodríguez y Jesús Serrad Tuesta.

Según lo indicado el tipo de suelo correspondería a una mezcla de gravas y arenas envueltas en limos y arcillas, que corresponden a la combinación GM-GC, tal como se observa en la Figura 57, asimismo según los parámetros característicos del suelo tendría un peso específico entre 18 y 23 KN/m³, un ángulo de fricción entre 28° y 40° y una cohesión entre 1 y 30 KN/m².

Clasificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando en las fracciones en peso siguientes)		Símbolo del grupo	Nombre típico	
<p>Si el suelo es grueso (más de la mitad del tamaño de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 200) o si el suelo es fino (menor que la mitad del tamaño de la fracción gruesa) es equivalente a medio centímetro)</p> <p>Gravas más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4</p> <p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro)</p>	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos
	Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos
	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Fración fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo
		Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
		Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
		Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
		Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas

Figura 57. Clasificación de los depósitos coluviales de la Estación 05. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.

Para el análisis en Slide se consideraron dos tipos de materiales correspondiendo el primero al depósito coluvial que se asignó un peso específico de 24 KN/m³, un ángulo de fricción de 38° y una cohesión de 8 KN/m²; mientras que al segundo material conformado por estratos de lutitas se consideró un peso específico de 24 KN/m³, un ángulo de fricción de 40 y una cohesión de 12 KN/m².

Análisis de estabilidad en Slide

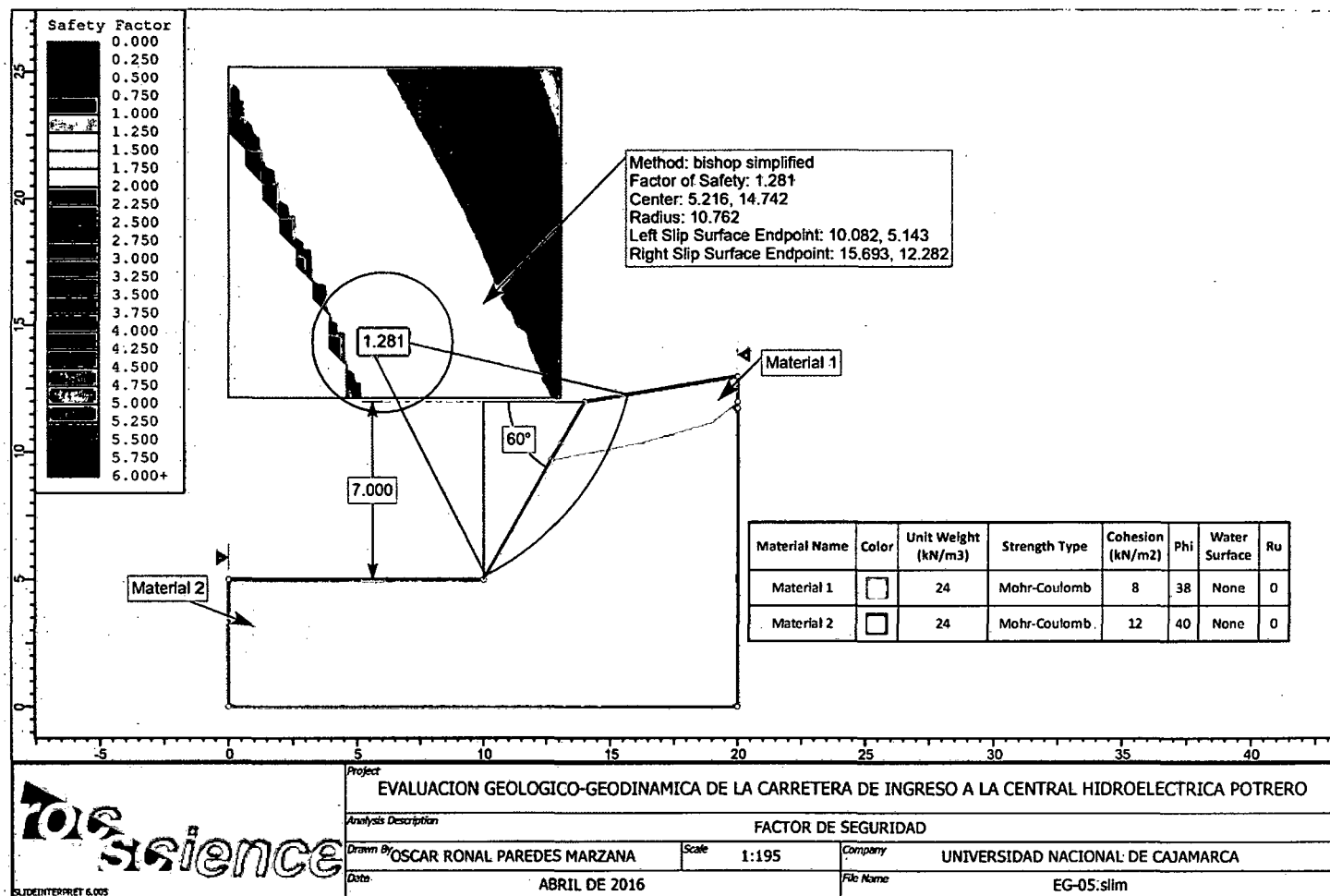


Figura 58. Geometría y análisis en Slide de la Estación 05, FS=1.281 en tensiones totales.

4.4.6. Estación Geomecánica 06

Inicia en la progresiva 6+280 y abarca hasta la progresiva 6+400. Está conformada por depósitos coluviales (fragmentos de areniscas (Fm Chimú) y fragmentos andesíticos (Fm Chicama) en una matriz areno-arcillosa) y lutitas en similar proporción (Lutitas ~50% y depósitos coluviales ~50%), además, es evidente la presencia de un deslizamiento con un escarpe de 3.50 metros que indica la inestabilidad que presenta el talud en este tramo.

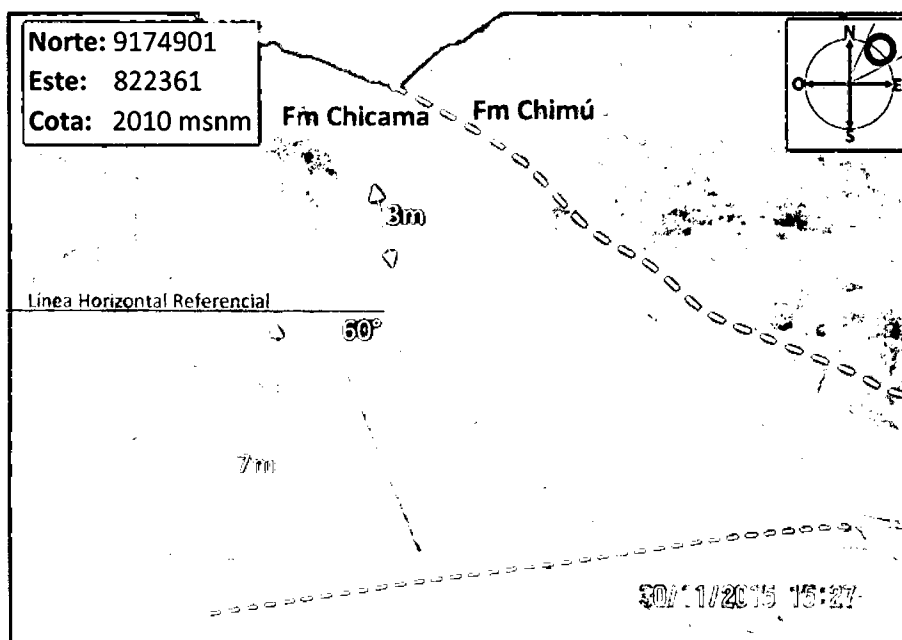


Figura 59. Deslizamiento en el talud de la Estación 06, en la progresiva 6+375. Además el contacto entre las Formaciones Chicama y Chimú.

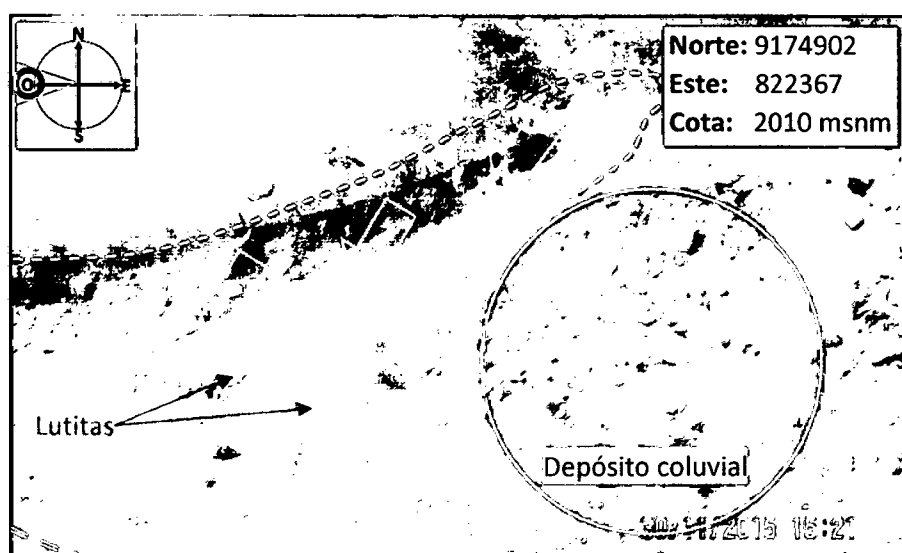


Figura 60. Litología (depósito coluvial (fragmentos polimícticos en una matriz areno-arcillosa) y lutitas de la Formación Chicama) de la Estación 06, en la progresiva 6+380.

Para la clasificación del depósito coluvial de esta estación, se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de Lambe y Whitman citado por González de Vallejo et al. 2004, y la tabla de Parámetros Característicos del Suelo desarrollado en el curso aplicado a cimentaciones por José María Rodríguez y Jesús Serrad Tuesta.

De acuerdo con lo anterior, el tipo de suelo correspondería a una mezcla de gravas y arenas envueltas en limos y arcillas, que corresponden a la combinación GM-GC, tal como se observa en la Figura 61, asimismo según los parámetros característicos del suelo tendría un peso específico entre 18 y 24 KN/m³, un ángulo de fricción entre 24° y 38° y una cohesión entre 1 y 30 KN/m².

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 75 cm y basando las fricciones en pesos (filinadas))		Símbolo del grupo	Nombre al fteo	
<p>Suelos de grano grueso: Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 200 y menos de la mitad es apreciable al simple vista.</p> <p>Arenas más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4</p> <p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro</p>	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos
	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos
	Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para la identificación ver el grupo <i>ML</i> más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo
		Finos plásticos (para identificación ver el grupo <i>CL</i> más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla
	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
		Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos
		Finos no plásticos (para identificación ver el grupo <i>ML</i> más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
		Finos plásticos (para identificación ver el grupo <i>CL</i> más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas

Figura 61. Clasificación de los depósitos coluviales de la Estación 06. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.

Para el análisis en Slide se consideraron dos tipos de materiales correspondiendo el primero al depósito coluvial que se asignó un peso específico de 21 KN/m³, un ángulo de fricción de 34° y una cohesión de 5 KN/m²; mientras que al segundo material conformado por lutitas se consideró un peso específico de 24 KN/m³, un ángulo de fricción de 40° y una cohesión de 8 KN/m².

Análisis de estabilidad en Slide

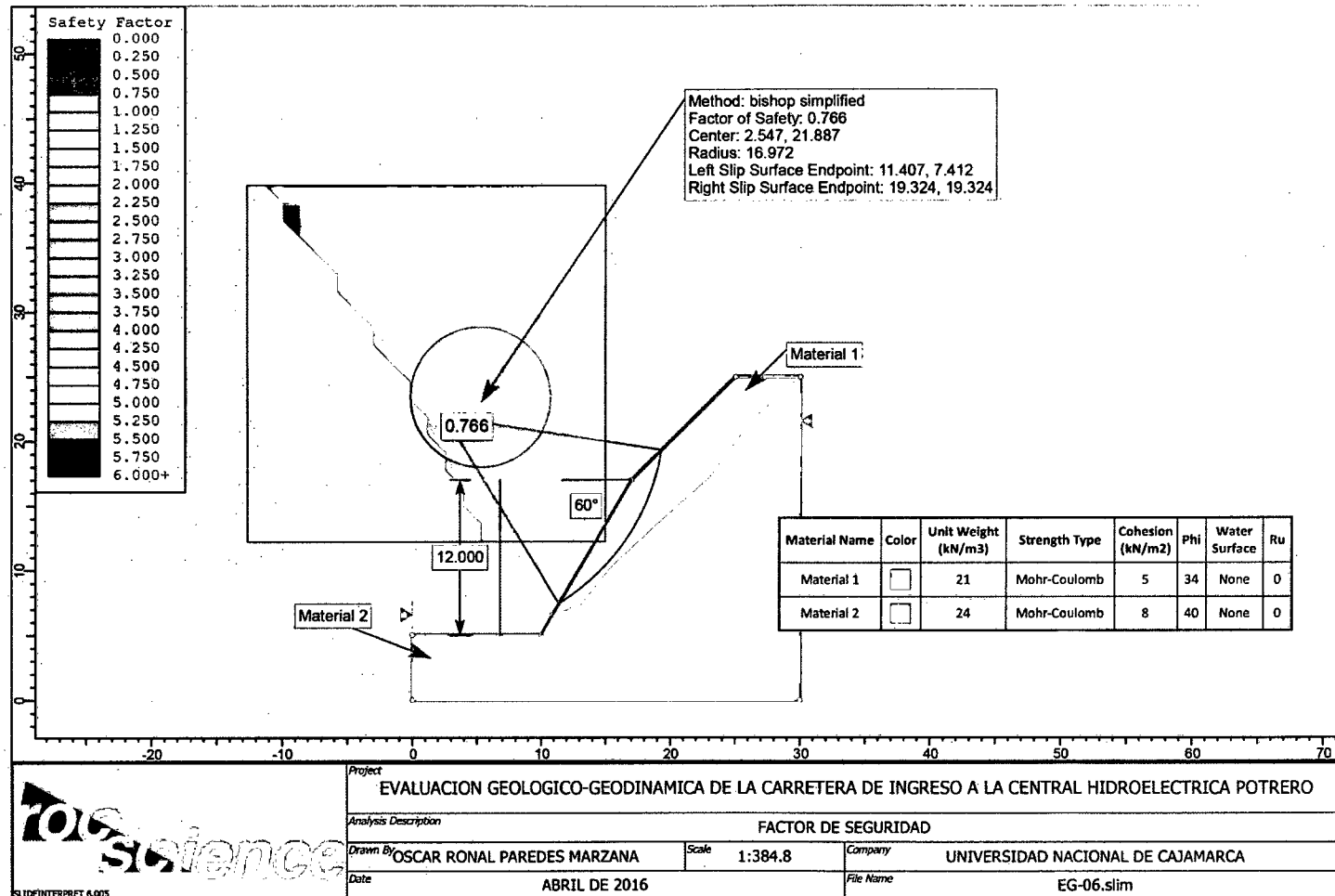


Figura 62. Geometría y análisis en Slide de la Estación 06, FS=0.766 en tensiones totales.

4.4.7. Estación Geomecánica 07

Inicia en la progresiva 6+400 y abarca hasta la progresiva 6+520. Consta de depósitos coluviales con ~60% de finos y ~40% de gravas. El ángulo de talud oscila entre 41° y 45° con una altura desde 35 metros y va disminuyendo hasta los 9 metros hacia la progresiva 6+400. Por las condiciones litológicas y el mal drenaje en la parte superior de talud es de fácil de sufrir erosión, tal como se evidencia en cárcavas formadas por el agua de escorrentía de las precipitaciones, también se encuentran escarpes de pequeños deslizamientos del talud porque el material que conforma parte del talud no está consolidado.

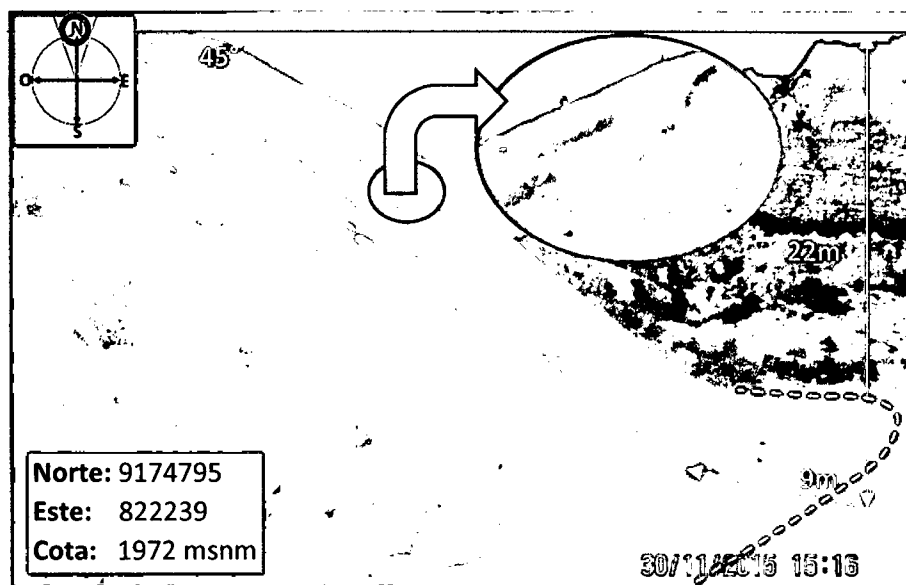


Figura 63. Geometría y litología (depósito coluvial) del talud de la Estación 07 en la progresiva 6+520.

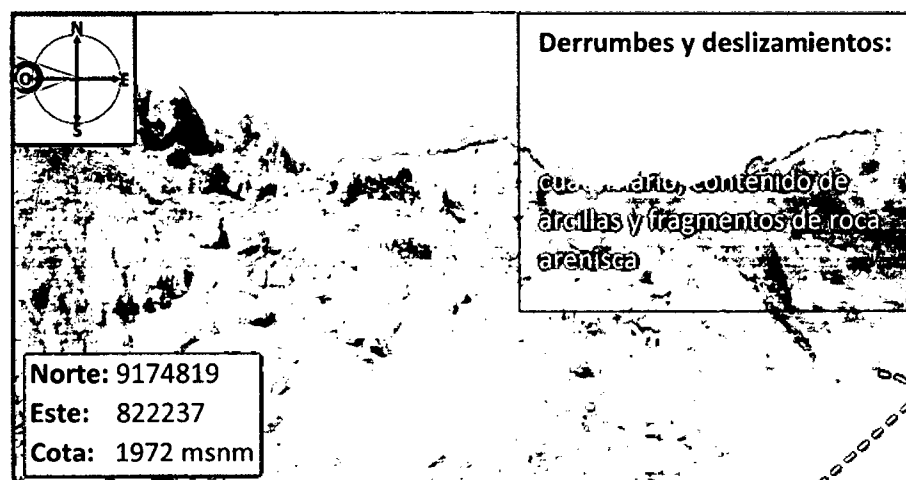


Figura 64. Depósito coluvial, teniendo como base lutitas de la Formación Chicama y por la baja cohesión se observa que el talud se ha desestabilizado ocasionando derrumbes en la progresiva 6+450.

Para la clasificación del depósito coluvial de esta estación, se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de Lambe y Whitman citado por González de Vallejo et al. 2004, y la tabla de Parámetros Característicos del Suelo desarrollado en el curso aplicado a cimentaciones por José María Rodríguez y Jesús Serrad Tuesta.

De acuerdo con lo indicado, el tipo de suelo correspondería a una mezcla de gravas y arenas envueltas en limos y arcillas, que corresponden a la combinación triple GM-GC-SW, tal como se observa en la Figura 65, asimismo según los parámetros característicos del suelo tendría un peso específico entre 18 y 22 KN/m³, un ángulo de fricción entre 25° y 42° y una cohesión entre 1 y 30 KN/m².

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 75 cm y basando en fracciones en pesos (Tabla 6.1))		Simbolo del grupo	Nombre tipo						
<p>Suelos de grupo grueso: Más de 50% de la mitad del tamaño de la fracción gruesa (por el tamiz N.º 200) que pasa por el tamiz N.º 400.</p> <p>Suelos de grupo fino: Menos de 50% de la mitad del tamaño de la fracción gruesa (por el tamiz N.º 200) que pasa por el tamiz N.º 400.</p>	<p>Gravas más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4</p>	<p>Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)</p>	<p>Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios</p>	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos				
		<p>Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)</p>	<p>Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios</p>	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos				
	<p>Arenas más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4</p>	<p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro</p>	<p>Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)</p>	<p>Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)</p>	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo			
				<p>Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)</p>	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla			
		<p>Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)</p>	<p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro</p>	<p>Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)</p>	<p>Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios</p>	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
					<p>Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios</p>	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
				<p>Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)</p>	<p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro</p>	<p>Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)</p>	<p>Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)</p>	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
							<p>Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)</p>	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas

Figura 65. Clasificación de los depósitos coluviales de la Estación 07. Fuente: González de Vallejo et al. 2004.

Para los análisis en Slide, los valores asignados a este depósito son, un peso específico de 19 KN/m³, un ángulo de fricción de 41° y una cohesión de 12 KN/m².

Análisis de estabilidad en Slide

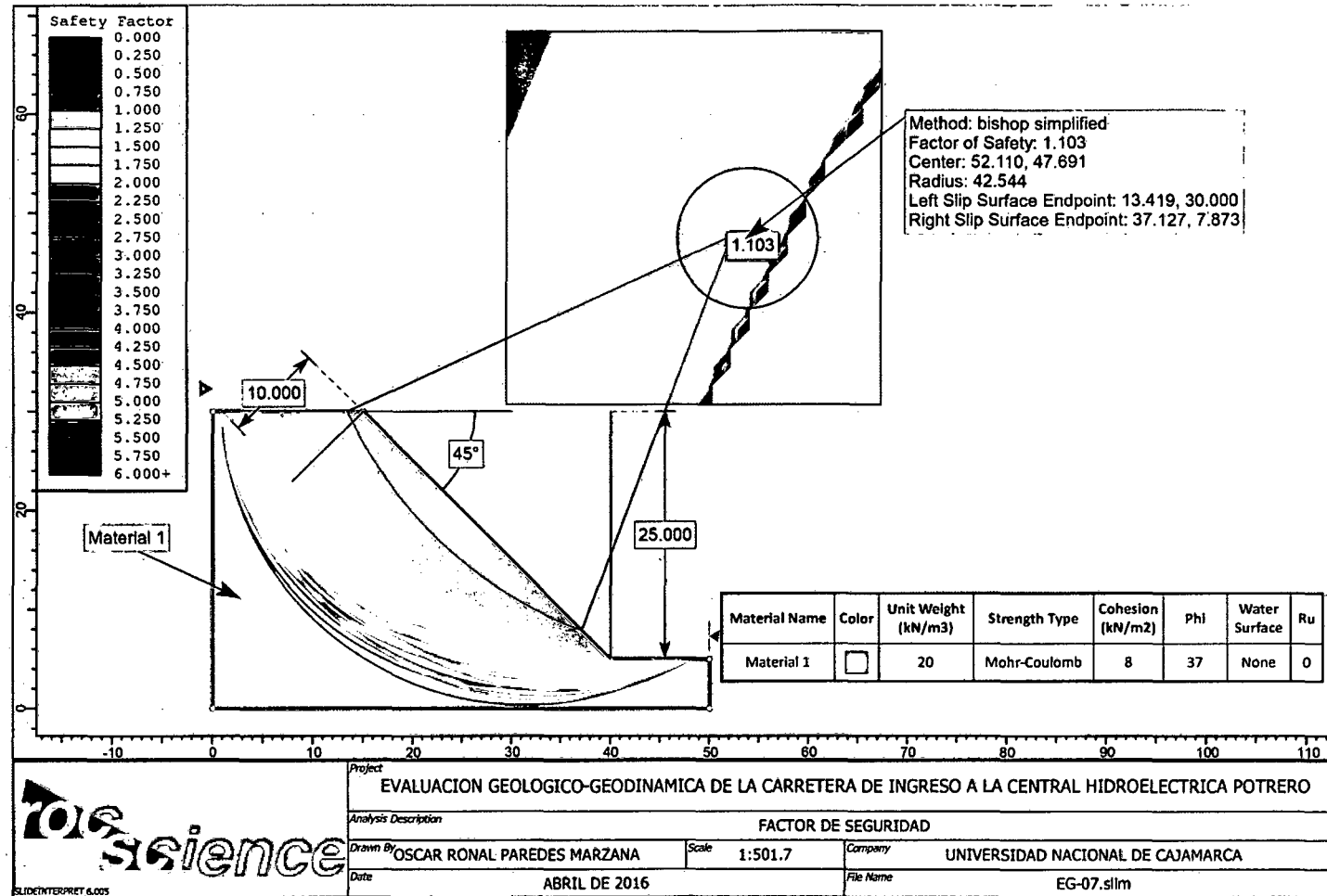


Figura 66. Geometria y análisis en Slide de la Estación 07, FS=1.103 en tensiones totales.

4.4.8. Estación Geomecánica 08

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 0+380 y 0+450 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas muy fracturadas y moderadamente meteorizadas. El talud tiene una altura de 10 metros.

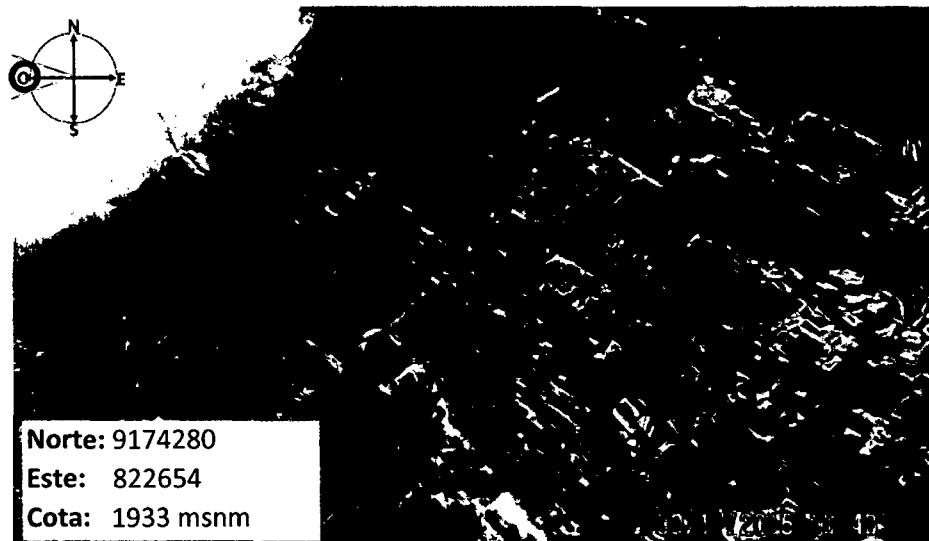


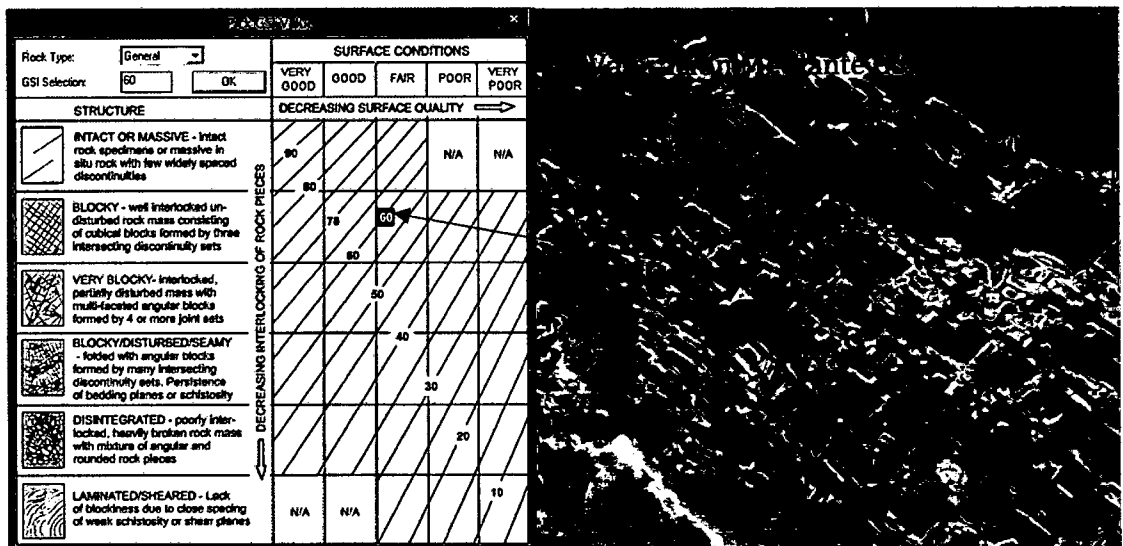
Figura 67. Afloramiento rocoso de areniscas grises en la EG-08.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloque irregular de arenisca de grano medio, color gris, superficie ligeramente rugosa, no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Moderadamente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debido a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R3
	Descripción	Moderadamente Resistente
	Identificación de campo	Necesita sólo un golpe firme con martillo de geólogo para fracturarse.
	Resistencia a la compresión (MPa)	25 - 50

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	45	83	51
	DD	102	183	329
RESISTENCIA		R3	R3	R3
RQD		79.43	79.43	79.43
ESPACIADO (m)		0.52	0.9	0.58
PERSISTENCIA (m)		25	6	0.5
ABERTURA (mm)		> a 5	> a 5	> a 5
RUGOSIDAD		Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P / σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	65
GSI	60
TIPO DE MACIZO ROCOSO	II
CALIDAD DE LA ROCA	Buena
RQD	79.43
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	65

Datos en RocData

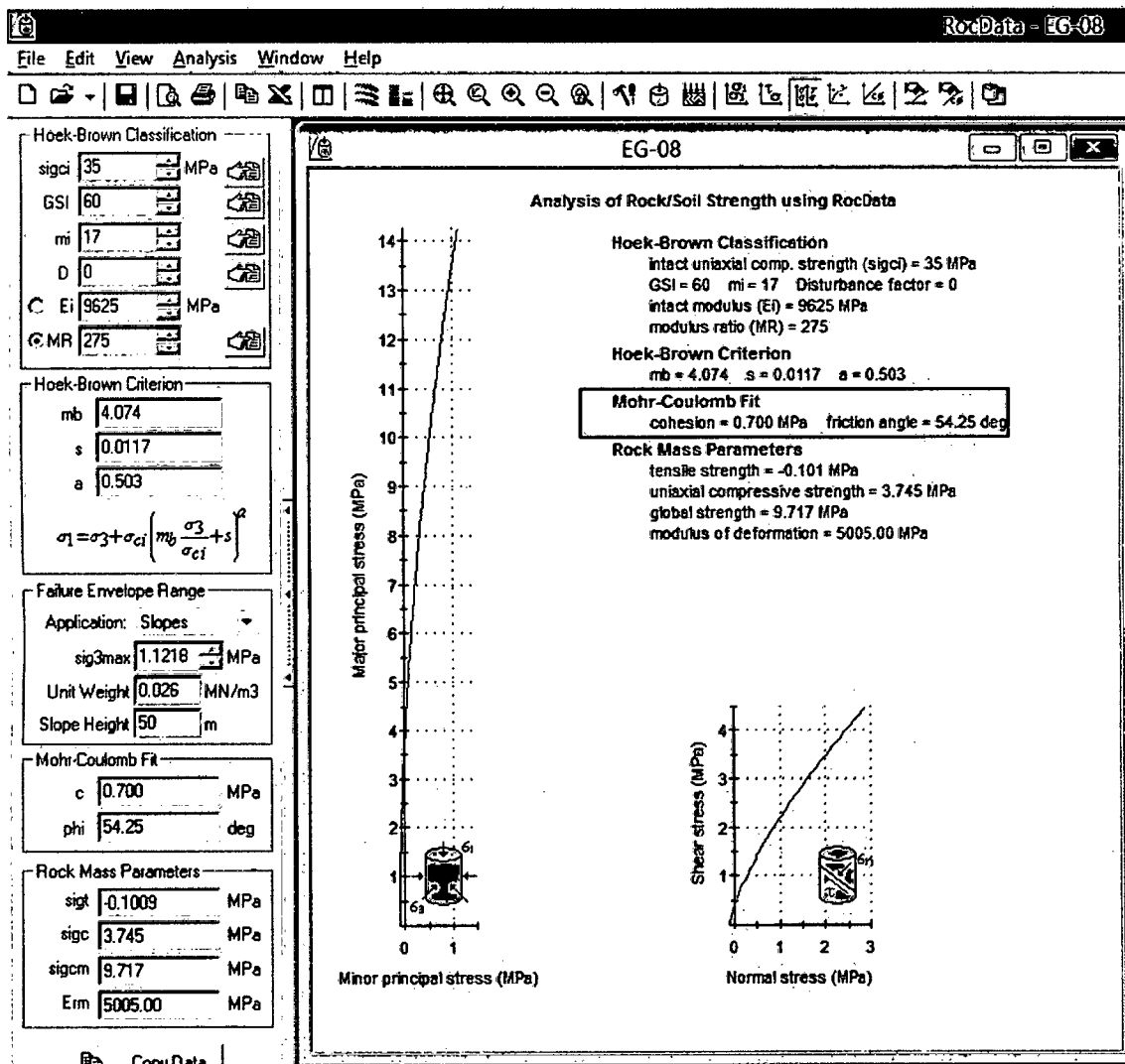


Figura 68. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.9. Estación Geomecánica 09

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 0+950 y 0+975 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blancas con fracturamiento medio, levemente meteorizadas. El talud tiene una altura de 5 metros.

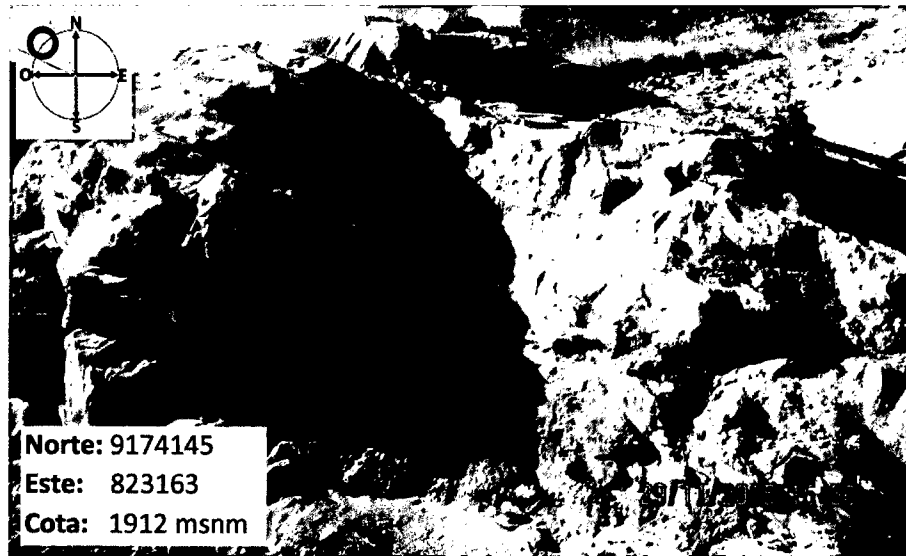


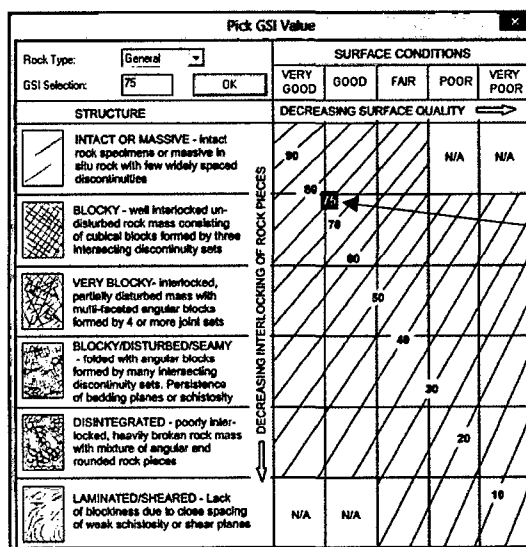
Figura 69. Afloramiento de areniscas en la EG-09.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloque regular de litología arenisca de grano medio, color pardo- amarillento, superficie rugosa, no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R4
	Descripción	Resistente
	Identificación de campo	Necesita más de un golpe fuerte con martillo de geólogo para fracturarse.
	Resistencia a la compresión (MPa)	50 - 100

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	36	75	66
	DD	100	34	64
RESISTENCIA		R4	R4	R4
RQD		94.37	94.37	94.37
ESPACIADO (m)		1.4	2.8	3.9
PERSISTENCIA (m)		25	12	8
ABERTURA (mm)		< a 0.1	< a 0.1	< a 0.1
RUGOSIDAD		Muy Rugosa	Rugosa	Muy Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Lig. Alterada	Lig. Alterada	Lig. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2		RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3		Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P /σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	84
GSI	75
TIPO DE MACIZO ROCOSO	I
CALIDAD DE LA ROCA	Muy Buena
RQD	94.37
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	80

Datos en RocData

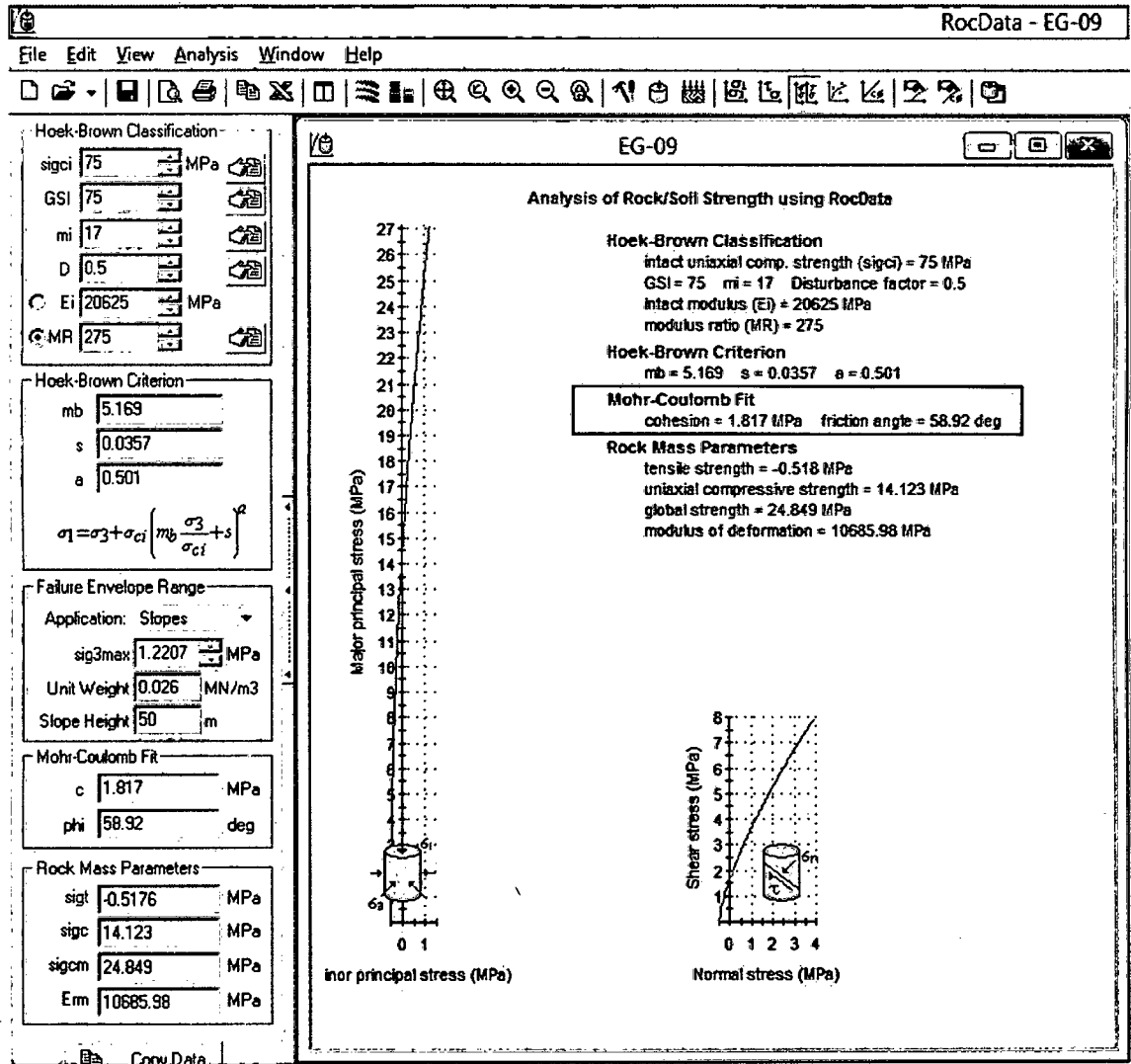


Figura 70. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.10. Estación Geomecánica 10

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 0+975 y 1+005 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blanco-grisáceas con grado alto fracturamiento, moderadamente meteorizadas. El talud tiene una altura de 7 metros.

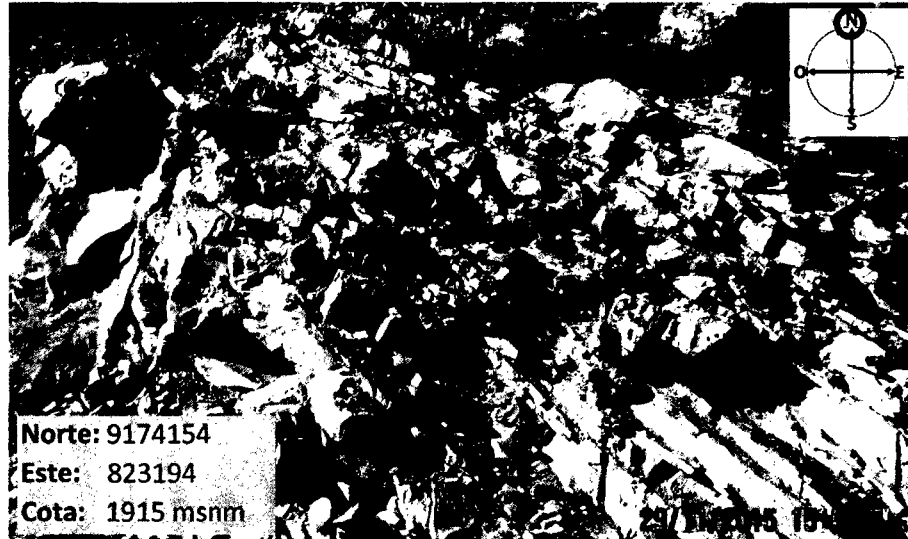


Figura 71. Afloramiento de las areniscas en la EG-10.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloques irregulares de areniscas de grano medio, color blanco - grisáceo, superficie rugosa, no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R4
	Descripción	Resistente
	Identificación de campo	Necesita más de un golpe fuerte con martillo de geólogo para fracturarse.
	Resistencia a la compresión (MPa)	50 - 100

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	37	73	74
	DD	100	192	341
RESISTENCIA		R4	R4	R4
RQD		63.39	63.39	63.39
ESPACIADO (m)		0.4	1.2	2.5
PERSISTENCIA (m)		25	4	5
ABERTURA (mm)		1,0 - 5,0	< a 0.1	< a 0.1
RUGOSIDAD		Rugosa	Rugosa	Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Lig. Alterada	Lig. Alterada	Lig. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 – 0,6 m	60 – 20 cm	20 – 6cm	< 6 cm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P /σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS				
Rock Type:	General	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection:	65					
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70	60			
	VERY BLOCKY - Interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	50	40			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	30	20			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			20		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

Valoración Mediante GSI



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	73
GSI	65
TIPO DE MACIZO ROCOSO	II
CALIDAD DE LA ROCA	Buena
RQD	63.39
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	70

Datos en RocData

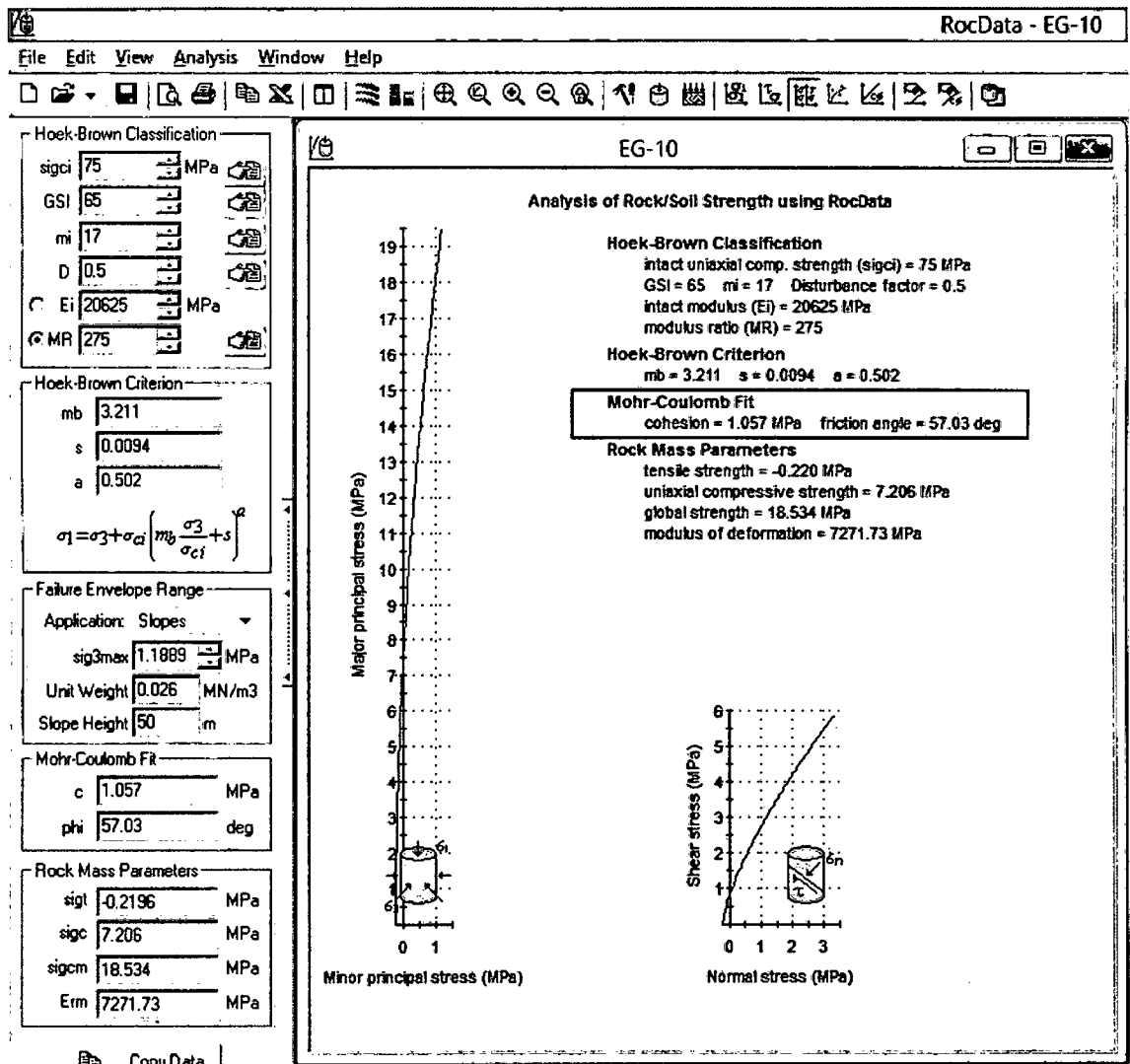


Figura 72. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.11. Estación Geomecánica 11

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 1+006 y 1+035 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blancas con grado bajo de fracturamiento, levemente meteorizadas. El talud tiene una altura de 13 metros.

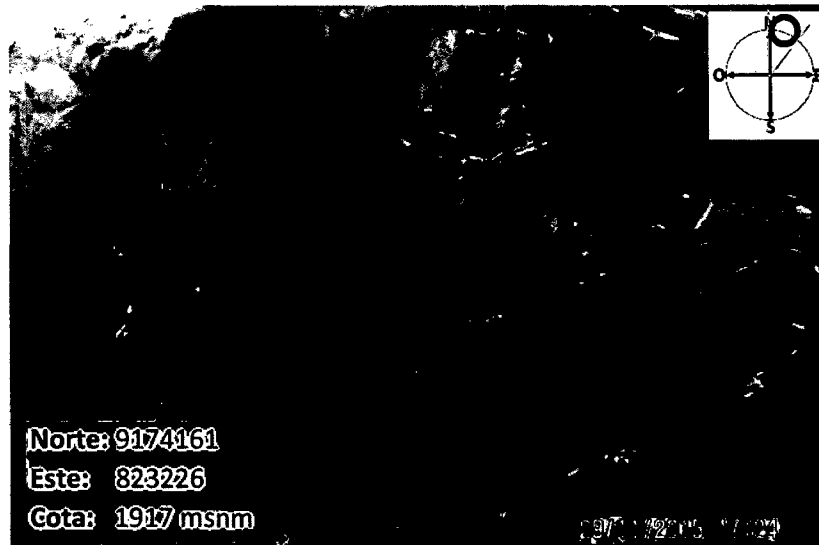


Figura 73. Afloramiento de areniscas con pátinas de óxidos en la EG-11, en la progresiva 1+020.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloques irregulares de areniscas de grano medio, color blanco superficie rugosa, no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R5
	Descripción	Muy Resistente
	Identificación de campo	Necesita varios golpes con martillo de geólogo para fracturarse.
	Resistencia a la compresión (MPa)	100 - 250

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	40	74	76
	DD	108	30	18
RESISTENCIA		R5	R5	R5
RQD		98.76	98.76	98.76
ESPACIADO (m)		> a 2	> a 2	> a 2
PERSISTENCIA (m)		25	5	5
ABERTURA (mm)		< a 0.1	< a 0.1	No Tiene
RUGOSIDAD		Muy Rugosa	Rugosa	Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Lig. Alterada	Lig. Alterada	Lig. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2		RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3		Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P /σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Rock Type	GSI Software	SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - Intact rock, blocky or massive to cubi rock with few widely spaced discontinuities	80	70	N/A	N/A	
	BLOCKY - well blocky un-disrupted rock mass consisting of equiaxed blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70	60	50	40	30
	VERY BLOCKY - Intact, partially disrupted mass with rounded and angular blocks formed by 4 or more joint sets	60	50	40	30	20
	BLOCKY TO FINE GRAINED - Intact to regular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	50	40	30	20	10
	DISINTEGRATED - poorly intact, highly fractured rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	40	30	20	10	
	LAMINATED/DISHEARED - Loss of blockiness due to close spacing of weak schistosity or other planes	N/A	N/A			10

Valoración Mediante GSI



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	90
GSI	85
TIPO DE MACIZO ROCOSO	I
CALIDAD	Muy Bueno
RQD	98.76
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	90

Datos en RocData

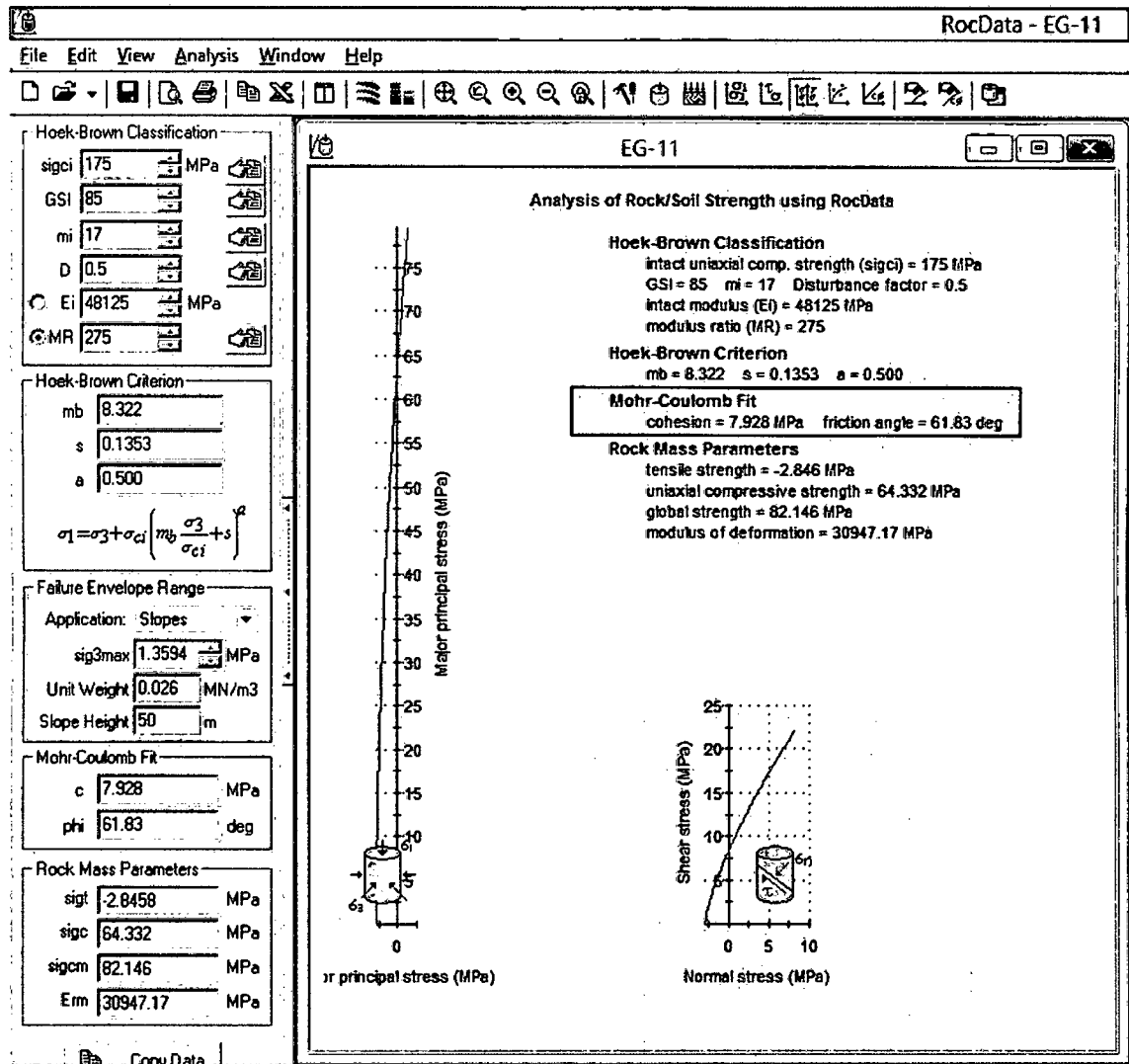


Figura 74. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.12. Estación Geomecánica 12

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 1+045 y 1+215 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blancas con bajo grado de fracturamiento, levemente meteorizadas. El talud tiene una altura de 18 metros.

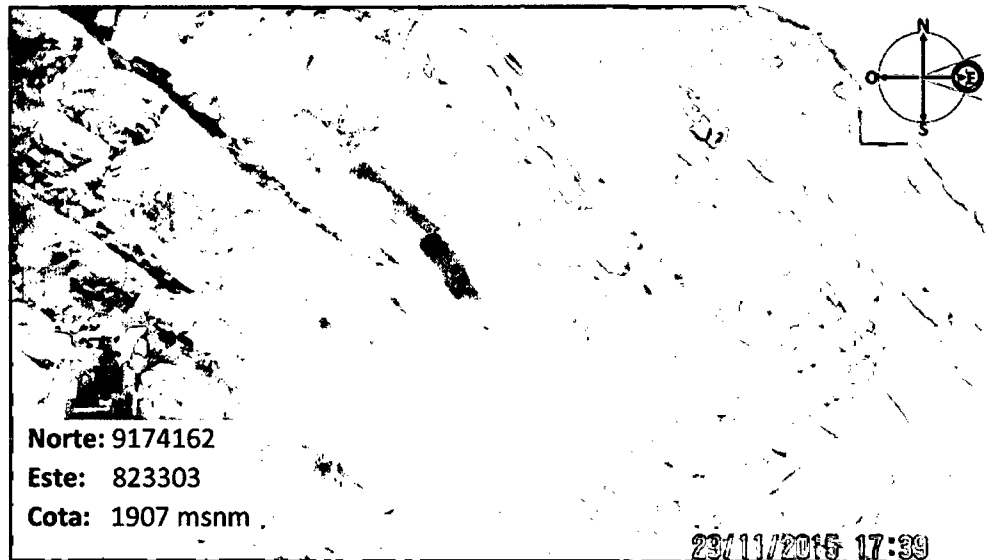


Figura 75. Afloramiento de areniscas blancas en la EG-12, en la progresiva 1+125.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloques irregulares de areniscas blancas de grano medio a grueso, con superficie rugosa y no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R5
	Descripción	Muy Resistente
	Identificación de campo	Necesita varios golpes con martillo de geólogo para fracturarse.
	Resistencia a la compresión (MPa)	100 - 250

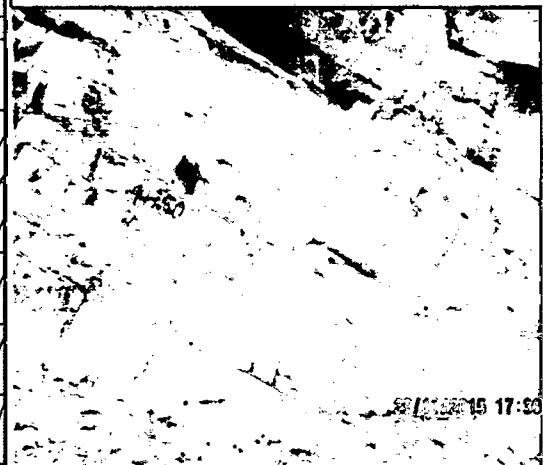
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	34	76	75
	DD	124	221	345
RESISTENCIA		R5	R5	R5
RQD		98.56	98.56	98.56
ESPACIADO (m)		> a 2	> a 2	> a 2
PERSISTENCIA (m)		25	15	15
ABERTURA (mm)		No Tiene	No Tiene	No Tiene
RUGOSIDAD		Muy Rugosa	Muy Rugosa	Muy Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Lig. Alterada	Lig. Alterada	Lig. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 – 0,6 m	60 – 20 cm	20 – 6cm	< 6 cm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P /σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Peck GSI Value		SURFACE CONDITIONS				
Rock Type: <input type="text" value="General"/>		VERY GOOD	GOOD	FAR	POOR	VERY POOR
GSI Selector: <input type="text" value="B5"/> <input type="text" value="OK"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	85	75	N/A	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	75	65	N/A	N/A	N/A
	VERY BLOCKY - Interlocked, partially disturbed masses with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	65	55	N/A	N/A	N/A
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	55	45	N/A	N/A	N/A
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	45	35	N/A	N/A	N/A
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	30	20	10

Valoración Mediante GSI



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	91
GSI	85
TIPO DE MACIZO ROCOSO	I
CALIDAD	Muy Bueno
RQD	98.56
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	90

Datos en RocData

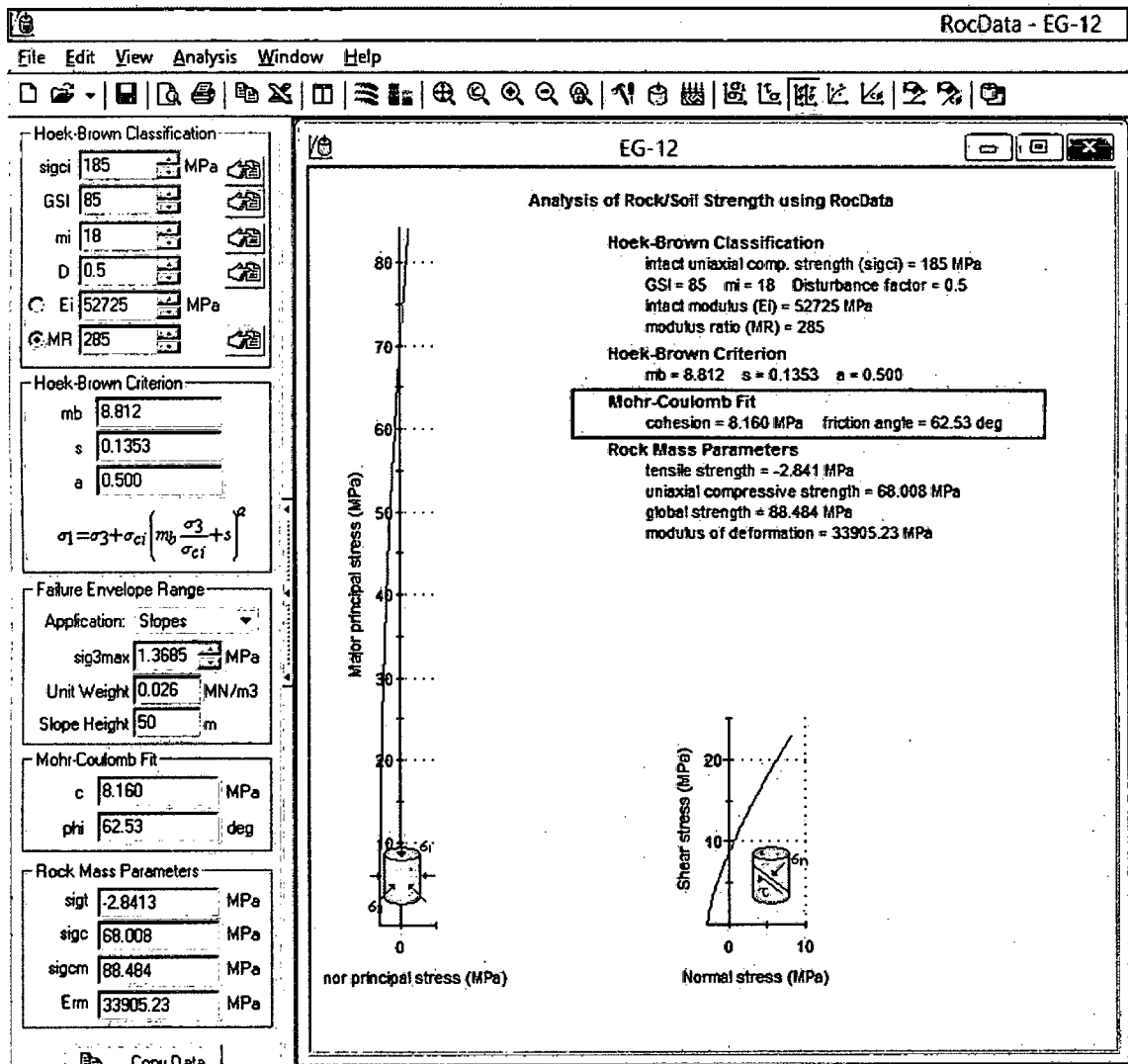


Figura 76. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.13. Estación Geomecánica 13

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 1+230 y 1+250 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blancas con grado bajo de fracturamiento, levemente meteorizadas. El talud tiene una altura de 35 metros.

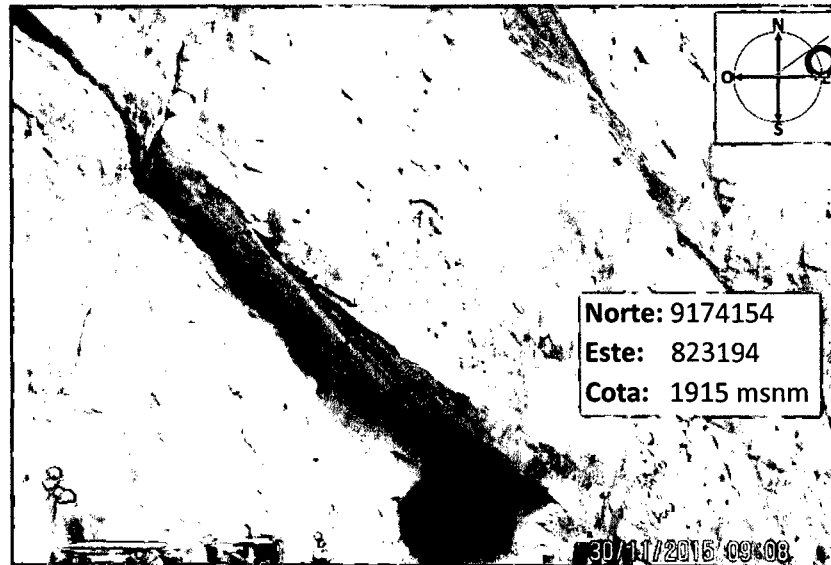


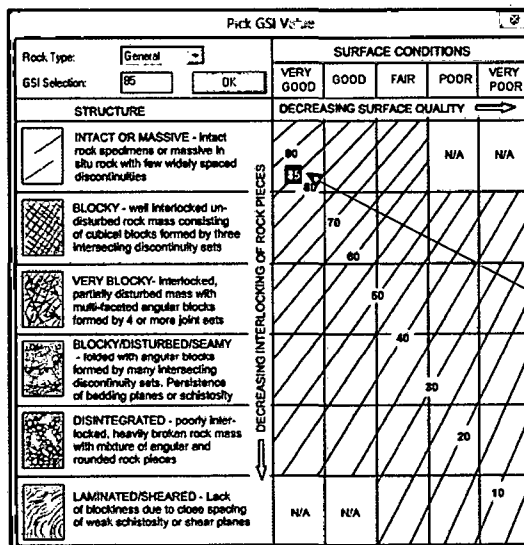
Figura 77. Afloramiento de areniscas en la entrada del túnel carretero, EG-13.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloques irregulares de areniscas de grano medio, color blanco superficie rugosa, no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R5
	Descripción	Muy Resistente
	Identificación de campo	Necesita varios golpes con martillo de geólogo para fracturarla.
	Resistencia a la compresión (MPa)	100 - 250

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	25	65	76
	DD	1103	215	360
RESISTENCIA		R5	R5	R5
RQD		99.11	99.11	99.11
ESPACIADO (m)		> a 2	> a 2	> a 2
PERSISTENCIA (m)		20	20	20
ABERTURA (mm)		No Tiene	No Tiene	No Tiene
RUGOSIDAD		Muy Rugosa	Muy Rugosa	Muy Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Lig. Alterada	Lig. Alterada	Lig. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación	20	17	13	6	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P /σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		



Valoración Mediante GSI



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	91
GSI	85
TIPO DE MACIZO ROCOSO	I
CALIDAD	Muy Bueno
RQD	99.11
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	90

Datos en RocData

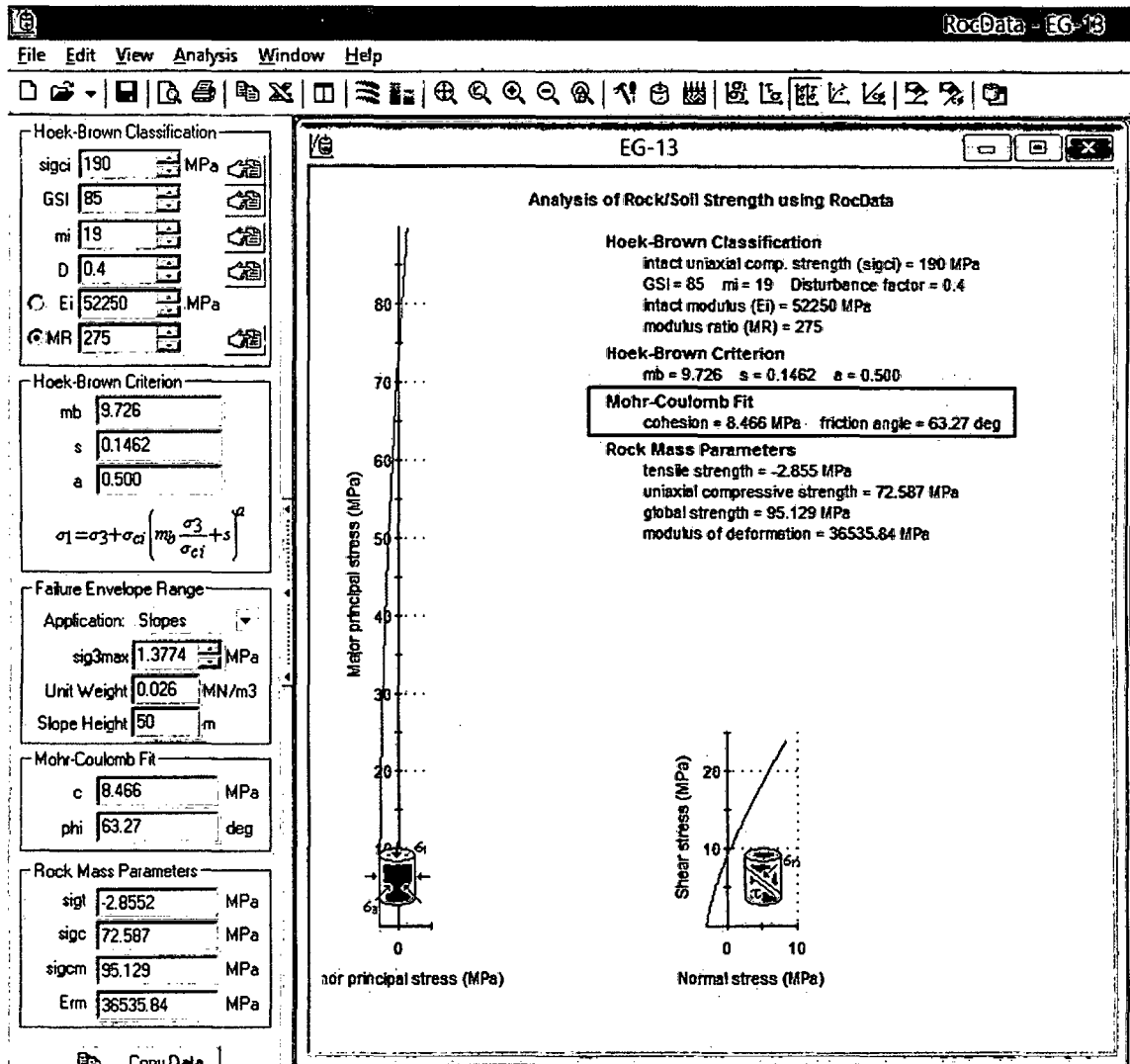


Figura 78. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.14. Estación Geomecánica 14

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 1+250 y 1+280 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blancas con bajo grado de fracturamiento, levemente meteorizadas. El talud tiene una altura de 5.5 metros.

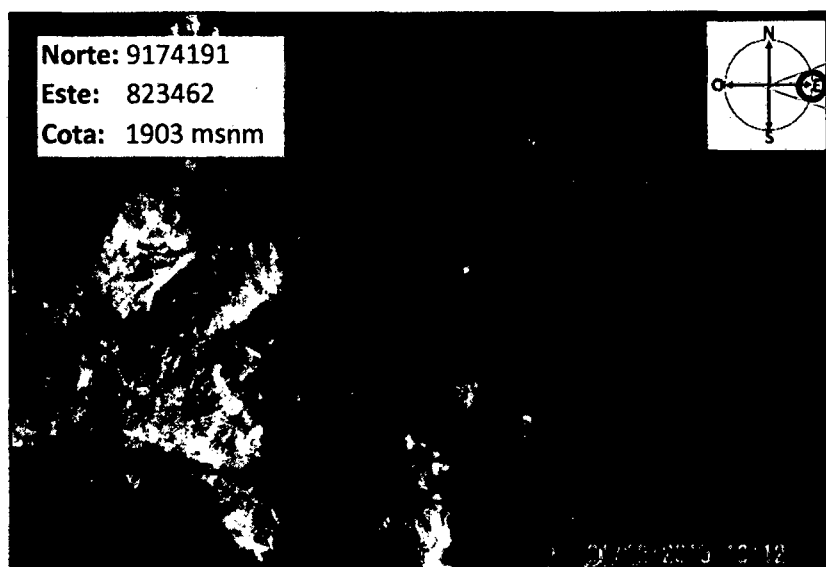


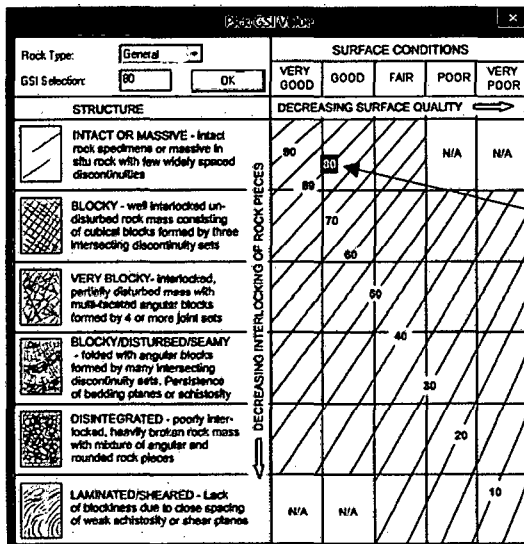
Figura 79. Afloramiento de roca arenisca en el interior del túnel carretero. EG-14.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloques irregulares de areniscas de grano medio, color blanco superficie rugosa, no hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R5
	Descripción	Muy Resistente
	Identificación de campo	Necesita varios golpes con martillo de geólogo para fracturarse.
	Resistencia a la compresión (MPa)	100 - 250

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	30	70	70
	DD	103	235	325
RESISTENCIA		R5	R5	R5
RQD		95.85	95.85	95.85
ESPACIADO (m)		> a 2	> a 2	> a 2
PERSISTENCIA (m)		25	1.2	0.6
ABERTURA (mm)		No Tiene	No Tiene	No Tiene
RUGOSIDAD		Rugosa	Rugosa	Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada
FLUJO DE AGUA		Seco	Seco	Seco
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25			
	Puntuación	20	17	13	6	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P / σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		



Valoración Mediante GSI

Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	86
GSI	80
TIPO DE MACIZO ROCOSO	II
CALIDAD DE LA ROCA	Buena
RQD	95.85
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	85

Datos en RocData

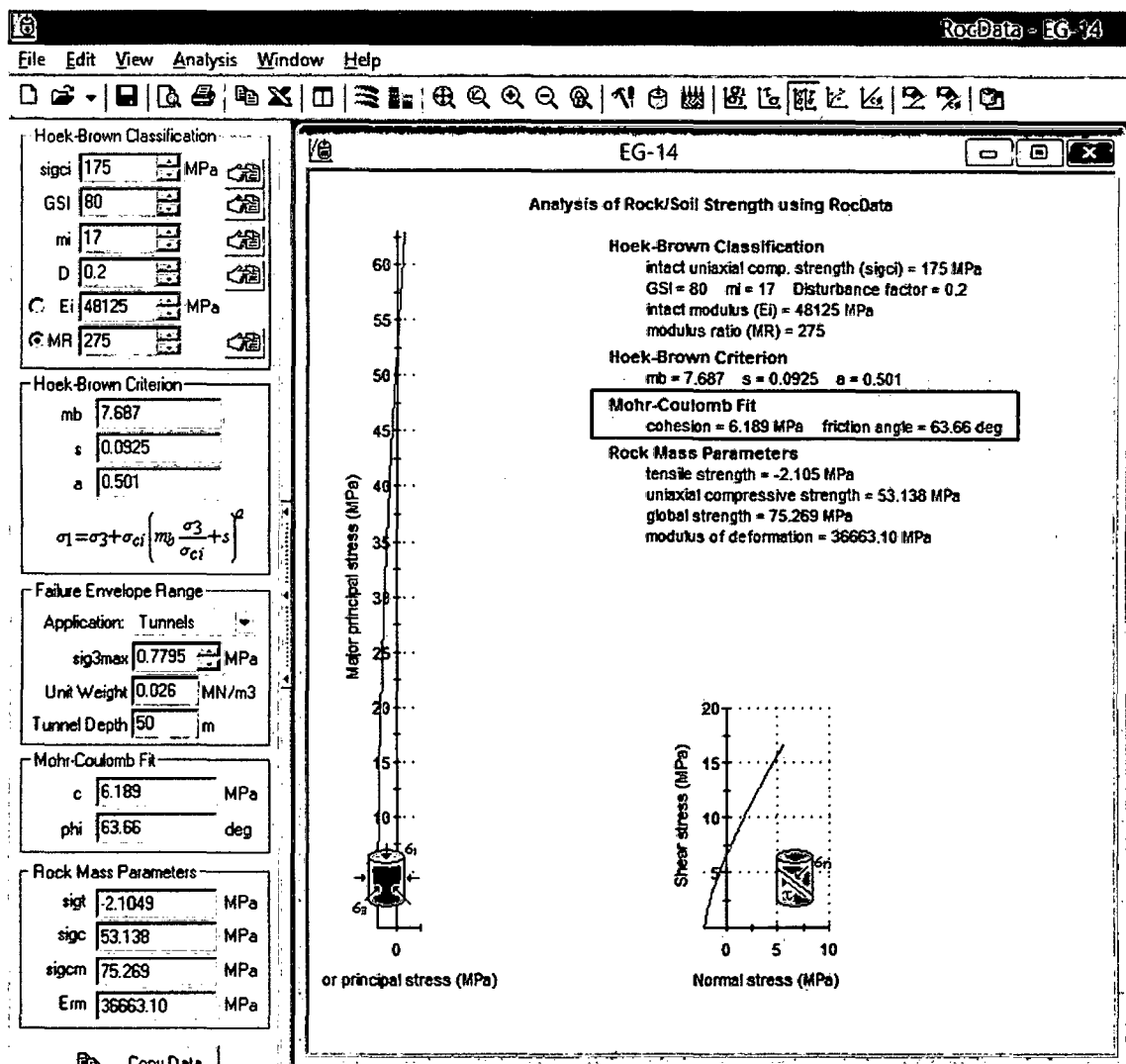


Figura 80. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.15. Estación Geomecánica 15

El afloramiento de roca se ubica entre las progresivas 1+325 y 1+345 del tramo Dique-Casa de Máquinas, consta de areniscas blancas con grado bajo de fracturamiento, levemente meteorizadas. El talud tiene una altura de 5.5 metros.



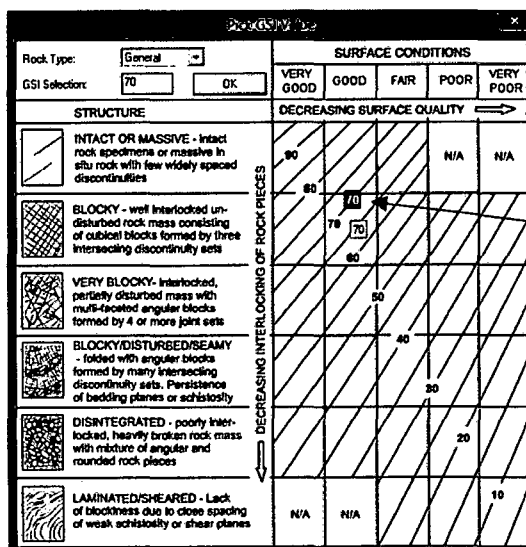
Figura 81. Areniscas con lentes de carbón y presencia de óxidos en el interior del túnel carretero en la EG-15.

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA (MATRIZ ROCOSA)		
IDENTIFICACIÓN	Bloques irregulares de areniscas de grano medio, color gris superficie rugosa con pátinas de óxidos férricos, si hay presencia de agua.	
METEORIZACIÓN	Término	Levemente meteorizada
	Descripción	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización superficial.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Clase	R4
	Descripción	Resistente
	Identificación de campo	Necesita más de un golpe con martillo de geólogo para fracturarla.
	Resistencia a la compresión (MPa)	50 - 100

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES				
TIPO		E1	D1	D2
ORIENTACIÓN	DIP	34	81	72
	DD	102	5	341
RESISTENCIA		R4	R4	R4
RQD		95.38	95.38	95.38
ESPACIADO (m)		> a 2	> a 2	> a 2
PERSISTENCIA (m)		25	4	4
ABERTURA (mm)		No Tiene	No Tiene	No Tiene
RUGOSIDAD		Muy Rugosa	Rugosa	Rugosa
RELLENO	TIPO	No Tiene	No Tiene	No Tiene
	DUREZA	No Tiene	No Tiene	No Tiene
ALTERACIÓN		Inalterada	Inalterada	Inalterada
FLUJO DE AGUA		Húmedo	Húmedo	Húmedo
CALIDAD DE INFORMACIÓN		Lectura Real	Lectura Real	Lectura Real

Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P / σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		



Valoración Mediante GSI



Resultado de la Caracterización

VALORACIÓN RMR Bieniawski, 1989	74
GSI	70
TIPO DE MACIZO ROCOSO	II
CALIDAD DE LA ROCA	Buena
RQD	95.38
VALORACIÓN RMR en función del GSI (RMR = GSI + 5)	75

Datos en RocData

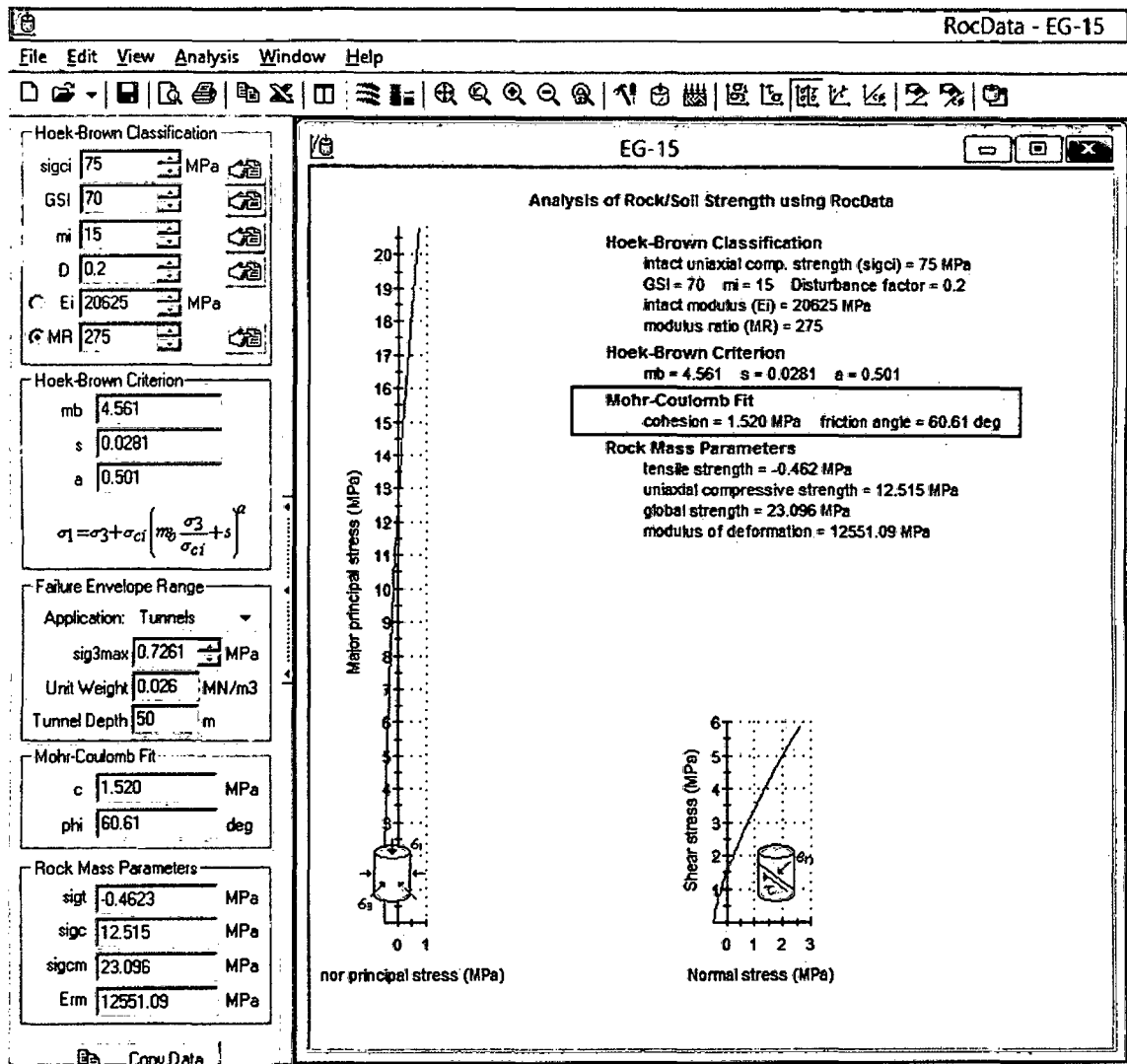


Figura 82. Resultados de los datos de campo ingresados en RocData.

4.4.16. Estación Geomecánica 16

Esta estación, se ha desarrollado de una forma especial, dado que la naturaleza de la litología es diferente a las otras estaciones geomecánicas desarrolladas en el tramo Dique Casa de Máquinas. El depósito coluvial que a su vez forma un cono coluvial, está conformado por bloques de roca arenisca que pertenecen a la Formación Chimú. Estos bloques son heterométricos (diferentes tamaños), y se encuentran en un tramo de 250 metros, entre las progresivas 0+690 y 0+940. (Ver Anexo 04, Plano 06: de Zonificación de Peligros).

Descripción General: Dos escarpes de más de 500 metros de altura forman el Cañón del Crisnejas por intermedio de los cuales fluye el agua del río Crisnejas. El escarpe del extremo sur tiene una pendiente aproximada de 80° lo que hace que los bloques que caen, lo hacen prácticamente en caída libre. El escarpe del extremo norte tiene una pendiente aproximada de 75° desde la cima del mismo hasta una distancia de 200 metros pendiente abajo, a partir de dicha distancia disminuye la pendiente a $\sim 50^\circ$ originando que algunos de los bloques de roca que caen no lleguen hasta el fondo del abismo, por el contrario, se quedan en el trayecto de los últimos ~ 300 metros pendiente abajo. Por la mala selección y heterogeneidad de los bloques, es posible que la caída de bloques se haya originado en varios eventos tectónicos.

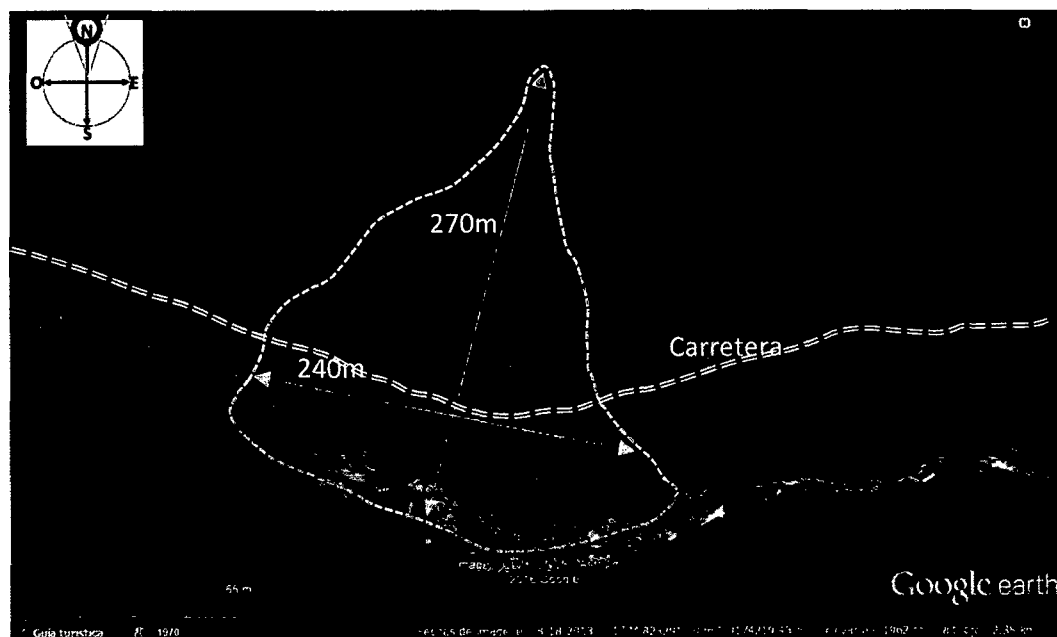


Figura 83. Dimensiones generales del cono coluvial formado en el extremo norte del Cañón del Crisnejas, que intersecta a la carretera entre las progresivas 0+690 y 0+940, Fuente Google Earth Pro.

Litológicamente, el cono coluvial está formado por bloques angulosos de diferentes tamaños que van desde varios centímetros hasta varios metros de diámetro. El bloque encontrado de mayor tamaño es de 12 metros de largo, 10 metros de ancho y 9 metros de altura; haciendo un total de 1080 m³, lo cual nos da una idea de la sobrecarga que ejerce este material geológico sobre el talud de la carretera en este tramo.

Descripción Específica: El cono coluvial es monomítico (un solo tipo de roca), es decir, está compuesto por bloques de areniscas blancas afectadas por un metamorfismo de bajo grado (cuarcitas o meta-cuarcitas, según estudio geología de FICHTNER), en una matriz arenosa proveniente de la destrucción (meteorización mecánica) de la misma roca en el transporte (saltos, rodadura, reptación, choques entre bloques) que sufrió en la caída desde su separación del macizo rocoso.

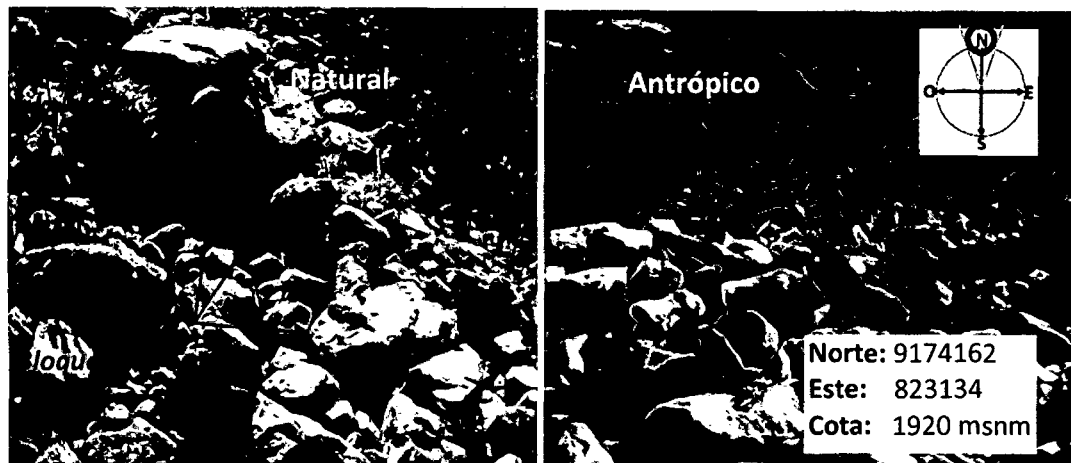


Figura 84. Fragmentos y bloques de roca arenisca en una matriz arenosa, con contenido de materia orgánica (raíces y troncos) que conforman el depósito coluvial en la progresiva 0+845. Izquierda: condiciones naturales, Derecha: después de desarrollar actividades antrópicas.

Condiciones Geomecánicas: El tramo entre las progresivas 0+690 y 0+940, presenta, evidentemente, alta inestabilidad geomecánica debido a que los bloques de roca en su caída se han acomodado de acuerdo a la superficie y obstáculos que han encontrado en su recorrido. Además la matriz está en contacto con los bloques sólo en algunas partes de las caras de los mismos, lo que no permite una consolidación; a esto se suma la composición arenosa de la matriz con contaminación de materia orgánica por la escasa vegetación existente en el área que abarca dicha geoforma que en consecuencia es, material geológico no cohesivo que resulta inestable.

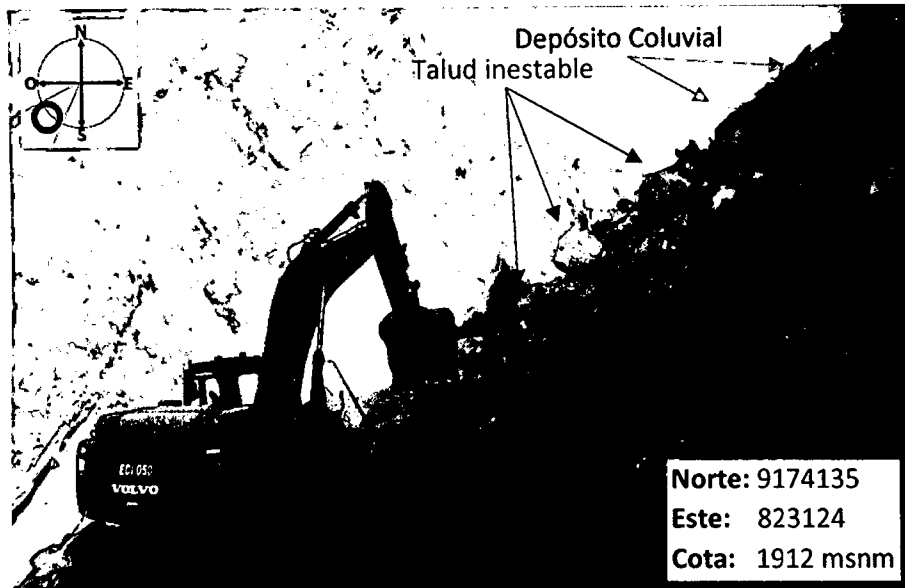


Figura 85. Excavadora realizando trabajos de corte de talud en la progresiva 0+900, junio de 2015.

La siguiente imagen muestra el talud de la carretera en la progresiva 0+820 donde se encuentra la mayor altura de talud con 30 metros aproximadamente; razón por la cual, se ha construido una banqueta en la parte superior para disminuir la sobrecarga que ejercen los bloques de roca.

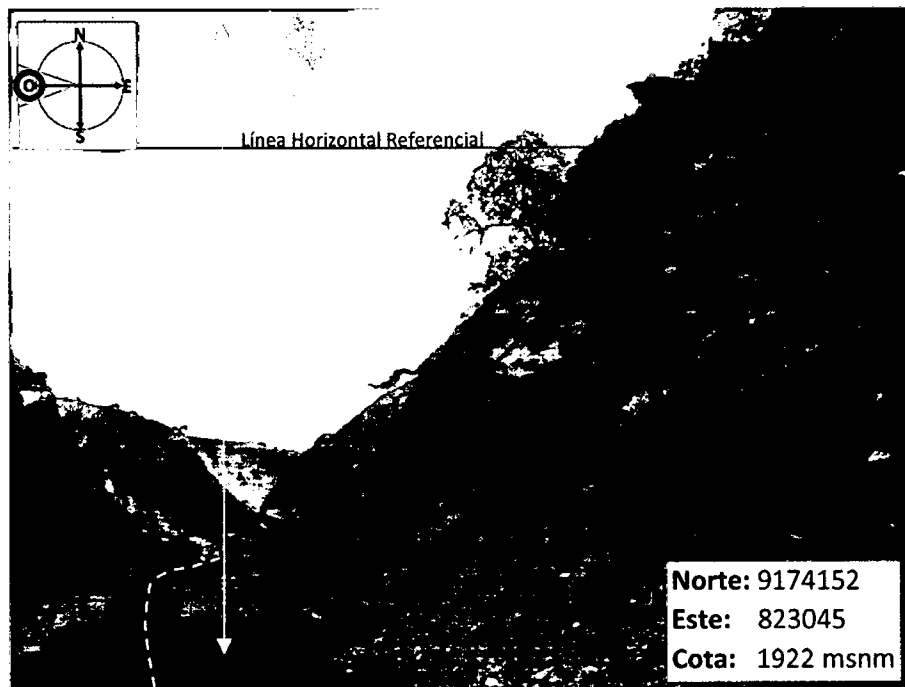


Figura 86. Geometría del talud formado por el depósito coluvial, en la progresiva 0+820, Diciembre de 2015.

Datos en RocData de la Estación 16

Por la heterogeneidad de los bloques, y la irregular disposición de los mismos entre las progresivas 0+690 y 0+940, es complicado obtener resultados exactos del comportamiento geomecánico de este tramo, no obstante, es posible estimarlo a partir de las propiedades intrínsecas de la roca de origen, teniendo en cuenta que no se comporta como macizo rocoso y además no está consolidado.

A continuación se presenta una imagen en la que se ha estimado como es el comportamiento geomecánico obteniendo parámetros que el programa RocData nos permite. Los datos han sido seleccionados con criterio geomecánico y conociendo toda la dimensión y el entorno del cono coluvial a través de la observación y análisis in situ.

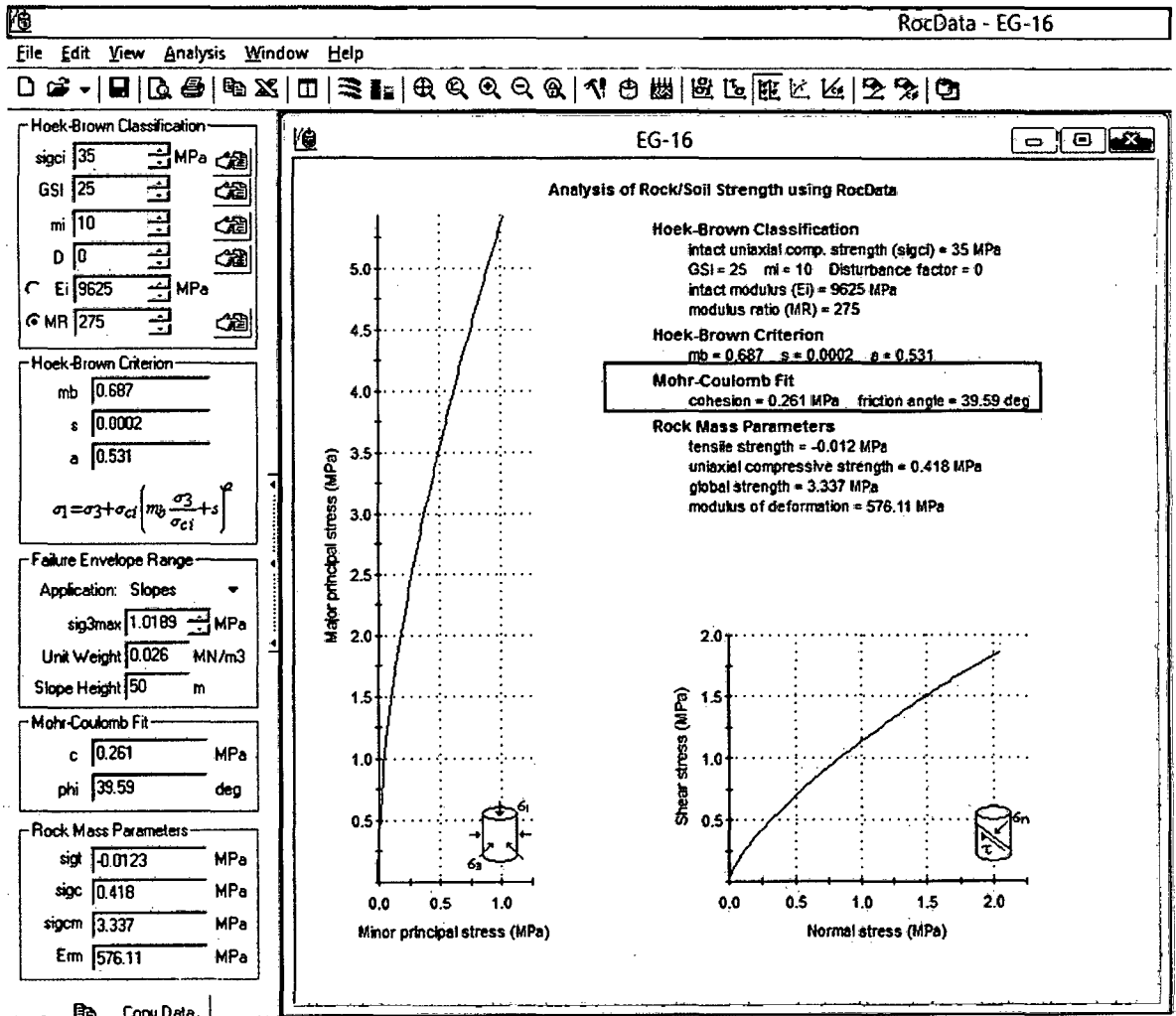


Figura 87. Datos en RocData de la Estación 16, cohesión=0.261 MPa y ángulo de fricción=39.59°.

Análisis en Slide de la Estación 16

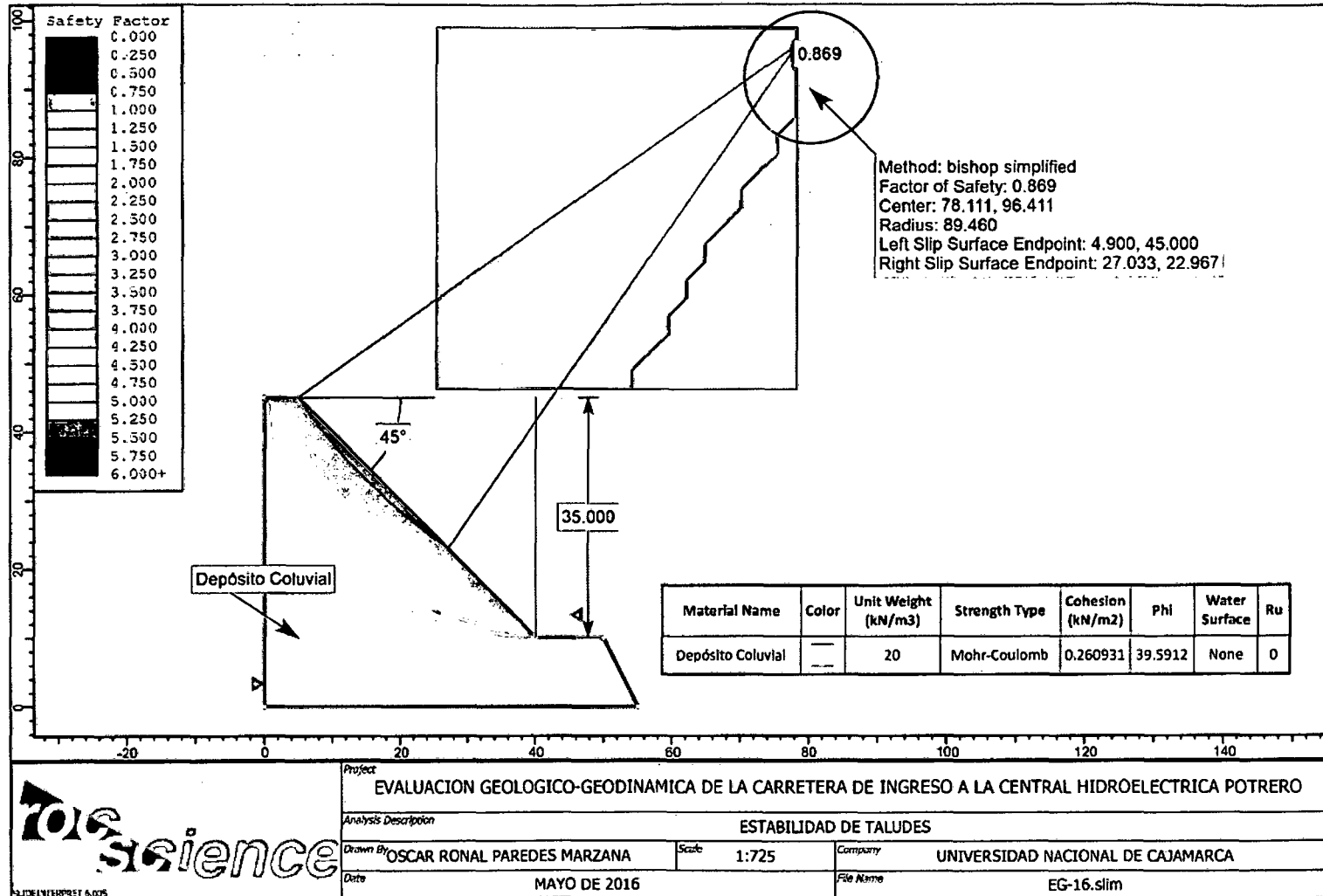


Figura 88. Geometría del talud en Slide de la Estación 16, FS=0.869, en tensiones totales.

Tensiones totales + Sismicidad

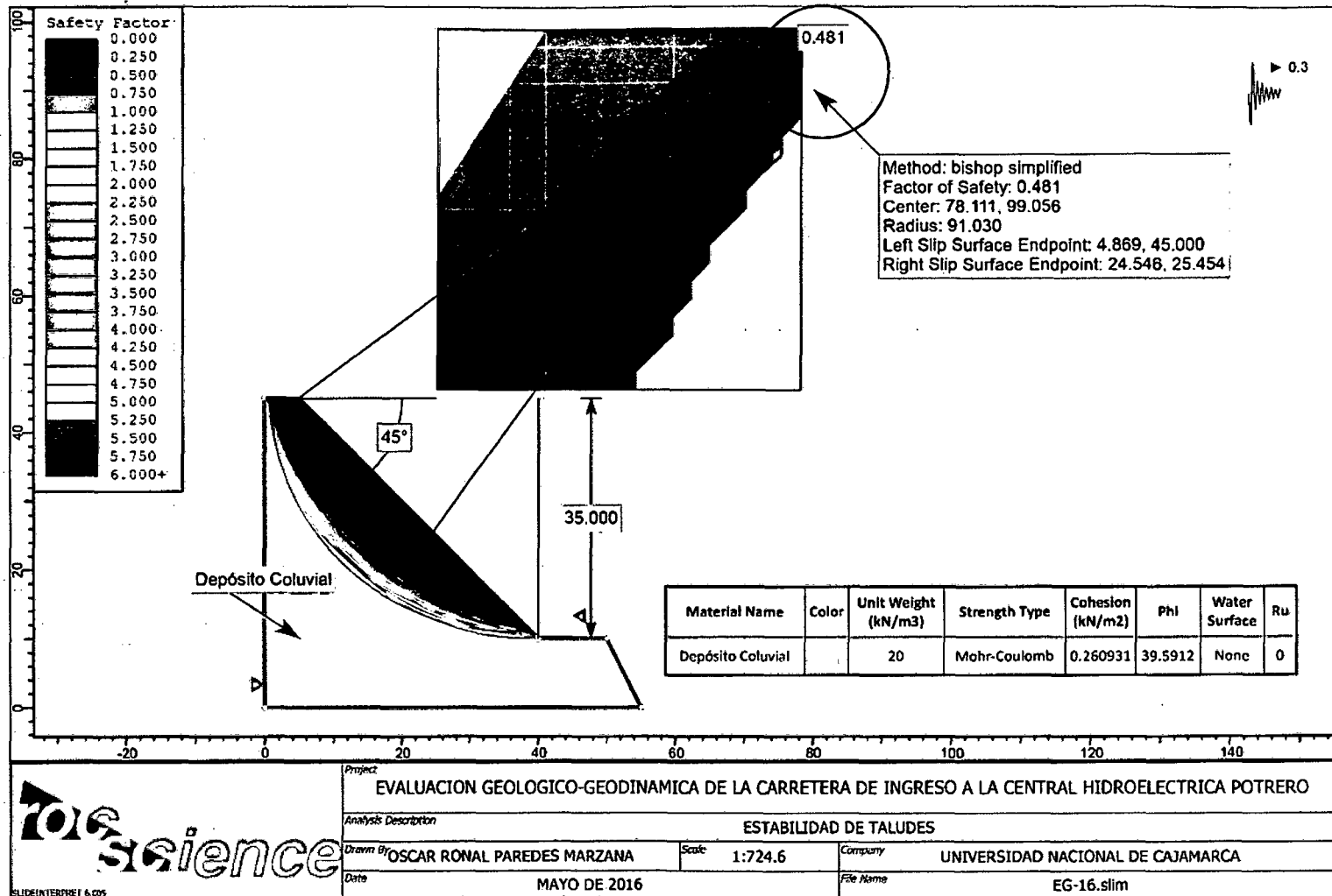


Figura 89. Geometría del talud en Slide de la Estación 16, FS=0.481, en tensiones totales + sismicidad.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DEL TRAMO CAMPAMENTO – DIQUE

5.1.1. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 01

Los datos analizados en la Figura 41, permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 5, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene cinco (5) metros de longitud separados por una distancia de dos (2) metros.

Tabla 5. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-01.

ESTACIÓN 01			ESTACIÓN 01	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	22	15	Sin Soporte	0.997
02	18	15	End Anchored	1.490
03	12	13	Geo Textile	1.403
04	8.8	5	Grouted Tieback	1.168
05	0	5	Grouted Tieback (with friction)	1.113
06	0	0	Micro-Pile	1.201
07	22	0	Soil Nail	1.374

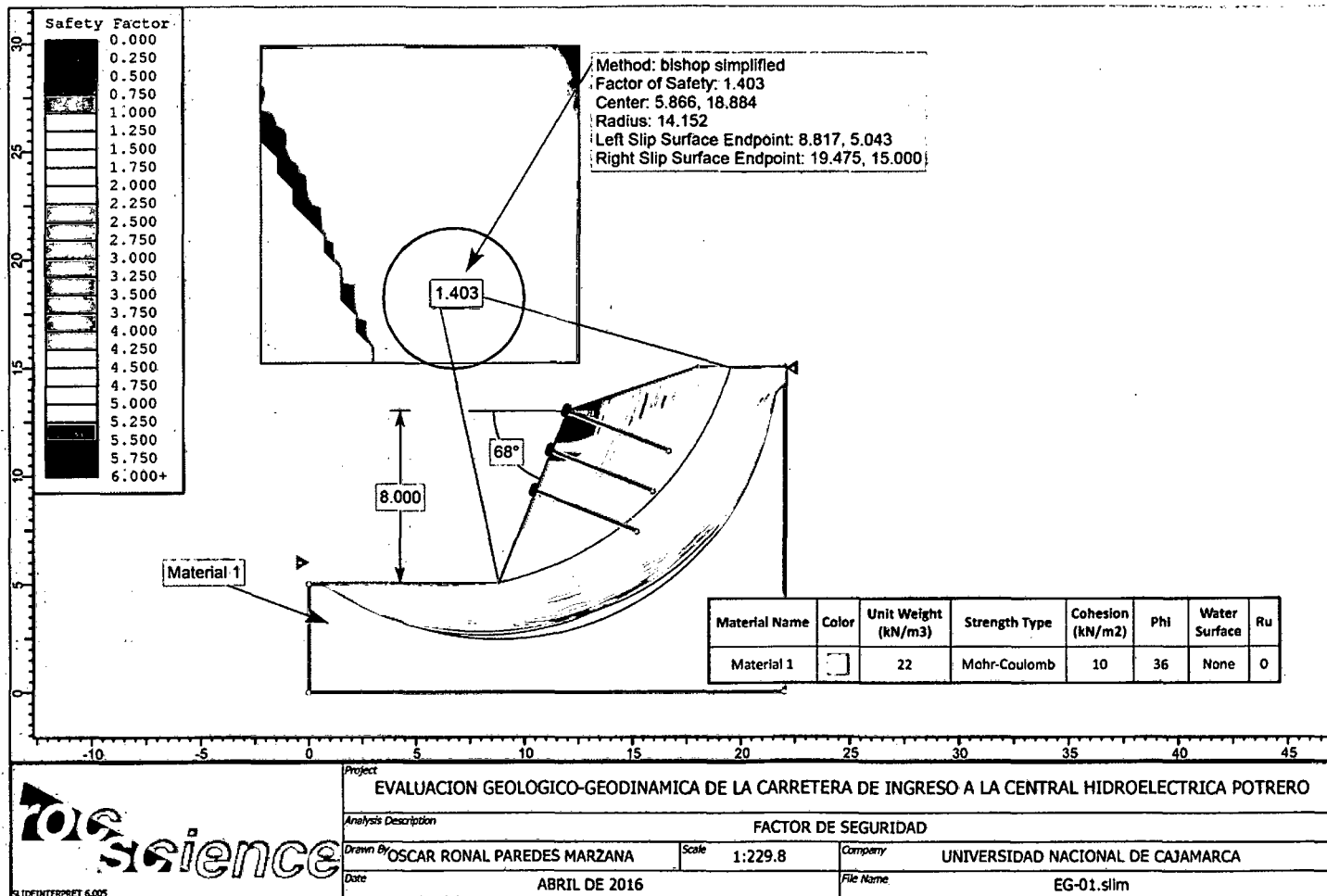


Figura 90. Factor de seguridad=1.401, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil, en la EG-01.

5.1.2. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 02

Los datos de la EG-02, ingresados y analizados en RocData (Figura 45), permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 6, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene cinco (5) metros de longitud separados por una distancia de tres (3) metros.

Tabla 6. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-02.

ESTACIÓN 02			ESTACIÓN 02	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	25	20	Sin Soporte	0.999
02	10	5	End Anchored	1.294
03	0	5	Geo Textile	1.430
04	0	0	Grouted Tieback	1.308
05	30	0	Grouted Tieback (with friction)	1.248
06	30	20	Micro-Pile	1.430
			Soil Nail	1.430

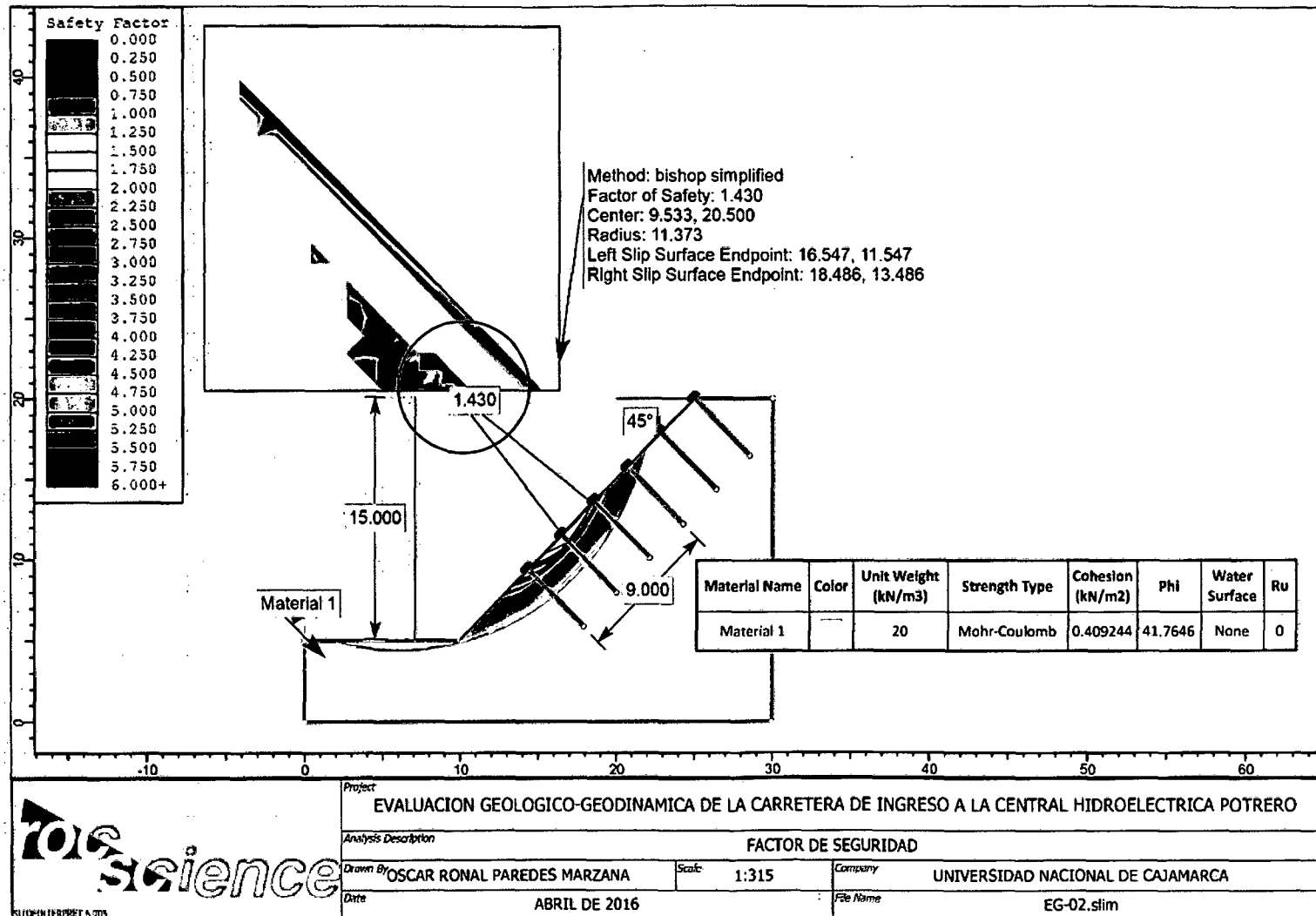


Figura 91. Factor de seguridad=1.430, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-02.

5.1.3. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 03

Los datos de la EG-03, ingresados y analizados en RocData (Figura 49), permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 7, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene tres (3) metros de longitud separados por una distancia de cuatro (4) metros.

Tabla 7. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-03.

ESTACIÓN 03			ESTACIÓN 03	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	10	5	Sin Soporte	1.238
02	0	5	End Anchored	1.424
03	0	0	Geo Textile	1.424
04	25	0	Grouted Tieback	1.424
05	25	15	Grouted Tieback (with friction)	1.424
06	20	15	Micro-Pile	1.424
07	15	12.5	Soil Nail	1.424

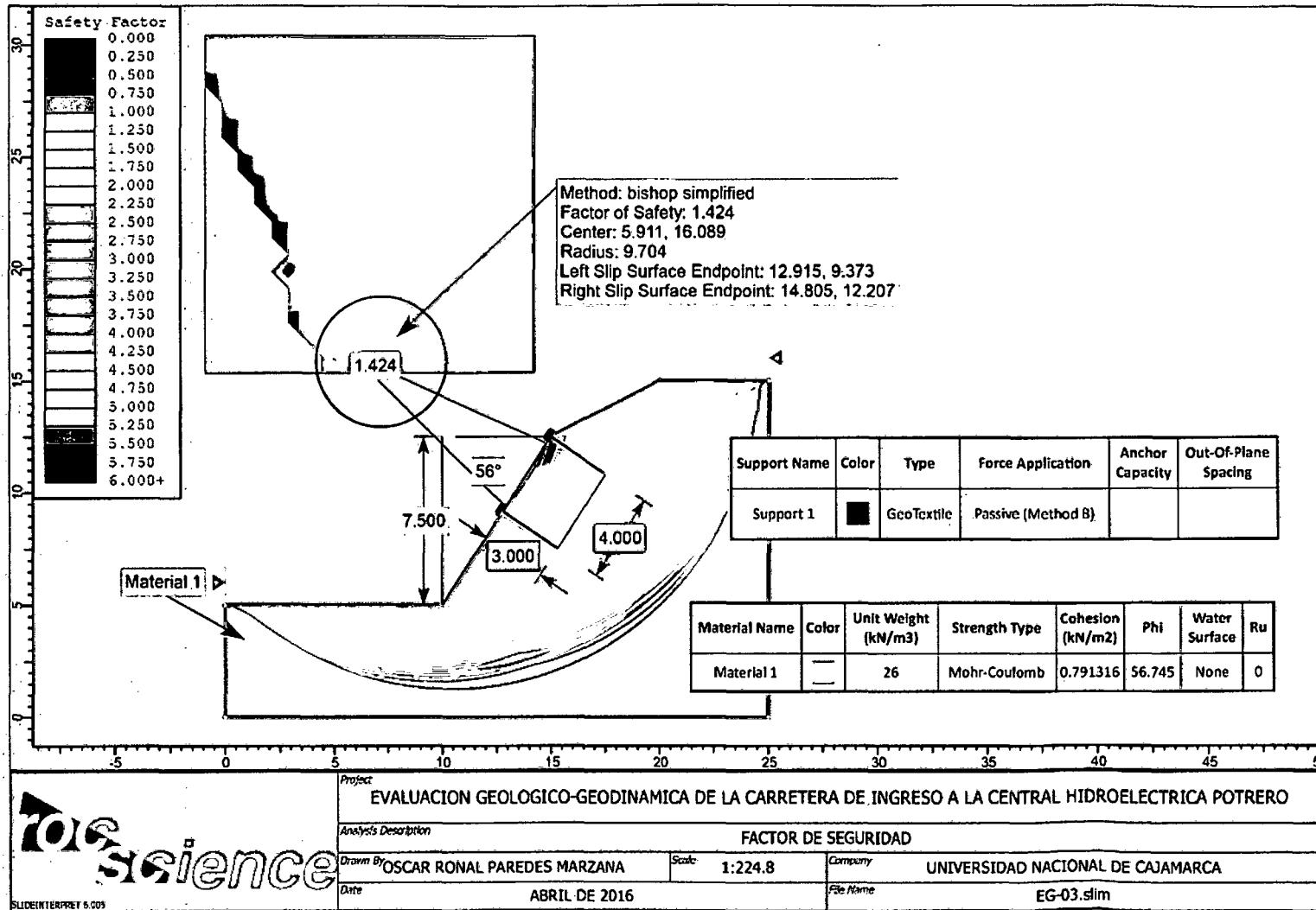


Figura 92. Factor de seguridad=1.424, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-03.

5.1.4. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 04

Los datos de la EG-04, ingresados y analizados en RocData (Figura 53), permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 8, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene cinco (5) metros de longitud separados por una distancia de tres (3) metros.

Tabla 8. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-04.

ESTACIÓN 04			ESTACIÓN 04	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	25	0	Sin Soporte	0.871
02	25	5	End Anchored	1.362
03	15	5	Geo Textile	1.362
04	6.5	15	Grouted Tieback	1.107
05	0	17	Grouted Tieback (with friction)	1.081
06	0	0	Micro-Pile	1.219
			Soil Nail	1.362

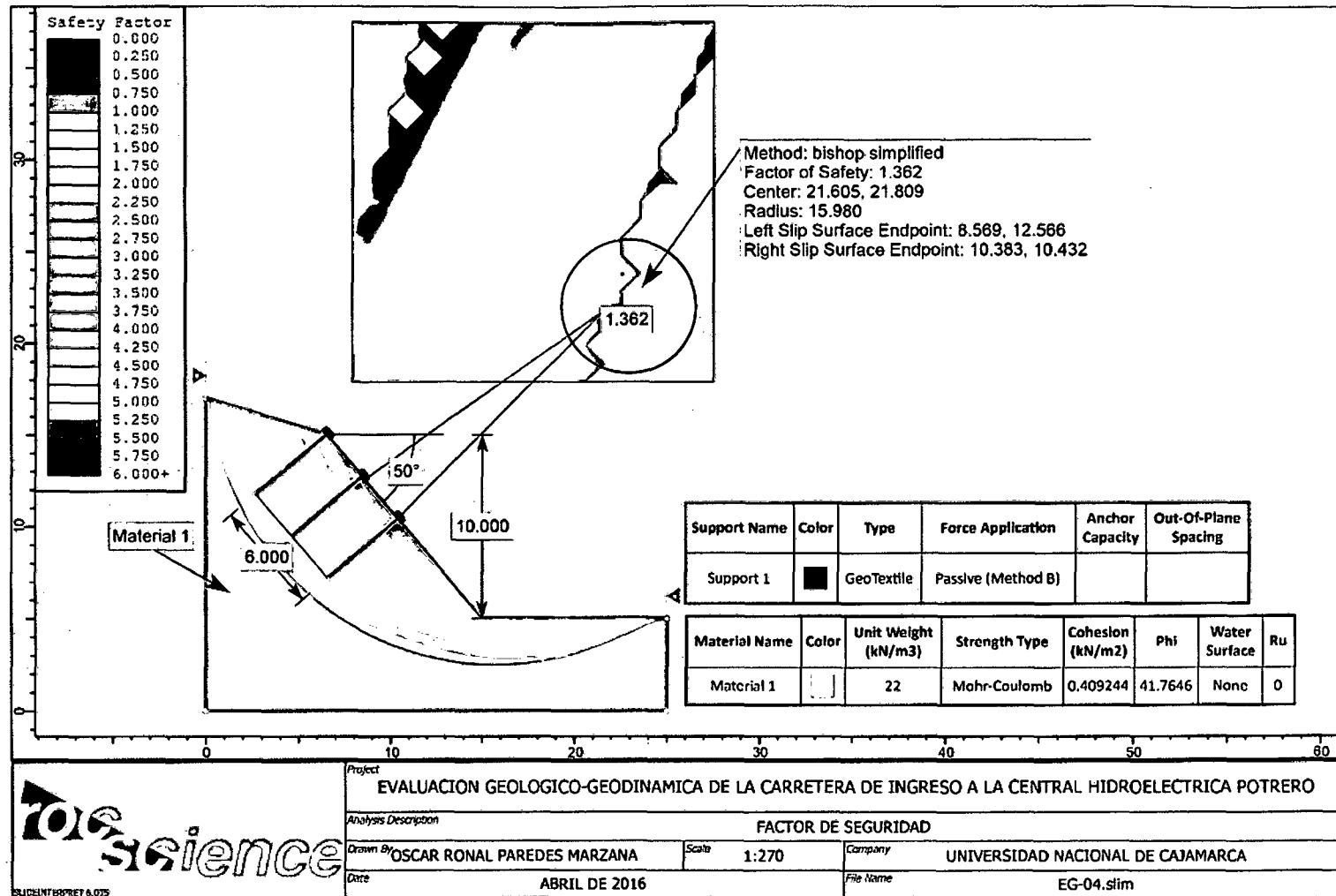


Figura 93. Factor de seguridad=1.362, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos). en la EG-04.

5.1.5. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 05

Los datos de la EG-05, ingresados y analizados en RocData (Figura 57), permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 9, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene cuatro (5) metros de longitud separados por una distancia de un (1) metro.

Tabla 9. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-05.

ESTACIÓN 05			ESTACIÓN 05	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	20	0	Sin Soporte	1.281
02	20	13	End Anchored	1.442
03	14	12	Geo Textile	1.688
04	10	5	Grouted Tieback	1.339
05	0	5	Grouted Tieback (with friction)	1.315
06	0	0	Micro-Pile	1.530
			Soil Nail	1.442

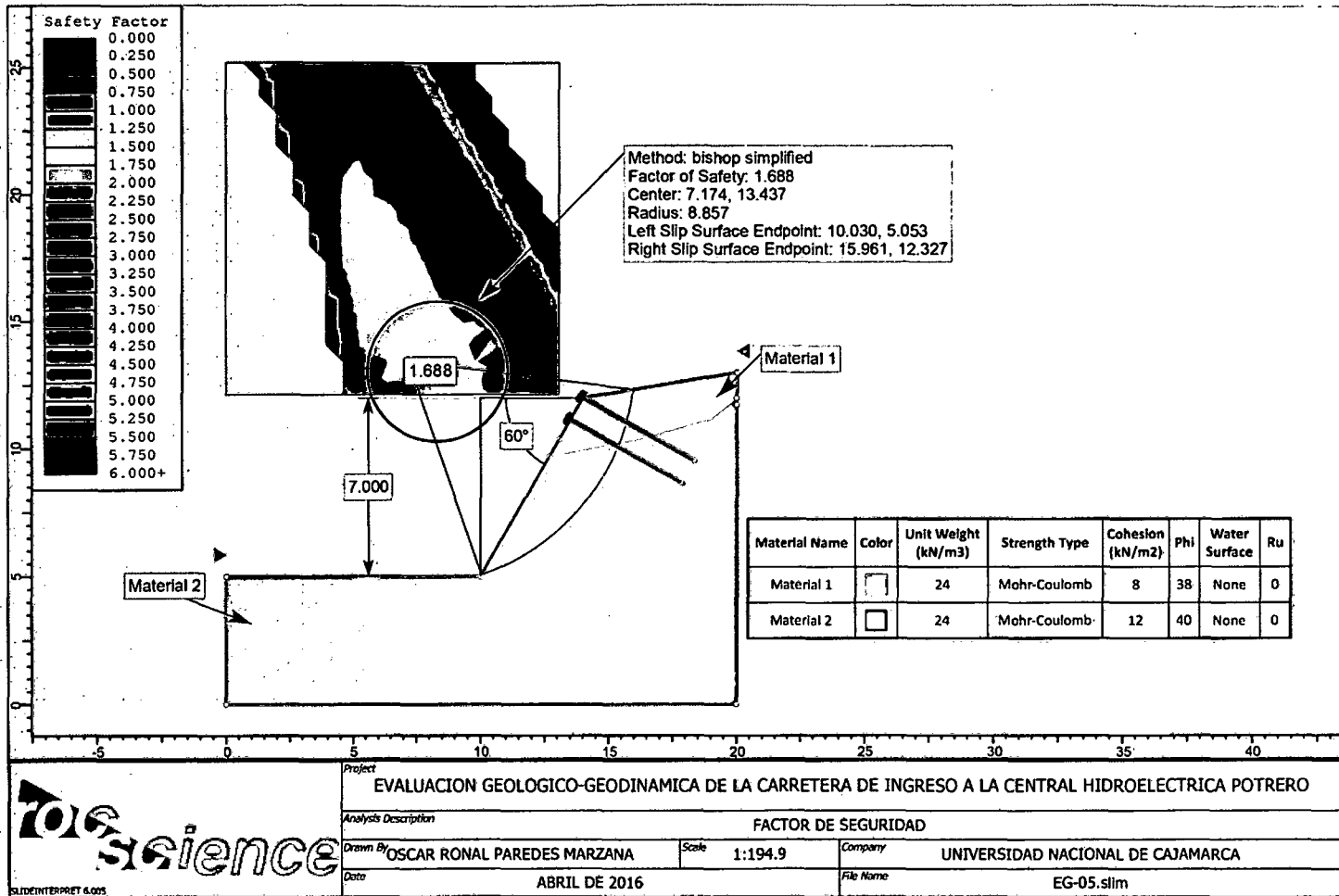


Figura 94. Factor de seguridad=1.464, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-05.

5.1.6. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 06

Los datos de la EG-06, ingresados y analizados en RocData (Figura 61), permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 10, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene siete (6) metros de longitud separados por una distancia de dos (2) metros.

Tabla 10. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-06.

ESTACIÓN 06			ESTACIÓN 06	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	30	0	Sin Soporte	0.766
02	30	25	End Anchored	1.371
03	25	25	Geo Textile	1.299
04	17	17	Grouted Tieback	1.059
05	10	5	Grouted Tieback (with friction)	1.110
06	0	5	Micro-Pile	1.071
07	0	0	Soil Nail	1.302

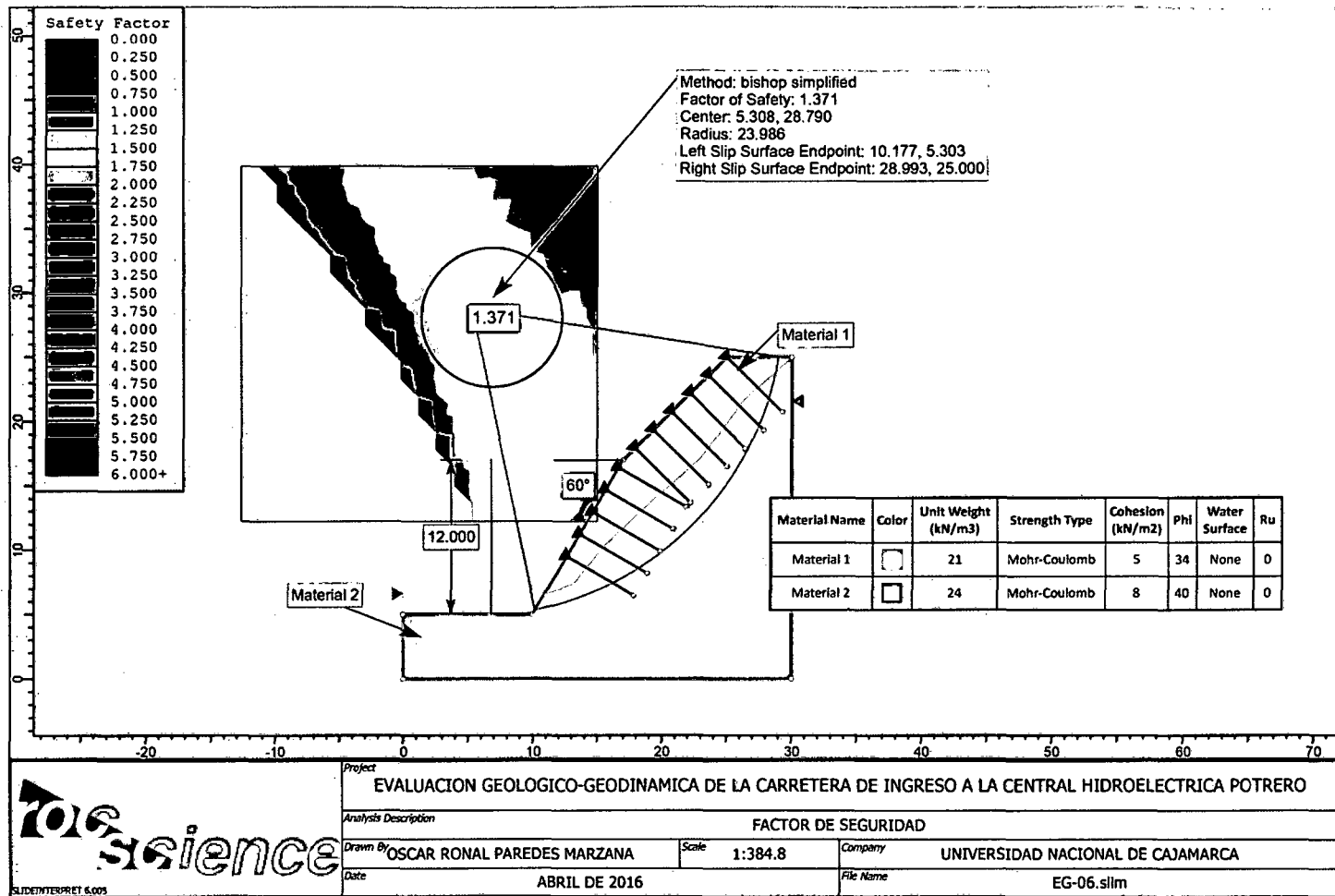


Figura 95. Factor de seguridad=1.149, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-06.

5.1.7. Análisis en Slide, de la Estación Geomecánica 07

Los datos analizados en Figura 65, permiten analizar el comportamiento del medio geológico en el programa Slide. En la Tabla 11, la columna de la izquierda indica las coordenadas de los vértices que conforman la geometría del talud y la columna de la derecha indica el valor del factor de seguridad por cada tipo de soporte simulado en Slide. El soporte tiene diez (8) metros de longitud separados por una distancia de tres (3) metros.

Tabla 11. Vértices, y valores del Factor de Seguridad por cada tipo de soporte en Slide, con datos de la EG-07.

ESTACIÓN 07			ESTACIÓN 07	
VÉRTICE	X	Y	TIPO DE SOPORTE	FS
01	50	0	Sin Soporte	1.103
02	50	5	End Anchored	1.370
03	40	5	Geo Textile	1.329
04	15	30	Grouted Tieback	1.250
05	0	30	Grouted Tieback (with friction)	1.267
06	0	0	Micro-Pile	1.237
			Soil Nail	1.315

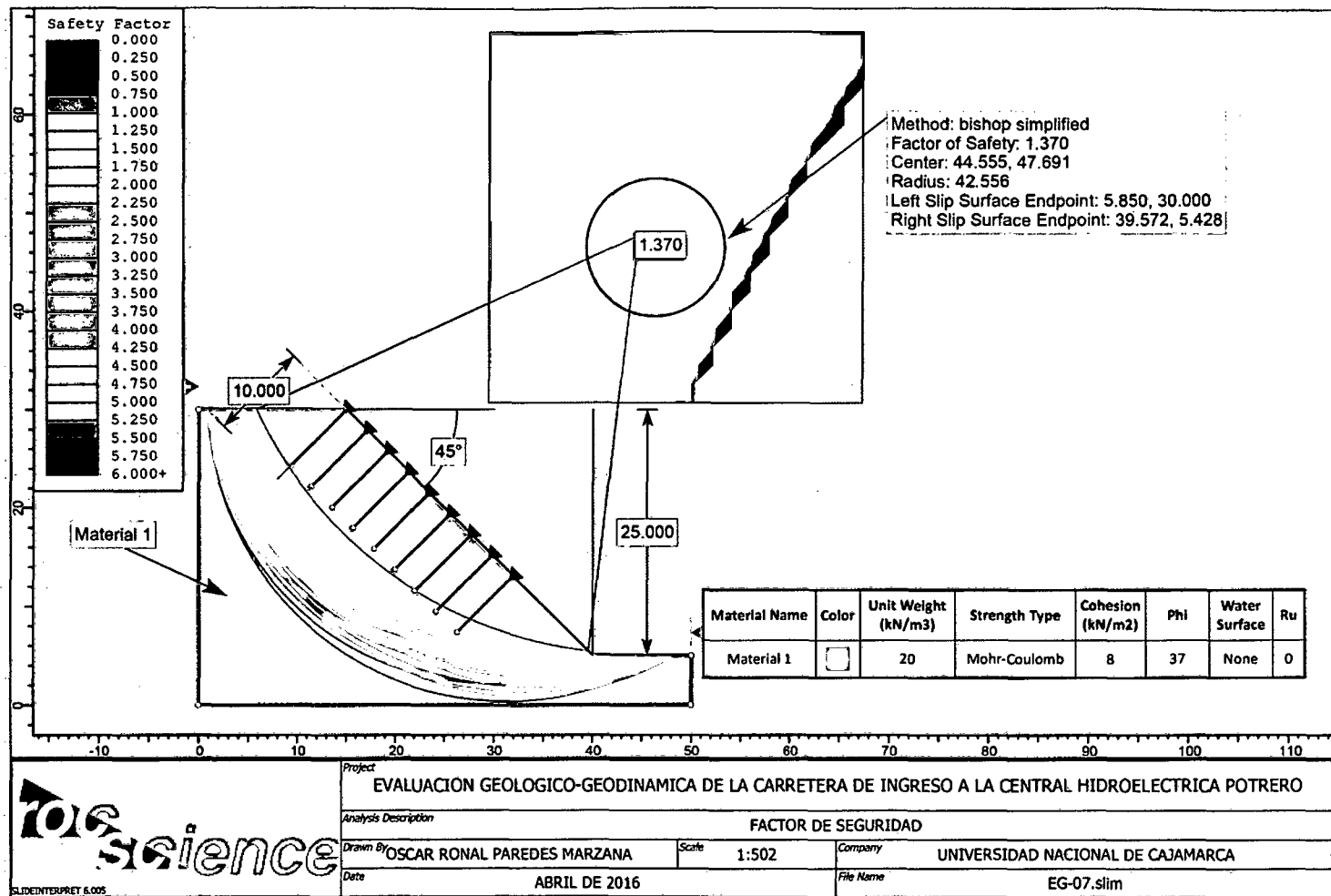


Figura 96. Factor de seguridad=1.265, utilizando el método de Bishop Simplificado y con soporte de Geotextil (uno de los más adecuados porque ofrece valores más altos), en la EG-07.

5.2. ANÁLISIS DEL TRAMO DIQUE - CASA DE MÁQUINAS

5.2.1. Análisis Cinemático en Dips Estación 08:

Deslizamiento Planar

La Figura 97, muestra la probabilidad de deslizamiento planar con una dirección N12°, no obstante, mediante el análisis en Dips, y teniendo en cuenta el grado de fracturamiento de las areniscas y el ángulo de fricción (54.25 según RocData), es posible estabilizar el talud disminuyendo el ángulo del mismo de 84° a 75°.

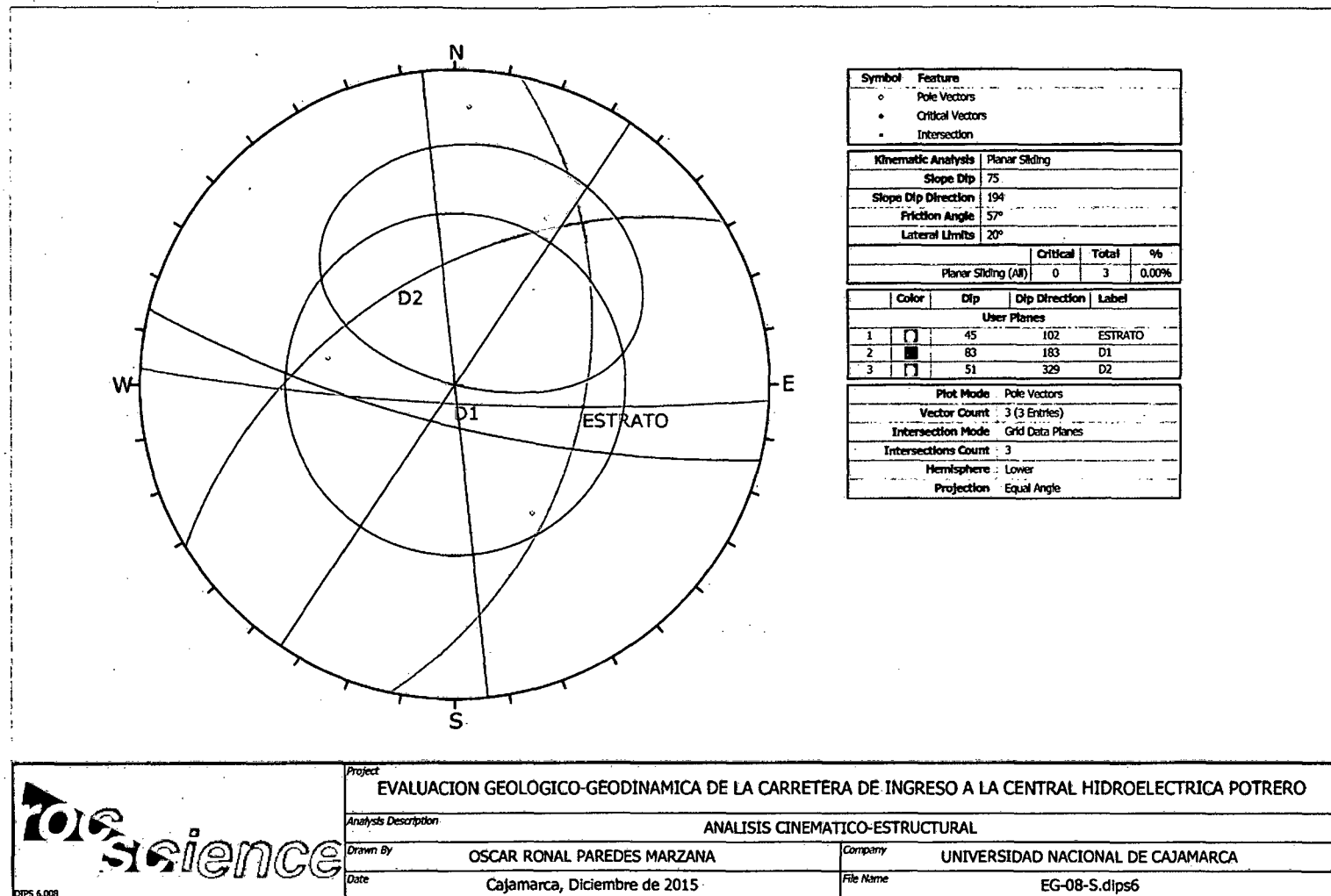


Figura 98. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-08, estabilizado disminuyendo el ángulo de talud.

Deslizamiento en Cuña

La Figura 99, muestra un posible deslizamiento en cuña con dirección N195°, según el análisis en Dips y teniendo en cuenta el grado de fracturamiento y el ángulo de fricción (54.25 según RocData), se puede controlar y estabilizar, disminuyendo el ángulo de talud de 84° a 75°.

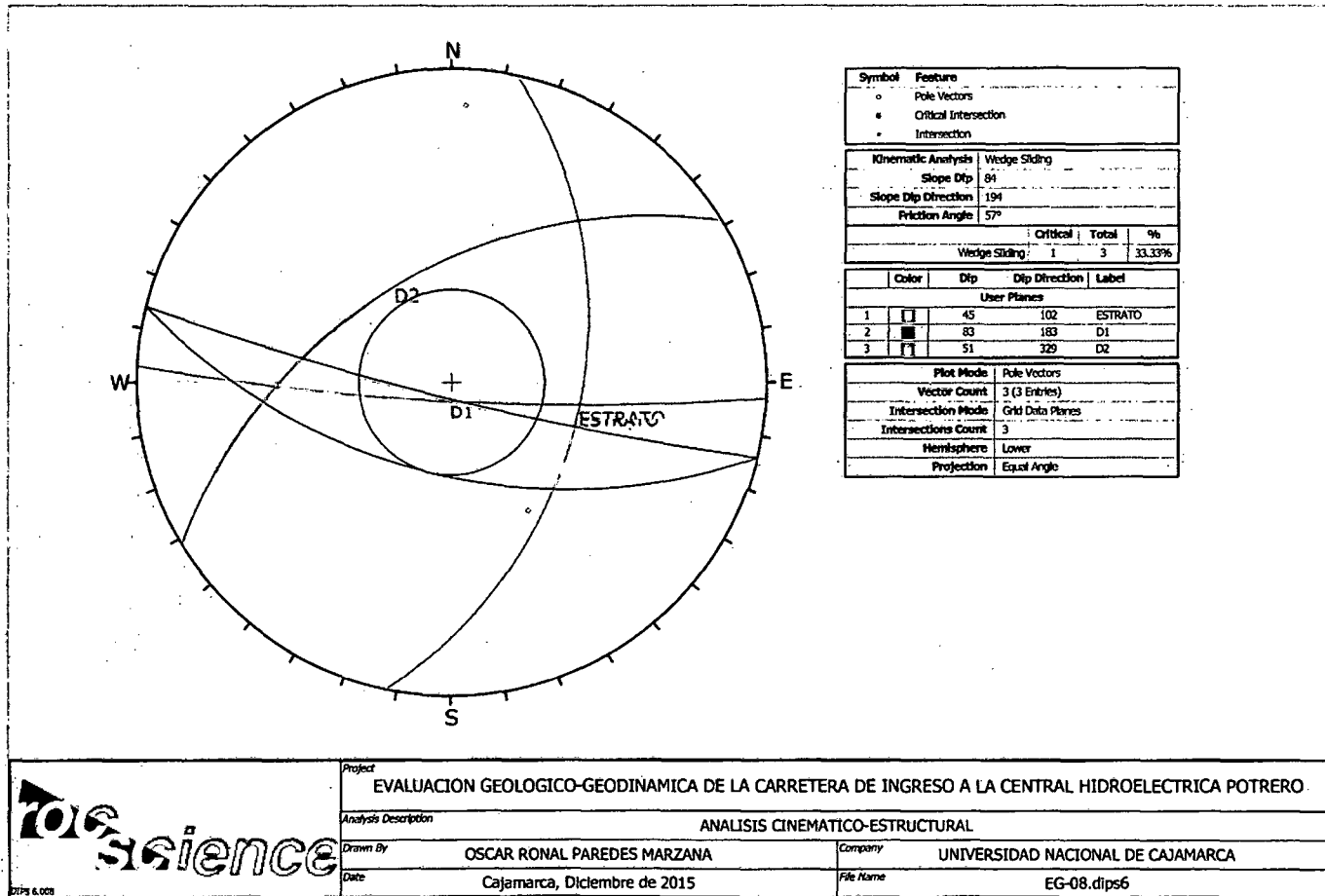


Figura 99. Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.

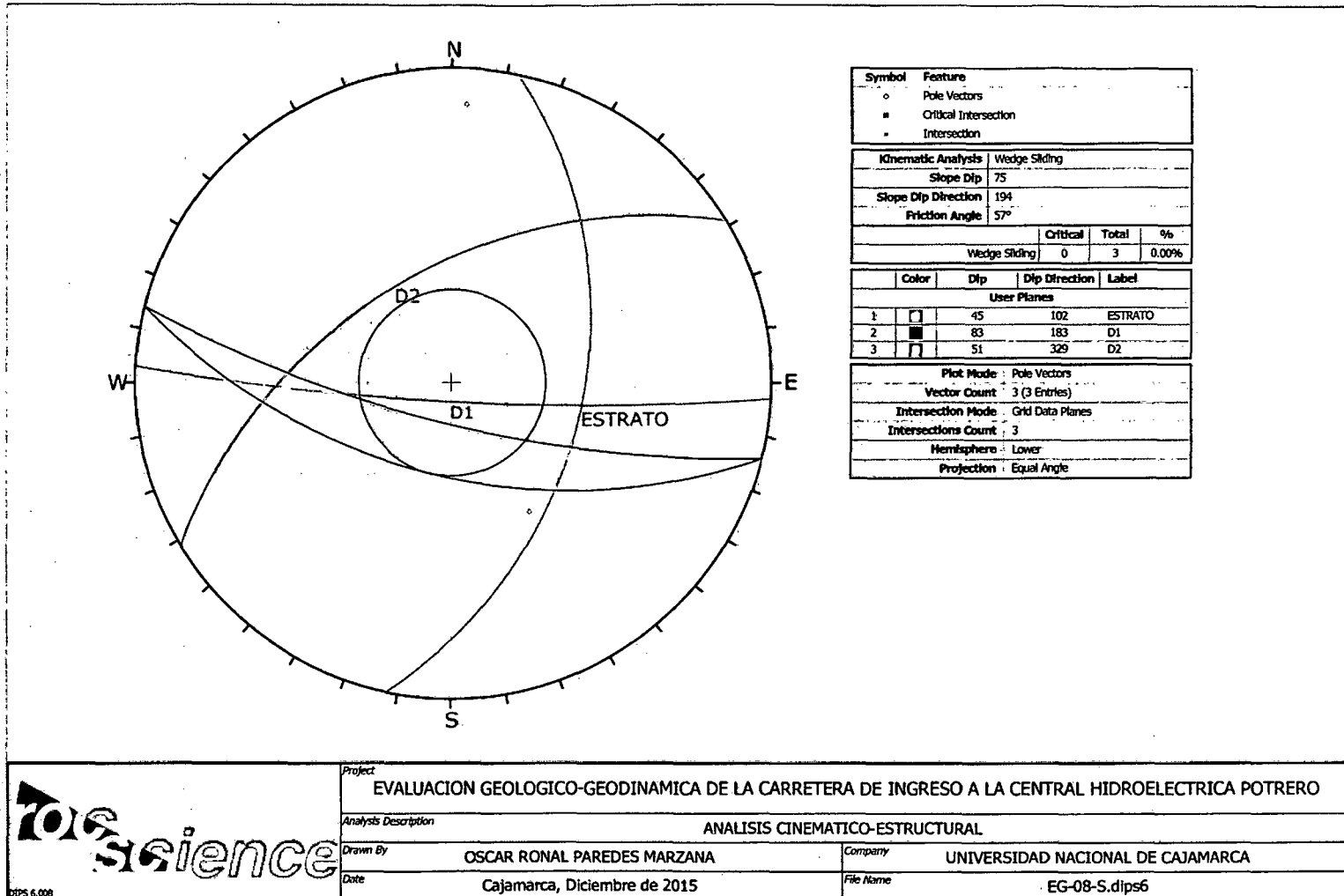


Figura 100. Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña, con el ángulo de talud disminuido de 84° a 75°.

5.2.2. Análisis Cinemático en Dips Estación 09

Deslizamiento Planar: El estereograma de la Figura 101, muestra que no se produce deslizamiento planar porque la dirección de caída esta hacia el talud, es decir el buzamiento de los estratos favorece la estabilidad.

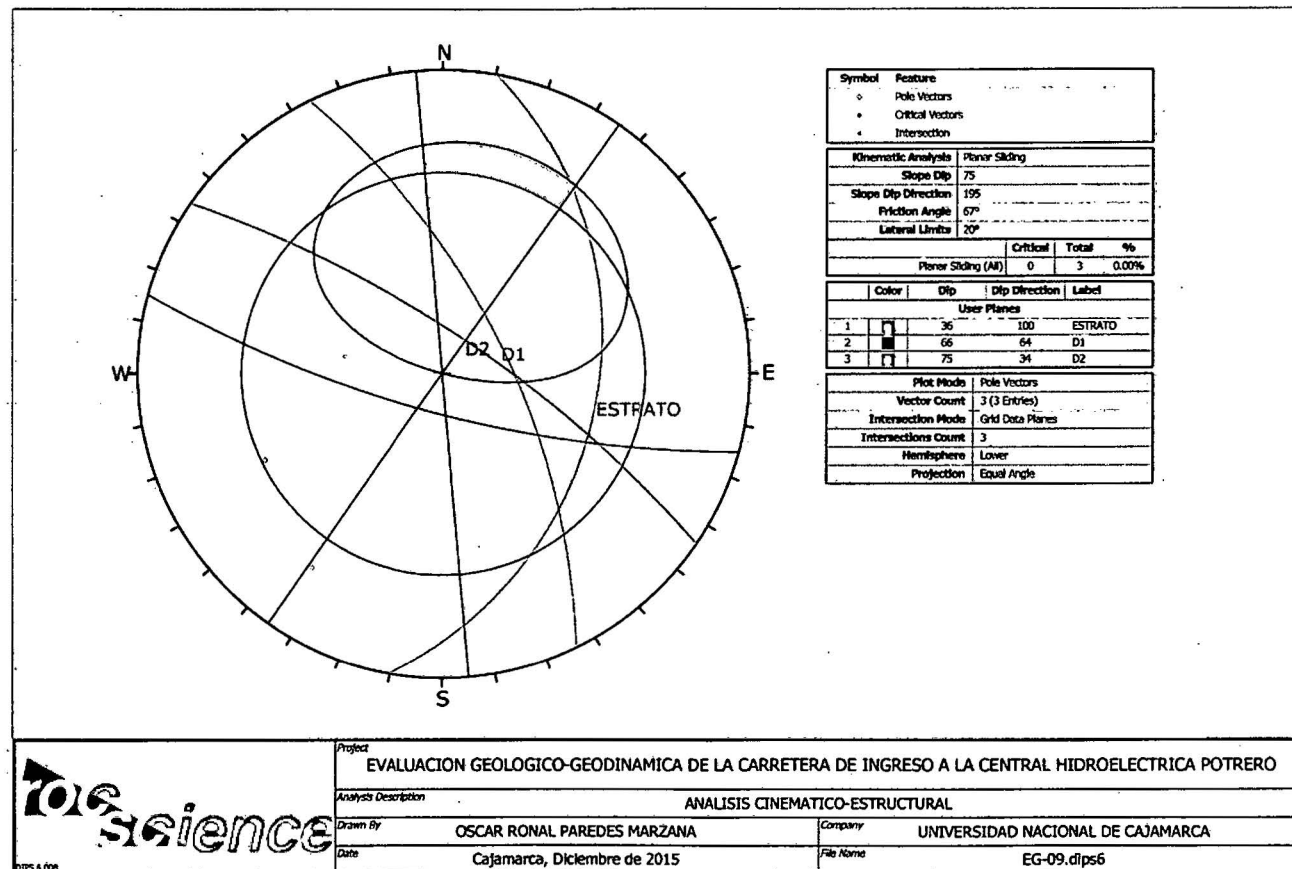


Figura 101. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-09.

Deslizamiento en Cuña: La proyección estereográfica de la Figura 102, indica que no se produce deslizamiento por cuña, porque la dirección de caída de la cuña está hacia el talud.

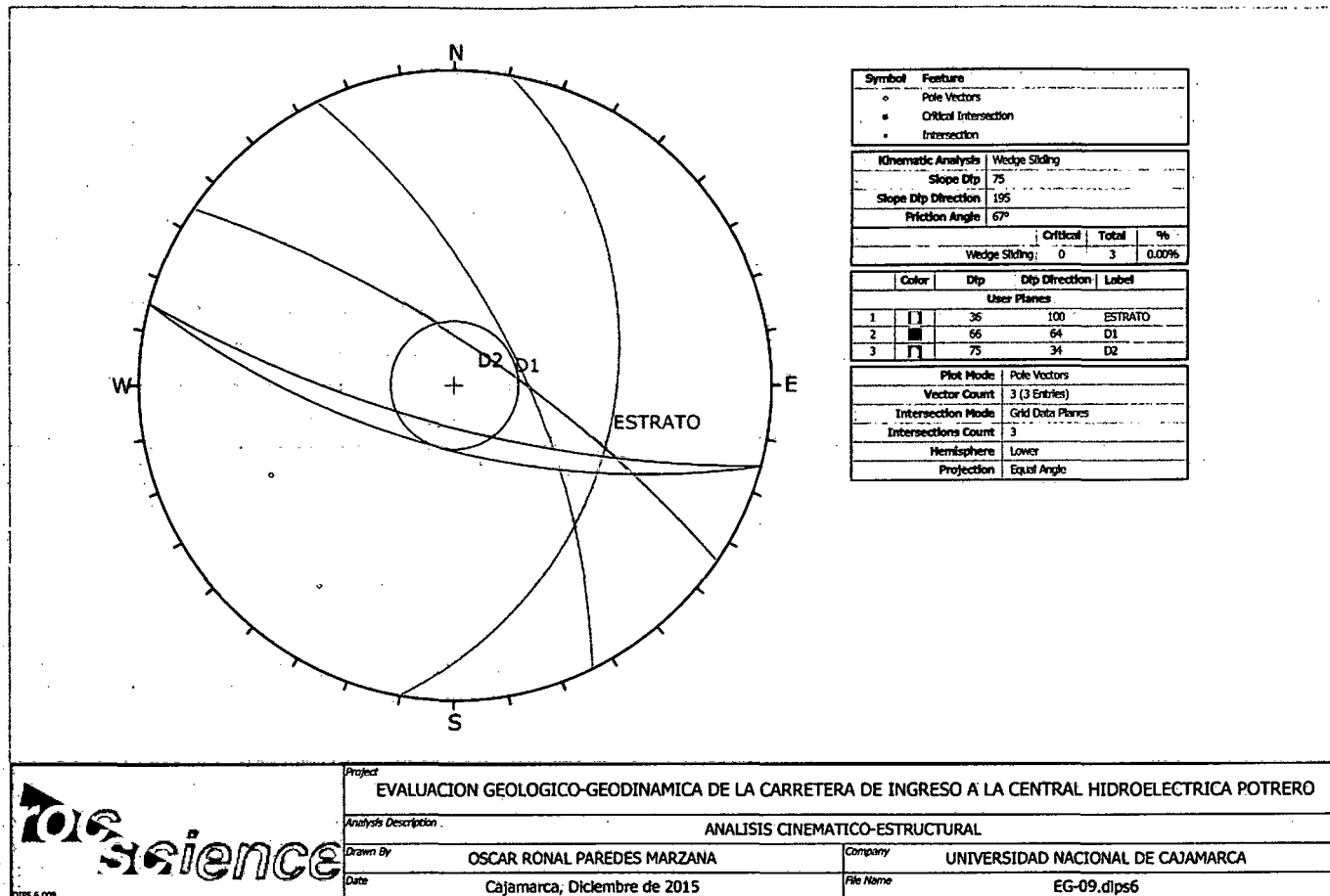


Figura 102. Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.

5.2.3. Análisis Cinemático en Dips Estación 10

Deslizamiento Planar: En estereograma de la Figura 103, se muestra que no hay probabilidad de ocurrencia de deslizamiento planar, dado que, el ángulo de fricción es mayor al ángulo de talud, y además, la dirección de buzamiento de los estratos está con dirección hacia el talud.

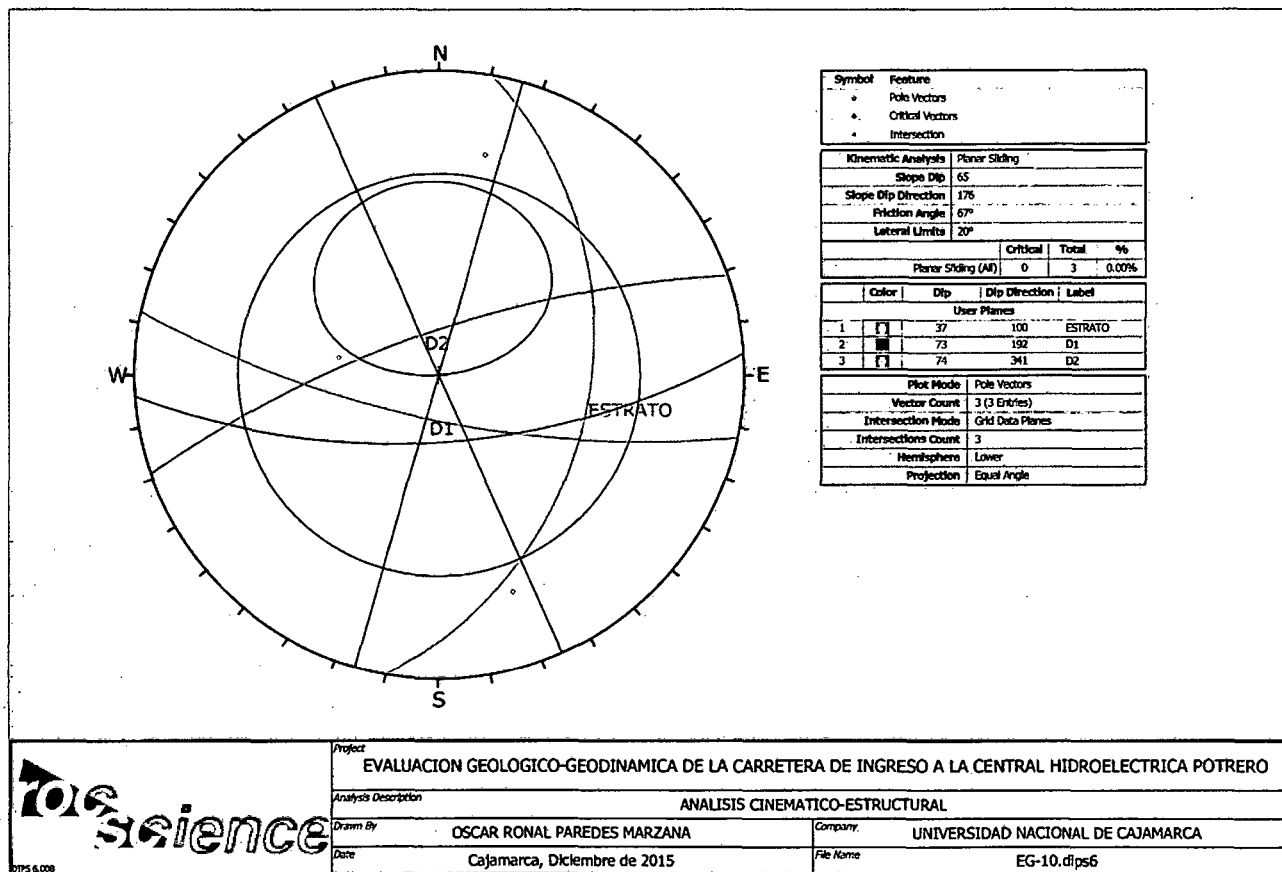


Figura 103. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-10.

Deslizamiento en Cuña: En la proyección estereográfica de la Figura 104, se observa que no hay ocurrencia de deslizamiento en cuña, dado que, el ángulo de fricción es mayor al ángulo de talud, y las cuñas que se forman están con dirección de caída hacia el talud.

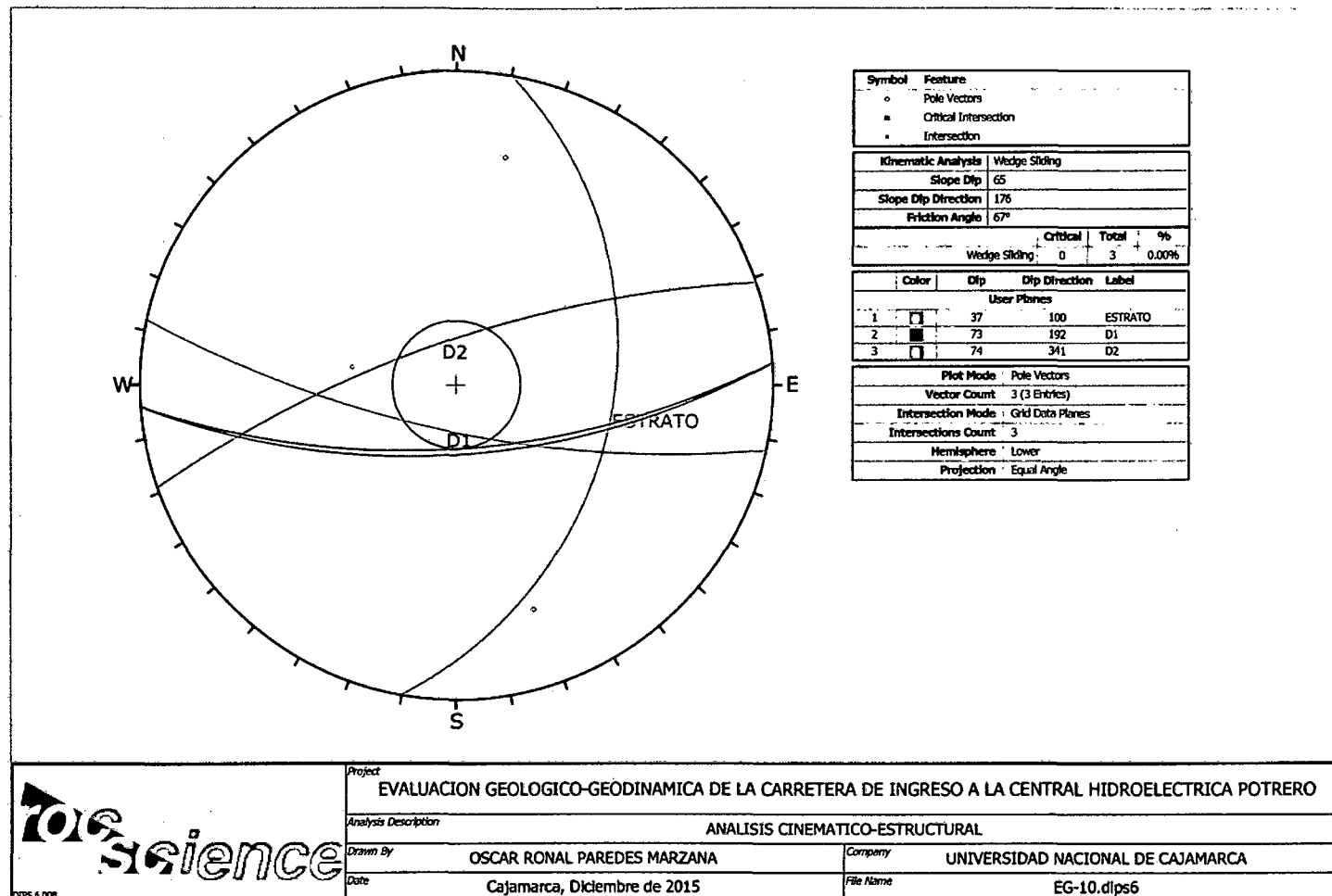


Figura 104. Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.

5.2.4. Análisis Cinemático en Dips Estación 11

Deslizamiento Planar y en Cuña: En las Figuras 105 y 106, se observa que no hay deslizamiento planar ni deslizamiento en cuña respectivamente, debido a que el buzamiento de los estratos está hacia la parte interna del talud, y también, las rocas areniscas presentan bajo grado de fracturamiento y están levemente meteorizadas y no hay presencia de agua. Es importante señalar que después de realizar el corte de talud, hay que realizar un buen desate de rocas sueltas que puedan quedar suspendidas producto de la voladura.

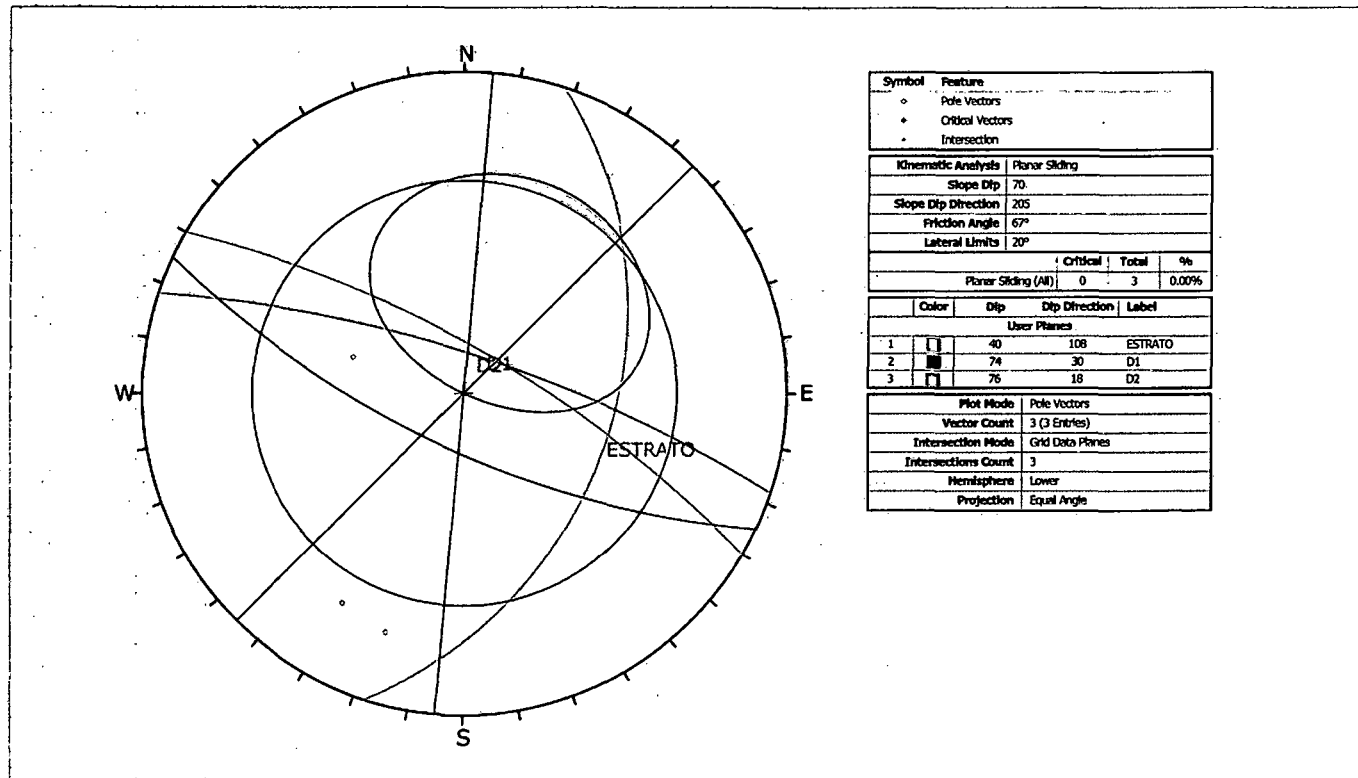


Figura 105. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-11.

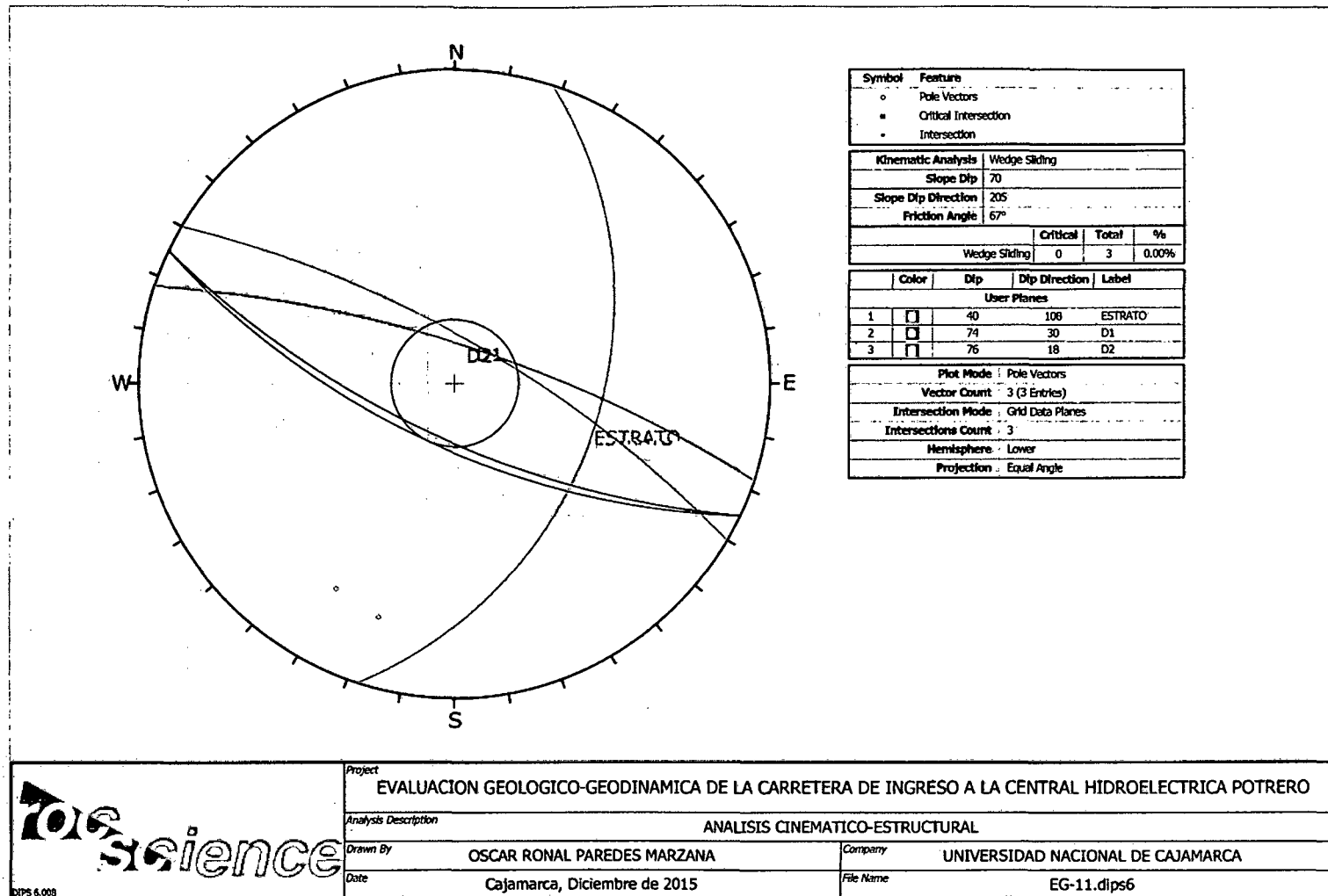


Figura 106. Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.

5.2.5. Análisis Cinemático en Dips Estación 12

Deslizamiento Planar y en Cuña: En las Figuras 107 y 108, se observa que no hay deslizamiento planar ni deslizamiento en cuña respectivamente, debido a que el buzamiento de los estratos está hacia la parte interna del talud, y también, las rocas areniscas presentan muy bajo grado de fracturamiento. Es importante señalar que después de realizar el corte de talud, hay que realizar un buen desate de rocas, producto de la voladura, que ya se observa en los primeros trabajos realizados, el desate de rocas se deberá hacer de acuerdo a los ciclos de trabajo.

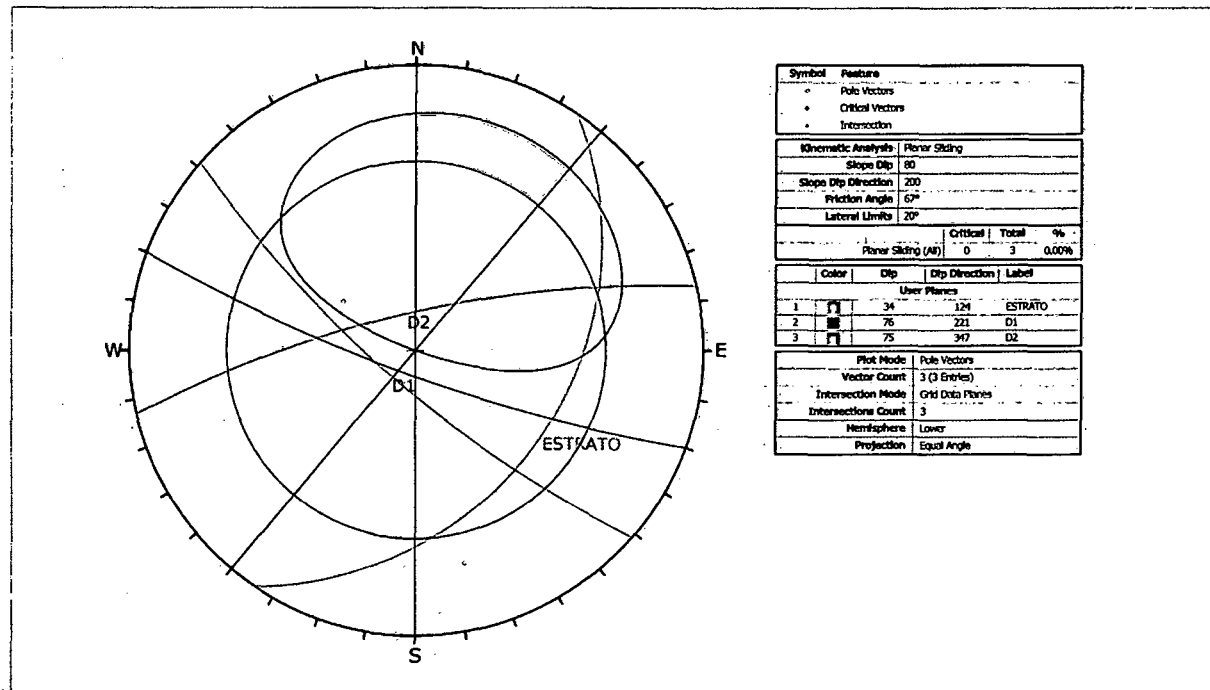


Figura 107. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-12.

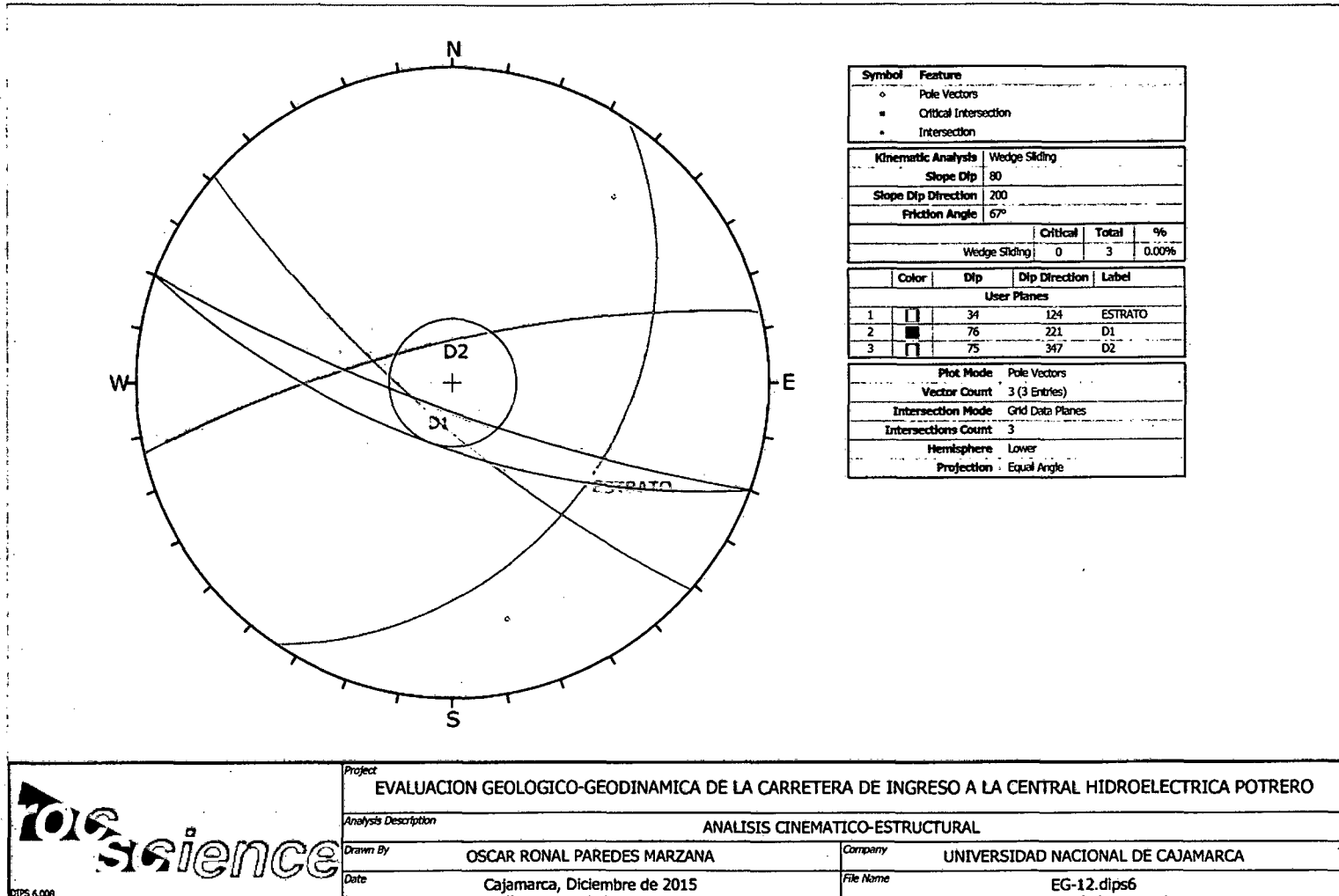


Figura 108. Estereograma en Dips, mostrando el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña.

5.2.6. Análisis Cinemático en Dips Estación 13

Deslizamiento Planar y en Cuña: En las Figuras 109 y 110, se observa que no hay deslizamiento planar ni deslizamiento en cuña respectivamente, debido a que el espesor de los estratos de las areniscas de la Formación Chimú, supera los 8 metros y las rocas en mención son muy resistentes (R5) y el grado de fracturamiento del macizo rocoso es bajo. Esta estación geomecánica abarca la entrada del túnel carretero y la dirección del túnel (N91°). La altura del talud vertical supera los 30 metros. Las condiciones litológicas y estructurales ofrecen buena estabilidad para la construcción del túnel.

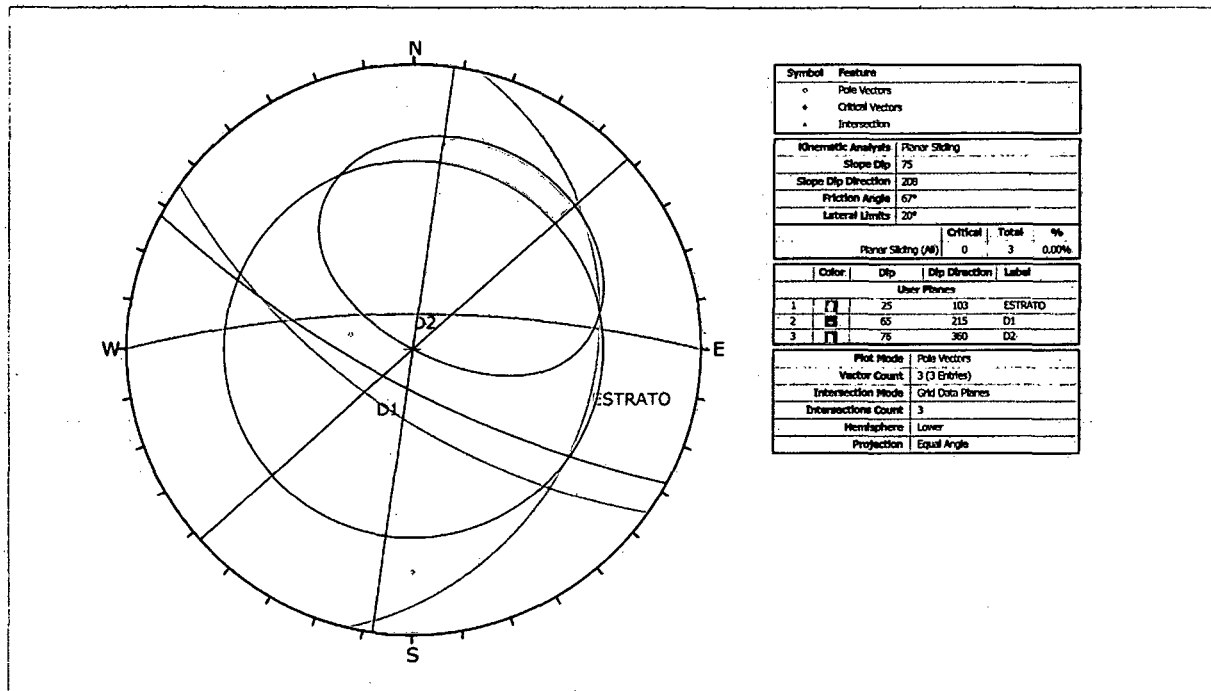


Figura 109. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento planar de la EG-13.

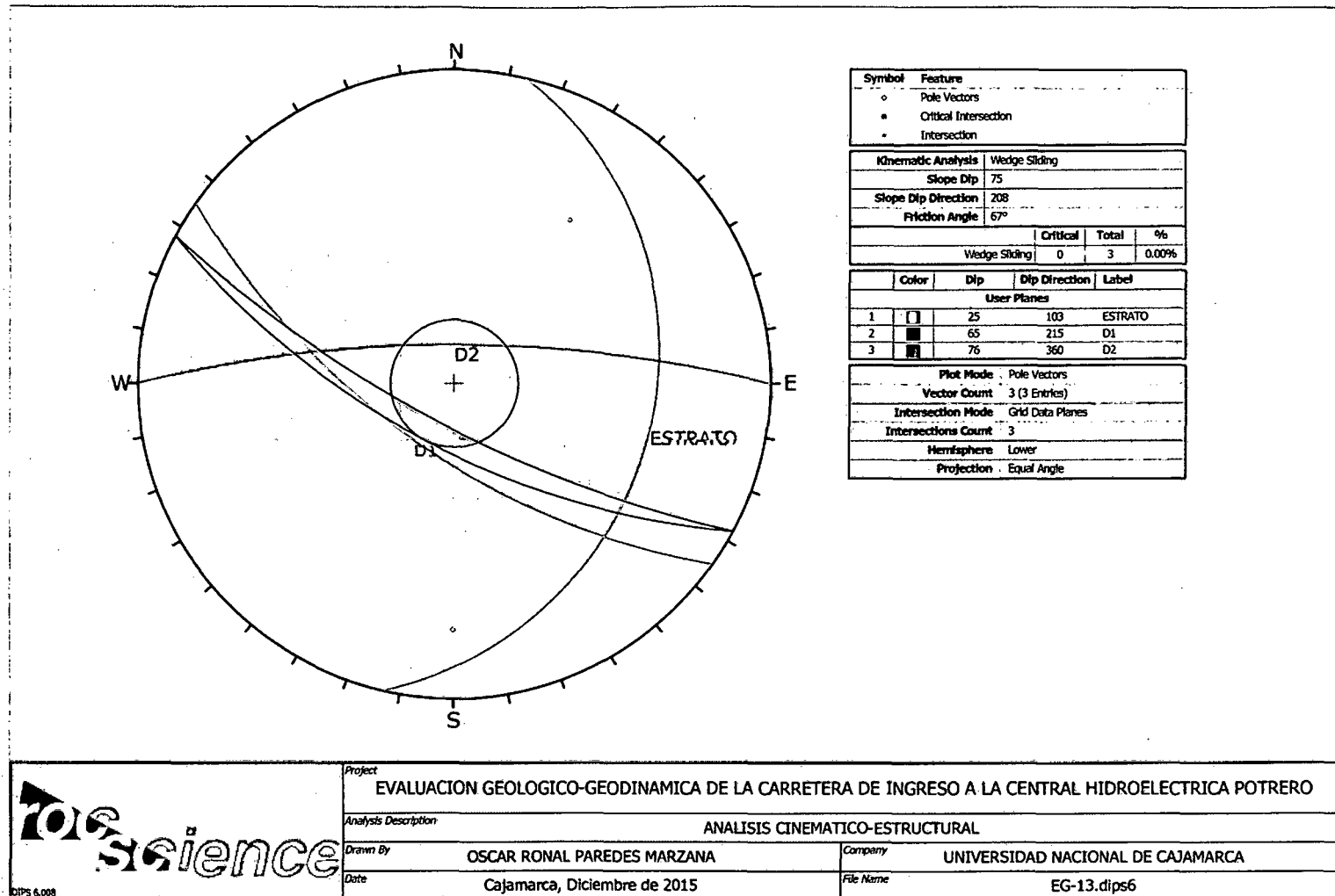


Figura 110. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático en deslizamiento en cuña de la EG-13.

5.2.7. Análisis Cinemático en Dips Estación 14

En la Figura 111, se observa la proyección estereográfica de la estación tomada en los primeros 30 metros del túnel carretero. En la caracterización geomecánica mediante el método de Bieniawski da un valor de 86, lo cual indica que el tipo de macizo rocoso es Tipo I, y la calidad de roca es muy buena; no obstante, el RMR a partir del índice Q, arroja un valor de 75 (Figura 112, Ver detalles en Anexo 02); esta diferencia puede estar relacionada al fracturamiento secundario producido mediante la voladura, además de la presencia de agua que disminuye el valor de la rugosidad y el ángulo de fricción.

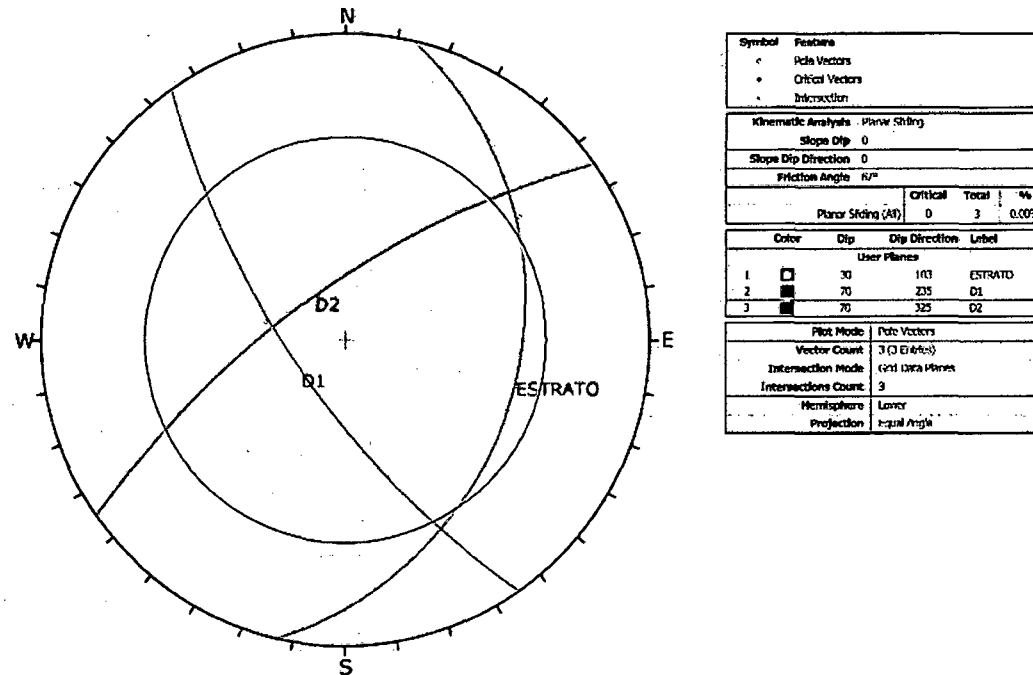


Figura 111. Estereograma en Dips, que muestra la orientación de las discontinuidades de la EG-14.

EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICO DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS										EG-14	
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA MEDIANTE Q DE BARTON											
PARÁMETROS									RANGO	VALOR	
RQD %									RQD	95.85	95
Índice de blocosidad (Número de discontinuidades)									Jn	9	9
Índice de rugosidad de las discontinuidades									Jr	3	3
Índice de alteración de las discontinuidades									Ja	1	1
Factor de reducción por presencia de agua subterránea									Jw	1	1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)									SRF	1	1
$Q = (RQD/Jn) \cdot (Jr/Ja) \cdot (Jw/SRF)$									Q =	31.6667	
$Q' = (RQD/Jn) \cdot (Jr/Ja)$									Q' =	31.6667	
$RMR = 9 \ln Q + 44$									RMR =	75.0974	
$RMR' = 9 \ln Q' + 44$									RMR' =	75.0974	
Q	< 0.01	0.01 - 0.1	0.1 - 1	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 100	100 - 400	> 400	32	
CLASIFICACIÓN	Excepcionalmente Malo	Extremadamente Malo	Muy Malo	Malo	Medio	Bueno	Muy Bueno	Extremadamente Bueno	Excepcionalmente Bueno		
SIMBOLOGÍA	Exc-M	Ext-M	MM	ML	MD	B	MB	Ext-B	Exc-B		
ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)									$GSI = RMR - 5$		70
						GSI	RMR	Q	SÍMBOLO		
TABLA GEOMECÁNICA						70	75	32	B		
OBSERVACIÓN	Los datos han sido tomados a 25 metros del portal, en el interior del túnel carretero.										

Figura 112. Clasificación geomecánica mediante el Q de Barton, $Q=32$, $GSI=70$, $RMR=75$ en la EG-14. (Elaboración Propia).

5.2.8. Análisis Cinemático en Dips Estación 15

En la Figura 113, muestra la proyección estereográfica de la estación realizada en el interior del túnel carretero a 50 metros del portal. La caracterización geomecánica mediante el método de Bieniawski da un valor de 74, lo que indica que el tipo de macizo rocoso es Tipo II, y la calidad de roca es buena; no obstante, el RMR a partir del índice Q, arroja un valor de 65 (Figura 114, Ver detalles en Anexo 02); esta diferencia puede estar relacionada al fracturamiento secundario producido mediante la voladura, además de la presencia de agua que disminuye el valor de la rugosidad y el ángulo de fricción.

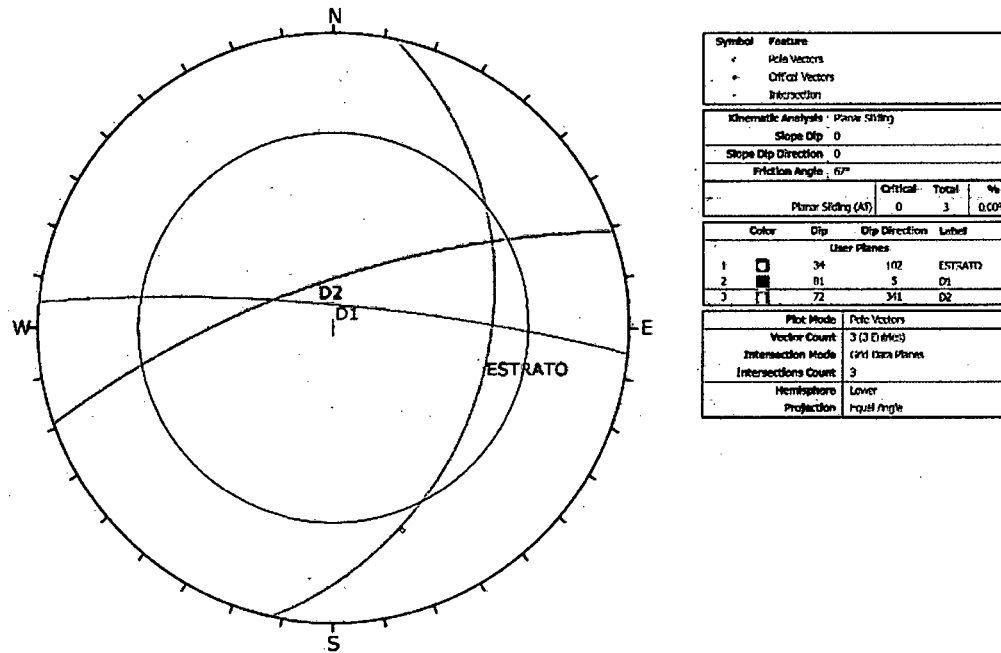


Figura 113. Estereograma en Dips, que muestra el comportamiento cinemático de la EG-15.

EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICO DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS										EG-15	
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA MEDIANTE Q DE BARTON											
PARÁMETROS									RANGO	VALOR	
RQD %									RQD	95.38	95
Índice de blocosidad (Número de discontinuidades)									Jn	9	9
Índice de rugosidad de las discontinuidades									Jr	3	3
Índice de alteración de las discontinuidades									Ja	2	2
Factor de reducción por presencia de agua subterránea									Jw	0.66	0.66
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)									SRF	1	1
$Q = (RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF)$									Q =	10.4500	
$Q' = (RQD/Jn) * (Jr/Ja)$									Q' =	15.8333	
$RMR = 9LnQ + 44$									RMR =	65.1194	
$RMR' = 9LnQ' + 44$									RMR' =	68.8591	
Q	< 0.01	0.01 - 0.1	0.1 - 1	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 100	100 - 400	> 400	10	
CLASIFICACIÓN	Excepcionalmente Malo	Extremadamente Malo	Muy Malo	Malo	Medio	Bueno	Muy Bueno	Extremadamente Bueno	Excepcionalmente Bueno		
SIMBOLOGÍA	Exc-M	Ext-M	MM	ML	MD	B	MB	Ext-B	Exc-B		
ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)									GSI = RMR - 5		60
						GSI	RMR	Q	SÍMBOLO		
TABLA GEOMECÁNICA						60	65	10	B		
OBSERVACIÓN	Los datos han sido tomados a 50 metros del portal, en el interior del túnel carretero.										

Figura 114. Clasificación geomecánica mediante el Q de Barton, Q=10, GSI=60, RMR=65 en la EG-15.

5.3. DESLIZAMIENTO CHICHIR

El deslizamiento Chichir, es aparentemente antiguo, sin embargo, parece estar reactivado porque se observa movimientos recientes que sin lugar a dudas hay que comprobar realizando un monitoreo completo del mismo, puesto que compromete a la zona donde se está construyendo el dique para la central hidroeléctrica pudiendo afectar a la carretera de ingreso un tramo de 550 metros, entre dique y el portal del túnel.

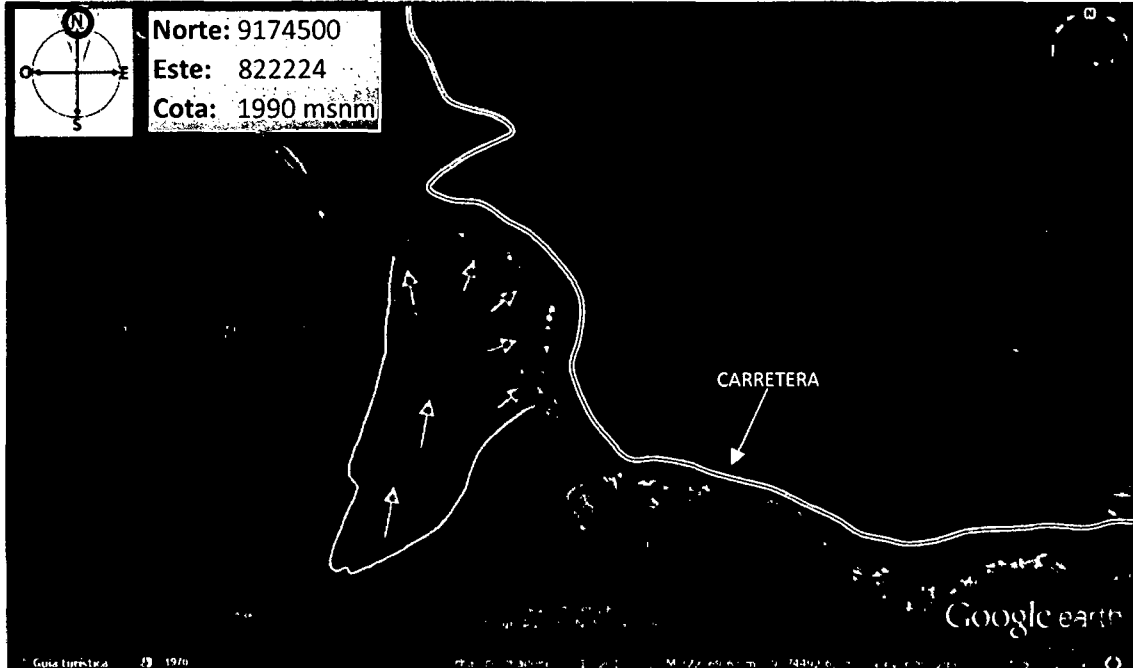


Figura 115. Deslizamiento Chichir en la margen derecha del río Crisnejas (aguas abajo), Fuente: Google Earth.

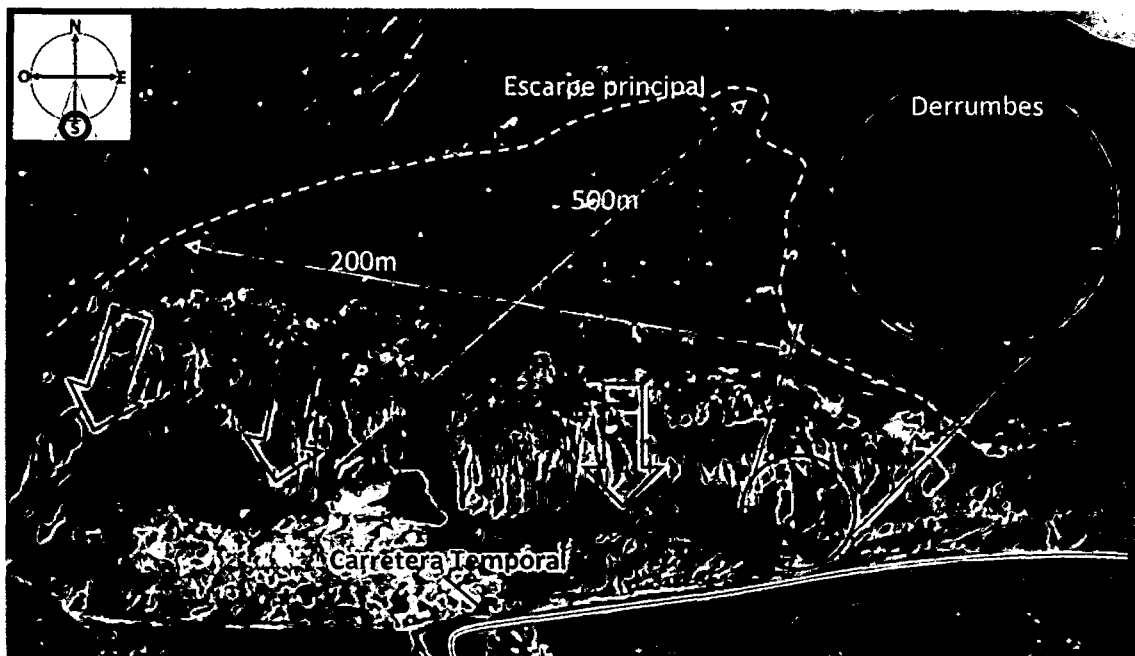


Figura 116. Dimensiones aproximadas del Deslizamiento Chichir.

En la anterior figura, se muestra el deslizamiento Chichir que tiene una dirección de deslizamiento N 355°, tiene una longitud de deslizamiento aproximada de 500m, un ancho aproximado de 200m, con diferencia de cotas entre la uña (punta) y la corona de 120m (Datos medidos en Google Earth Pro).

Evidencias del Deslizamiento Chichir

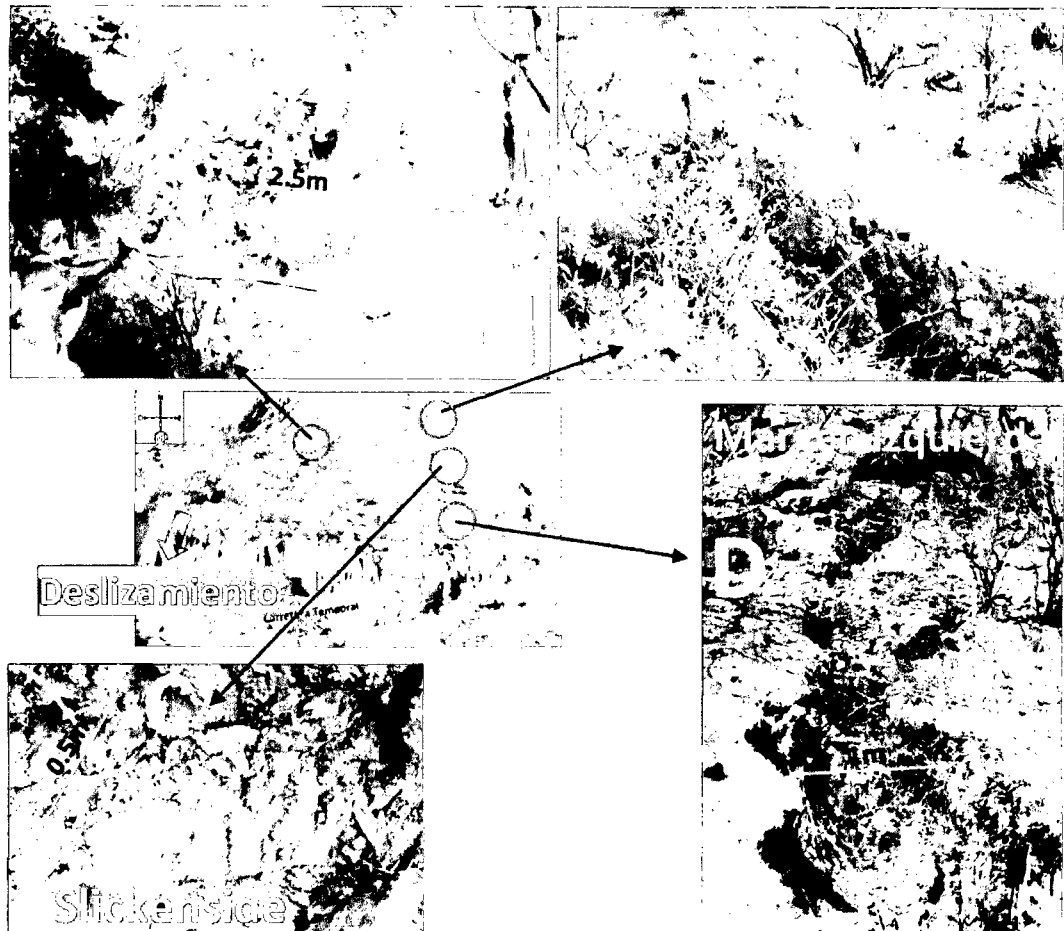


Figura 117. Fotografías que muestran evidencias del Deslizamiento Chichir. A: Grieta de tracción de 2.5 metros de abertura en el costado derecho. B: Grieta de tracción en la corona del deslizamiento. C: Grieta de tracción de 1 metro de abertura en el costado izquierdo (a 30 metros del río Crisnejas). D: Slickenside o espejo de falla de la grieta de tracción en el costado izquierdo del Deslizamiento Chichir.

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La carretera estudiada presenta inestabilidad geodinámica, debido a la litología y relieve de la zona, con pendientes altas, y precipitaciones entre los meses de noviembre y abril; dicha inestabilidad se presenta a través de deslizamientos, derrumbes y caídas de roca.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La evaluación geológico-geodinámica de la carretera de ingreso a la central hidroeléctrica potrero, determinó que la misma se viene construyendo sobre rocas jurásico-cretácicas que pertenecen a las Formaciones Chicama y Chimú, además, la zona presenta depósitos cuaternarios (coluviales y aluviales) que juegan un papel fundamental en el comportamiento geodinámico de los taludes y laderas adyacentes a la carretera, evidenciándose a través de eventos geodinámicos como caída de rocas, derrumbes y deslizamientos.
- Se realizó el cartografiado geológico en la zona de estudio encontrándose lutitas, areniscas grises y areniscas rojizas que pertenecen a la Formación Chicama del Jurásico Superior, infrayaciendo a las areniscas cuarzosas de grano medio a grueso que pertenecen a la Formación Chimú del Cretácico Inferior; asimismo se encontró depósitos coluviales en las laderas y taludes de la carretera y depósitos aluviales y fluviales en las riberas del río Crisnejas y quebradas adyacentes.
- Los principales eventos geodinámicos encontrados son; caída de rocas entre las progresivas 0+690 – 0+940, 0+960 - 1+250, y 1+500 - 1+790; derrumbes entre las progresivas 5+600 – 5+740, 6+300 – 6+340, 6+460 – 6+600, y 0+690 – 0+940 deslizamientos pequeños en las progresivas 4+700, 4+900, 6+400 y un deslizamiento de gran tamaño (500 m de largo por 200 metros de ancho y una diferencia de cotas de 120 metros entre la corona y la punta) que se encuentra frente a la zona del dique en la margen derecha del río Crisnejas, aparentemente este deslizamiento se ha reactivado y podría causar serios daños a la estructura del dique y a la carretera.

- Se elaboró el plano geomecánico y se clasificó a los taludes en cuatro categorías: taludes estables que suman un total de 2350 metros y que representan un 47%, taludes ligeramente inestables que suman una longitud de 1800 metros, que representan un 36%, taludes moderadamente inestables que suman 300 metros y que representan un 6% y finalmente taludes altamente estables que suman una longitud de 550 metros, y que representan un 11% de los 5000 metros que suma la longitud total de la carretera.
- Las zonas de mayor peligro se encuentran entre las progresivas 6+330 – 6+600 y 0+690 y 0+940 por las condiciones litológicas (depósitos coluviales) que podrían conllevar a deslizamientos en el Campamento - Dique y caídas de roca, derrumbes y deslizamientos en el tramo Dique - Casa de Máquinas. No obstante, si el Deslizamiento Chichir que aparentemente está reactivado, llegaría a fallar con velocidad rápida y alta intensidad por causa de lluvias fuertes o sismos, sería el de mayor peligro por la cercanía a la estructura del dique; además, ocasionaría una inundación en el río y el agua afectaría a la carretera estudiada.
- Las Estaciones 01, 02, 04, 06 y 16 son las que me presenta mayor inestabilidad en los taludes con factores de seguridad menor a 1 según datos procesados en Slide.

Tabla 12. Resumen de factor de seguridad, valoración RMR según Bieniawski e Índice Q de Barton de las estaciones geomecánicas.

ESTACIÓN	LITOLOGÍA	FS	RMR ₉₉	Q
01	Depósito coluvio-aluvial	0.997	-	-
02	Lutitas y areniscas	0.990	-	-
03	Lutitas negras, limolitas, con intercalaciones de areniscas rojizas	1.238	-	-
04	Lutitas negras, con intercalaciones de limolitas y areniscas rojizas	0.871	-	-
05	Depósitos coluviales, arcillas rojizas, areniscas, lutitas y fragmentos andesíticos	1.281	-	-
06	Depósitos coluviales con finos	0.766	-	-
07	Depósitos coluviales	1.103	-	-
08	Arenisca	-	65	-
09	Arenisca	-	84	-
10	Arenisca	-	73	-
11	Arenisca	-	90	-
12	Arenisca	-	91	-
13	Arenisca	-	91	-
14	Arenisca	-	86	32
15	Arenisca	-	74	10
16	Bloques de arenisca	0.869	-	-

RECOMENDACIONES

- **Monitorear al Deslizamiento Chichir, para determinar su estado real y tomar las medidas de control apropiadas y evitar daños a la estructura y al personal.**
- **Teniendo en cuenta los valores del factor de seguridad 0.869 en tensiones totales y 0.481 en tensiones totales más sismicidad, la empresa ejecutora, debe evaluar la construcción de una segunda banquetta de seguridad en los taludes entre las progresivas 0+690 y 0+940, para disminuir el ángulo de talud y la sobrecarga dando mayor seguridad a los transeúntes y vehículos que circulen por esta vía.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliaga, M. 2003. Estudio geológico-geotécnico para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado – Rio Nieva Tramo I: Puerto Naranjitos- Pedro Ruiz, Bagua-Amazonas. Fue presentado como tesis en la Universidad Mayor de San Marcos.

Bieniawski 1989: Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons. New York. 251 p.p.

Coraminas, J. y A. García Yagüe, A. (1997), "Terminología de los movimientos de ladera", in Alonso, E., J. Coraminas, J. Chacón, C. Oteo y J. Pérez (eds.), IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, III, Granada, España, pp. 1051-1072.

Cruden 1991. Simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology

Cruden, D.M.; Varnes, D.J. 1996. Landslide Types and Processes. In Turner, A.K. & Schuster, R.L., 1996: Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 675 p.p.

Deere, D. 1968. Geological considerations. Rock mechanics in engineering practice, Eds. K.G.Stagg and O.C.Zienkiewicz. John Wiley & Sons, London: pp. 1-20.

González, L; Ferrer, M; Ortuño L; Oteo, C. 2004. Ingeniería geológica. Madrid: Pearson Education. 2 Ed.

Hutchinson, J. N, 1968. Mass movement, en Fairbridge, R. W. (ed.), Encyclopedia of Earth Sciences, Reinhold New York, pp. 688-695.

Hutchinson, J. N. (1988), "General report, morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology, in Bonnard, C, (ed.), Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, A. A. BaJkema, Rotterdam, Netherlands, vol. I, pp. 3-35.

Marinos, P; Hoek, E. 2000 GSI: A Geologically Friendly tool for rock Mass Strength Estimation.

M. Ch. A. (s.f.). Diccionario Geológico. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/237936620/DICCIONARIO-GEOLOGICO>

Medina, J. 1991. Fenómenos geodinámicos. Estudio y medidas de tratamiento. Municipio Santiago de Cali, Colombia, 2005. Departamento Nacional de Planeación.

Reyes, L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. (Boletín N° 31 de la Serie A). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Editorial Lima-Perú.

Suarez, J. 1998. Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales, Colombia: Publicaciones UIS.

Suarez, J. 2004. Deslizamientos: Análisis geotécnico. (www.erosion.com.co)

Skepton, A; Hutchinson, J. 1969. Estabilidad de taludes y laderas naturales en fundaciones. Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos. Estado de México.

Varnes, D.J. 1978. Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, 1978: Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 234 p.p.

Villacorta, S; Núñez, S. 2006. Peligros geológicos y Comunicación con Comunidades en la Cuenta Alta del río Chancay-Lambayeque, Región Cajamarca. Sociedad Geológica del Perú (SGP)

Zavala, B; Rosado, M. 2011. Riesgo geológico en la región Cajamarca, (Boletín N° 44 de la Serie C). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET. Editorial: Lima-Perú.

ANEXOS

Anexo 01: Formatos RMR.....146-153

Formatos RMR de las Estaciones 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14 y 15.

Anexo 02: Cálculo del Q de Barton.....154-161

Cálculo del Q de Barton, de las Estaciones 14 y 15.

Anexo 03: Galería de Fotos.....162-167

Fotos 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11 y 12.

Anexo 04: Planos.....168-173

PLANO 01: DE UBICACIÓN

PLANO 02: TOPOGRÁFICO-SATELITAL

PLANO 03: DE PENDIENTES

PLANO 04: GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL

PLANO 05: GEOLÓGICO-GEOMECÁNICO

PLANO 06: DE ZONIFICACIÓN DE PELIGROS

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				TESIS:		EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																									
CÓDIGO: EG-08				UBICACIÓN:		CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																									
RESPONSABLE: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				PROGRESIVA:		0+445		TRAMO/INTERVALO		P. INICIAL: 0+380		P. FINAL: 0+450		LONGITUD (m)		70															
SISTEMA: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur				EJECUTADO POR: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA		FECHA (DD/MM/AA):				30/11/2015																					
DIS. NR.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																								
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓGICO / FORMAC.	METEORIZACIÓN		GSI	Tipos	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN									
					1=Fresco	2=Medio					3=Mod	4=Alt Met	5=Comp					1=Alto	2=Medio				3=Bajo	1=No trinchado	2=Ondulado	ND: 84	INCLINACIÓN			TIPO	DUREZA
																											Z/R	DIP	DD		
1	822654	9174280	1933	Ar/Ki-Chi	3	1	2B	E	1	79.43	12	45	102	3	5	5	3			3	1	1									
2	822654	9174280	1933	Ar/Ki-Chi	3	1	2B	D1	1	79.43	93	83	183	2	3	5	3			3	1	1									
3	822654	9174280	1933	Ar/Ki-Chi	3	1	2B	D2	1	79.43	239	51	329	3	1	5	3			3	1	1									
							Talud				104	84	194																		



Formato RMR
Bieniawski, (1989)
(Superficie)

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino Y. Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C. Modificado Final: Bach. Ronal Paredes M.

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																		
UBICACIÓN :				CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
CÓDIGO:	EG-09	PROGRESIVA:	0+955	TRAMO/INTERVALO	P. INICIAL:	0+950	P. FINAL:	0+975	LONGITUD (m)	25												
RESPONSABLE:	OSCAR RONAL PAREDES MARZANA			HOJA Nº:	02	DE:	08	FECHA (DD/MM/AA):				29/11/2015										
SISTEMA:	WGS 1984 UTM Zona 17 Sur			EJECUTADO POR:	OSCAR RONAL PAREDES MARZANA																	
DIS. NR.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	MITIFORME ZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAJ.	RCD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
INCLINACIÓN											TIPO	DUREZA										
					1=Preso	1=Alto	2=Medio-Regul.	E=Distorsión	C _i	ND: 19	DIRECCIÓN			1=> 2	1=< 1	1=No llene	1=Muy Rugosa	1=Arcilloso	1=Muy blanda	1=Alterada	1=Seco	1=Lac. Real
					2=Medio	2=Medio-Regul.	O=Clasica	ND: 19		DIRECCIÓN			1= 2 - 0.6	2= 1 - 3	2= 0.1	2=Rugosa	2= Oz / Siliceo	2=Duro < 5mm	2=Mod. Alterada	2= Húmedo	2=Lact. Agriente	
					3=Mod	3=Bajo	3=Med y Capes	F=Fr. Inversa	λ= 3.8	DIRECCIÓN			3= 0.8 - 0.2	3= 3 - 10	3= 0.1 - 3.0	3=Lig. Rugosa	3= Caliza	3=Duro > 5mm.	3=Mod. Alterada	3= Mojado	3=Lac. Proyectada	
					4=Alt Met		4=Fract. Intersección	F=Fr. Direccional	λ= 3.8	DIRECCIÓN			4= 0.2 - 0.06	4= 10 - 20	4= 1.0 - 5.0	4= Ondulad. Bta	4= Óxidos	4= Suave < 5mm.	4= Muy Alterada	4= Gotico		
					5=Comp		5=Microfalla	F=Fr. Direccional	λ= 3.8	DIRECCIÓN			5= < 0.06	5= > 20	9= > 5	5= Suave	5= Roca Tritur.	5= Suave > 5mm.	5= Descompuesta	5= Frío		
							Agregar: MB, B, M, P, MP	S= Sobresac.	4	Z/R	DIP	DD					6= Brecha					
								C= Contacto	4							7= Parito						
									4							8= Veta						
1	823163	9174145	1912	Ar/Ki-Chi	2	2	2B	E	4	94.37	9	36	100	2	5	2	1		2	1	1	
2	823163	9174145	1912	Ar/Ki-Chi	2	2	2B	D1	4	94.37	304	75	34	1	4	2	2		2	1	1	
3	823163	9174145	1912	Ar/Ki-Chi	2	2	2B	D2	4	94.37	234	66	64	1	3	2	1		2	1	1	
							Talud				105	75	195									

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01 : Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificado Final: Bach. Ronal Paredes M.



Formato RMR
Bieniawski, (1989)
(Superficie)

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				TESIS:	EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																	
CÓDIGO: EG-11				UBICACIÓN:	CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																	
RESPONSABLE: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				PROGRESIVA:	1+020		TRAMO/INTERVALO		P. INICIAL:		1+006		P. FINAL:		1+035		LONGITUD (m)		29			
SISTEMA: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur				HOJA Nº:	04		DE:		08		EJECUTADO POR:	OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				FECHA (DD/MM/AA):		29/11/2015				
DATA GPS				MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS														
DIS. NR.	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	MITIGACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
											INCLINACIÓN							TIPO	DUREZA			
					1=Preso	1 = Alto	1=Blq-Regul.	D=Estratificación		ND: 25	1 = > 2	1 = < 1	1=No llena	1=bluy Rugosa	1 = Arcilloso	1 = Nln/Runa	1=Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real			
					2=Med	2 = Medio	2=Blq-Irregul.	D=Clasificación		L: 15	2 = 2 - 0,6	2 = 1 - 3	2=0,1	2=Rugosa	2 = Qz / Siliceo	2=Duro < 5mm	2=Mod. Alterada	2 = Húmedo	2=Lec. Abierta			
					3=Mod	3 = Bajo	3=Blq y Capas	D=Fr. Inversa	Prom golpes	λ = 1.67	3 = 0,6 - 0,2	3 = 3 - 10	3=0,1 - 1,0	3=lg. Rugosa	3 = Calizo	3=Duro > 5mm.	3=Mod. Alterada	3 = Mojado	3=Lec. Proyectada			
					4=Alt Met		4=Fract-interno	D=Fr. Direccional	Yp=		4=0,2 - 0,06	4=10 - 20	4=1,0 - 5,0	4=Ondulad-Ra	4 = Óxidos	4=Suzave < 5mm.	4=Muy Alterada	4 = Gotero				
					5=Comp		5=Fract-externo	D=Microfract.	6		5 = < 0,06	5 = > 20	5 = > 5	5=Suzave	5 = Roca Tritur.	5=Suzave > 5mm.	5=Descompuesta	5 = Flujo				
							6=Fract-externo	D=Microfract.							6 = Brecha							
							7=Fract-externo	D=Microfract.							7 = Parbo							
							8=Contacto	D=Contacto							8 = Veta							
1	823226	9174161	1917	Ar/Ki-Chi	2	3	2	E	6	98.76	18	40	108	1	5	2	1		2	1	1	
2	823226	9174161	1917	Ar/Ki-Chi	2	3	2	D1	6	98.76	300	74	30	1	3	2	2		2	1	1	
3	823226	9174161	1917	Ar/Ki-Chi	2	3	2	D2	6	98.76	278	76	18	1	3	1	2		2	1	1	
								Talud			115	70	205									

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01 : Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificado Final: Bach. Ronal Paredes M.



Formato RMR
Bieniowski, (1989)
(Superficie)

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				TESIS:	EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																		
CÓDIGO: EG-12				UBICACIÓN:	CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
RESPONSABLE: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				PROGRESIVA:	1+100		TRAMO/INTERVALO	P. INICIAL:	1+045		P. FINAL:	1+215		LONGITUD (m)	170								
SISTEMA: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur				HOJA N°:	05		DE:	08		EJECUTADO POR:	OSCAR RONAL PAREDES MARZANA			FECHA (DD/MM/AA):	29/11/2015								
DIS. N°	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓGIC/ FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
								Estratificación	Dióclases			INCLINACIÓN							TIPO	DUREZA			
												λ	φ	ψ									
1 = Fresco	1 = Alto	1 = Bloq. Irregul.	1 = Normal	ND: 18	1 = > 2	1 = < 1	1 = No tiene	1 = Muy Rugosa	1 = Alterada	1 = Seco													
2 = Lav. Med	2 = Medio	2 = Bloq. Irregul.	2 = Inversa	L: 10	2 = 2 - 0,5	2 = 1 - 3	2 = 0,1	2 = Rugosa	2 = Lig. Alterada	2 = Húmedo													
3 = Mod	3 = Bajo	3 = Bloq. y Capas	3 = Direccional	λ = 1.8	3 = 0,5 - 0,2	3 = 3 - 10	3 = 0,1 - 1,0	3 = Lig. Rugosa	3 = Mod. Alterada	3 = Mojado													
4 = Alt. Met	4 = Fract. Interno	4 = Fract. y Capas	4 = Direccional	5	4 = 0,2 - 0,05	4 = 10 - 20	4 = 1,0 - 5,0	4 = Ondulada-Es	4 = Muy Alterada	4 = Goteo													
5 = Compil	5 = Fract. Externo	5 = Fract. y Capas	5 = Direccional	5	5 = < 0,05	5 = > 20	5 = > 5	5 = Suave	5 = Descompuesta	5 = Flujo													
												Z/R	DIP	DD									
												6 = Brecha	7 = Perfor	8 = Veta									
1	823303	9174162	1907	Ar/Ki-Chi	2	3	1	E	5	98.56	34	34	124	1	5	1	1			2	1	1	
2	823303	9174162	1907	Ar/Ki-Chi	2	3	1	D1	5	98.56	131	76	221	1	4	1	1			2	1	1	
3	823303	9174162	1907	Ar/Ki-Chi	2	3	1	D2	6	98.56	257	75	347	1	4	1	1			2	1	1	
								Talud			110	80	200										



Formato RMR
Bieniawski, (1989)
(Superficie)

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				TESIS:	EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																				
UBICACIÓN:				CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																					
CÓDIGO:		EG-13		PROGRESIVA:		1+245		TRAMO/INTERVALO		P. INICIAL:		1+230		P. FINAL:		1+250		LONGITUD (m)		20					
RESPONSABLE:				OSCAR RONAL PAREDES MARZANA		HOJA Nº:		06		DE:		08		OBSERVACIÓN:								INICIO DE TÚNEL CARRETERO			
SISTEMA:				WGS 1984 UTM Zona 17 Sur		EJECUTADO POR:				OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				FECHA (DD/MM/AA):				29/11/2015							
DATA GPS				MACIZO ROCOSO										PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS											
DIS. NR.	BSTB	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	TIPOS			RESIST. COMP. UNIAJ.	RCD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN				
					METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI			INCLINACIÓN							TIPO	DUREZA							
					1= Fresco	1= Alto	1= Bloq. Regul.	1= Estratificación	ND: 14				1= > 2	1= < 1	1= No tiene	1= Muy Rugosa	1= Arcilloso	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real				
					2= Lev. Med	2= Medio	2= Bloq. Irregul.	2= Dificil					2= 2 - 0,5	2= 1 - 3	2= 0,1	2= Rugosa	2= Oz / Siliceo	2= Duro < 5mm	2= Muy Alterada	2= Inmido	2= Lect. Altrada	2= Inmido	2= Lect. Altrada		
					3= Mod	3= Bajo	3= Bloq. y Capas	3= F. Inversa	3= 0,6 - 0,2	3= 3 - 10	3= 0,1 - 1,0	3= Lg. Rugosa	3= Caliza	3= Duro > 5mm.	3= Mod. Alterada	3= Mojado	3= Lect. Altrada	3= Mojado	3= Lect. Altrada	3= Lec. Proyectada					
					4= Alt. Met	4= Fract. Interno	4= Fract. Interno	4= F. Direccional	Prom golpes	λ= 1.4	DIRECCIÓN			4= 0,2 - 0,05	4= 10 - 20	4= 1,0 - 5,0	4= Ondulad-Res	4= Óxidos	4= Muy Alterada	4= Gotero					
					5= Compul	Agregar: M, B, S, M, P, MP	5= Sobreses.	6	Yp=	5= < 0,05				5= > 20	5= > 5	5= Suave	5= Roca Tritur.	5= Suave > 5mm.	5= Descompuesta	5= Flujo					
										Z/R	DIP	DD				6= Brecha									
																7= Parizo									
																8= Veta									
1	823435	9174190	1905	Ar/Ki-Chi	2	3	1	E	6	99.11	13	25	103	1	5	1	1		2	1	1				
2	823435	9174190	1905	Ar/Ki-Chi	2	3	1	D1	6	99.11	125	65	215	1	5	1	1		2	1	1				
3	823435	9174190	1905	Ar/Ki-Chi	2	3	1	D2	6	99.11	270	76	360	1	5	1	1		2	1	1				
								Talud			118	75	208												

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación Final: Bach. Ronal Paredes M.



Formato RMR
Bieniawski, (1989)
(Superficie)

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				TESIS:	EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																	
CÓDIGO: EG-14				UBICACIÓN:	CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																	
RESPONSABLE: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				PROGRESIVA: 1+275	TRAMO/INTERVALO		P. INICIAL: 0+000		P. FINAL: 0+030		LONGITUD (m)		30									
SISTEMA: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur				HOJA Nº: 07	DE: 08	OBSERVACIÓN: ESTACIÓN GEOMECÁNICA REPRESENTATIVA DE LOS 30 PRIMEROS METROS DE TÚNEL CARRETERO																
				EJECUTADO POR: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA	FECHA (DD/MM/AA): 01/12/2015																	
DATA GPS				MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
DIS. Nº	ESTB	NORTE	COTA	LITOLÓGICO / FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIA.	RQD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE DEFORMACIÓN
											INCLINACIÓN							TIPO	DUREZA			
					1= Fresco 2= Lev Med 3= Med 4= Alt Med 5= Comp	1= Alto 2= Medio 3= Bajo	1= Bloq-Regul. 2= Bloq-irregul. 3= Bloq y Capas 4= Fract-intenso 5= Agreg: M, B, G, M, P, MP	1= Estratificación 2= Diaclas 3= FmF, Norm 4= FmF, Inversa 5= FmF, Diferencial 6= Microfract. 7= Sobresesc. 8= Contacto	σ _{ci} L: 5 λ= 3.2 γ _p	ND: 16	Z / R DIP DD			1= > 2 2= 2 - 0,6 3= 0,6 - 0,2 4= 0,2 - 0,06 5= < 0,06	1= < 1 2= 1 - 3 3= 3 - 10 4= 10 - 20 5= > 20	1= No tiene 2= 0,1 3= 0,1 - 1,0 4= 1,0 - 5,0 5= > 5	1= Muy Rugosa 2= Rugosa 3= Lig. Rugosa 4= Ondulad-asa 5= Suave	1= Arcilloso 2= Oz / Silice 3= Cakita 4= Óxidos 5= Rocas Tritur.	1= Muyuna 2= Duro < 5mm 3= Duro > 5mm. 4= Suave < 5mm. 5= Suave > 5mm.	1= Inalterada 2= Lig. Alterada 3= Med. Alterada 4= Muy Alterada 5= Descompuesta	1= Seco 2= Húmedo 3= Mojado 4= Gotero 5= Flujo	1= Lec. Real 2= Lect. Aparenta 3= Lect. Proyectada
1	823462	9174191	1903	Ar/Ki-Chi	1	2	2	E	5	95.85	13	30	103	1	5	1	2			1	1	1
2	823462	9174191	1903	Ar/Ki-Chi	1	2	2	D1	5	95.85	145	70	235	1	2	1	2			1	1	1
3	823462	9174191	1903	Ar/Ki-Chi	1	2	2	D2	5	95.85	235	70	325	1	1	1	2			1	1	1
											95	90	185									



Formato RMR
Bieniawski, (1989)
(Superficie)

Diseño Original : M.Sc. Víctor Valentín Y. Modificación 01 : Ing. Reinaldo Rodríguez C. Modificado Final: Bach. Ronal Paredes M.

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICA DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS																		
CÓDIGO: EG-15				UBICACIÓN: CHIRIMOYO - AGUAS CALIENTES - EDUARDO VILLANUEVA - SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
RESPONSABLE: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				PROGRESIVA: 1+295				TRAMO/INTERVALO		P. INICIAL: 0+030		P. FINAL: 0+050		LONGITUD (m)		20						
SISTEMA: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur				EJECUTADO POR: OSCAR RONAL PAREDES MARZANA				FECHA (DD/MM/AA): 01/12/2015				OBSERVACIÓN: ESTACIÓN GEOMECÁNICA REPRESENTATIVA ENTRE LOS 30 Y 50 METROS DE TÚNEL CARRETERO										
DIS. NR.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAK.	RQD (Tramo)	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERACIÓN METEORIZACIÓN	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
											INCLINACIÓN							TIPO	DUREZA			
											Z/R	DIP	DD					6 = Brecha	7 = Panizo			
1	823484	9174193	1901	Ar/Ki-Chi	1	2	2	E	5	95.38	12	34	102	1	5	1	2			1	2	1
2	823484	9174193	1901	Ar/Ki-Chi	1	2	2	D1	5	95.38	275	81	5	1	3	1	2			1	2	1
3	823484	9174193	1901	Ar/Ki-Chi	1	2	2	D2	5	95.38	251	72	341	1	3	1	2			1	2	1
											100	85	190									

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01 : Ing. Reynaldo Rodriguez C.

Modificado Final: Bach. Ronal Paredes M.



Formato RMR
Bieniowski, (1989)
(Superficie)

ANEXO 02: Cálculo del Q de Barton

Cálculo del índice Q de Barton de la Estación 14

El índice Q se calculó utilizando la siguiente fórmula:
$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Tabla 01: Índice de Calidad de la Roca (RQD)

ÍNDICE DE CALIDAD	RQD	OBSERVACIONES
A. Muy mala	0 - 25	1.- cuando RQD 10, incluyendo cero; se puede utilizar el valor 10 para el RQD. 2.- Intervalos de 5 para RQD, ó sea 100, 95, 90 son precisos.
B. Mala	25 - 50	
C. Regular	50 - 75	
D. Buena	75 - 90	
E. Excelente	90 - 100	

Tabla 02: Número de familias de discontinuidades (J_n)

NUMERO DE FAMILIAS	J _n	OBSERVACIONES
A.- Masivo, sin o con pocas juntas	0.5 - 1	1.- Para cruces en túneles utilizar (3 J _n) 2.- Para Portales utilizar (2 J _n)
B.- Una familia de juntas	2	
C.- Una familia y algunas juntas ocasionales	3	
D.- Dos familias de juntas	4	
E.- Dos familias y algunas juntas	6	
F.- Tres familias de juntas	9	
G.- Tres familias y algunas juntas	12	
H.- Cuatro familias o más, roca muy fracturada.	15	
I.- Roca triturada terrosa	20	

Tabla 03: Rugosidad de las discontinuidades (J_r)

RUGOSIDAD	J _r	OBSERVACIONES
- Contacto entre las dos caras de la junta - Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral 10 cm		1.- Se añade 1.0 si el espaciamiento medio juntas es mayor de 3 m. 2.- J _r = 0.5 se puede usar Para juntas de fricción Planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.
A.- Juntas discontinuas	4	
B.- Junta rugosa o irregular ondulada	3	
C.- Suave ondulada	2	
D.- Espejo de falla, ondulada	1.5	
E.- Rugosa o irregulares plana	1.5	
F.- Suave plana	1	
G.- Espejo de falla o superficie de fricción plana.	0.5	
- Sin contacto entre las dos caras de la junta desplazados lateralmente		
H.- Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.	1	
I.- Zona arenosa con grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1	

Tabla 04: Alteración de las discontinuidades (Ja)

ALTERACION	J_a	ϕ (Aprox.)	OBSERVACIONES
- Contacto entre las dos caras de la junta.			1.- Los valores de ϕ el ángulo de fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes.
A.- Junta sellada, dura, sin reblandecimiento, relleno impermeable ej. Cuarzo.	0.75		
B.- Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25° - 35°	
C.- Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25° - 30°	
D.- Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no blanda.	3	20° - 25°	
E.- Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ej. Caolinita, mica, clorita, talco, y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 1 ó 2 mm	4	8° - 16°	
- Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.			
F.- Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.	4	25° - 30°	
G.- Fuertemente sobreconsolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	6	16° - 24°	
H.- Sobreconsolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	8	8° - 16°	
I.- Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El valor J_a depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12	6° - 12°	
- No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.			
J.- Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.	6 - 8 8 - 12	6° - 24°	
K.- Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandecimiento.	5	6° - 24°	
L.- Zonas o capas gruesas de arcilla.	10 - 13 13 - 20	6° - 24°	

Tabla 05: Factor de reducción por presencia de agua subterránea en las discontinuidades (J_w)

PRESENCIA DE AGUA EN LAS DISCONTINUIDADES	J_w	Presión del agua (Kg / cm ²)	OBSERVACIONES
A.- Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min. Localmente.	1	< 1	1.- Los factores de C a E, son estimaciones aproximadas aumenta J_w si se instalan drenes. 2.- Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.
B.- Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.	0.66	1 - 2.5	
C.- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0.33	2.5 - 10	
D.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con las voladuras disminuyendo con el tiempo.	0.1 - 0.2	> 10	
E.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente alta y continua, sin disminución.	0.05 - 0.1	> 10	

Tabla 06: Factor de reducción de esfuerzos (SRF)

FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS			SRF	OBSERVACIONES
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.				1.- Redúzcanse estos valores SRF de 25%-50% si las zonas de fractura solo se intersectan pero no cruzan la excavación.
A.- Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).			10	
B.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.).			5	
C.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m.).			2.5	
D.- Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).			7.5	
E.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m.).			5	
F.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m.).			2.5	
G.- Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).			5	
- Roca Competente, problemas de esfuerzos.			σ_c / σ_1	2.- Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico, medidas: cuando $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, redúzcase a 0.8 la σ_c y el σ_1 . Cuando σ_1 y $\sigma_3 > 10$, redúzcase a 0.6 la σ_c y el σ_1 . donde: σ_c = Resistencia Compresiva. σ_t = Esfuerzo a la tracción σ_1 = Esfuerzo Principal Mayor.
H.- Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.			> 200	
I.- Esfuerzo medio.			200-10	
J.- Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad. Puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales)			10-5	
K.- Desprendimiento moderado de la roca masiva.			5-2.5	
L.- Desprendimiento intenso de la roca masiva.			< 2.5	
- Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.			> 13	
M.- Presión de flujo moderado.			13-0.66	
N.- Presión de Flujo Intenso.			1.0	
- Roca expansiva, actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.			0.66-0.33	
O.- Presión de expansión Moderado.			0.5-2	
P.- Presión de expansión Intensa.			0.5-10	
- Roca Competente, problemas de esfuerzos.			0.33-0.16	3.- Hay pocos casos reportados donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5 para estos casos, ver H
M.- Presión de flujo moderado.			10-20	
N.- Presión de Flujo Intenso.			5-10	
O.- Presión de expansión Moderado.			10-15	
P.- Presión de expansión Intensa.				

Tabla 07: Calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del índice Q de Barton

Q	CALIDAD
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Extremadamente mala
0.1 – 1	Muy mala
1 – 4	Mala
4 – 10	Regular
10 – 40	Buena
40 – 100	Muy buena
100 – 400	Extremadamente buena
400 -1000	Excepcionalmente buena

Cálculo del índice Q de Barton de la Estación 15

El índice Q se calculó utilizando la siguiente fórmula:
$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Tabla 01: Índice de Calidad de la Roca (RQD)

ÍNDICE DE CALIDAD	RQD	OBSERVACIONES
A. Muy mala	0 - 25	1.- cuando RQD 10, incluyendo cero; se puede utilizar el valor 10 para el RQD. 2.- Intervalos de 5 para RQD, ó sea 100, 95, 90 son precisos.
B. Mala	25 - 50	
C. Regular	50 - 75	
D. Buena	75 - 90	
E. Excelente	90 - 100	

Tabla 02: Número de familias de discontinuidades (J_n)

NUMERO DE FAMILIAS	J _n	OBSERVACIONES
A.- Masivo, sin o con pocas juntas	0.5 - 1	1.- Para cruces en túneles utilizar (3 J _n) 2.- Para Portales utilizar (2 J _n)
B.- Una familia de juntas	2	
C.- Una familia y algunas juntas ocasionales	3	
D.- Dos familias de juntas	4	
E.- Dos familias y algunas juntas	6	
F.- Tres familias de juntas	9	
G.- Tres familias y algunas juntas	12	
H.- Cuatro familias o más, roca muy fracturada.	15	
I.- Roca triturada terrosa	20	

Tabla 03: Rugosidad de las discontinuidades (J_r)

RUGOSIDAD	J _r	OBSERVACIONES
- Contacto entre las dos caras de la junta - Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral 10 cm		1.- Se añade 1.0 si el espaciamiento medio juntas es mayor de 3 m. 2.- J _r = 0.5 se puede usar Para juntas de fricción Planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.
A.- Juntas discontinuas	4	
B.- Junta rugosa o irregular ondulada	3	
C.- Suave ondulada	2	
D.- Espejo de falla, ondulada	1.5	
E.- Rugosa o irregulares plana	1.5	
F.- Suave plana	1	
G.- Espejo de falla o superficie de fricción plana.	0.5	
- Sin contacto entre las dos caras de la junta desplazados lateralmente		
H.- Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.	1	
I.- Zona arenosa con grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1	

Tabla 04: Alteración de las discontinuidades (Ja)

ALTERACION	I_a	ϕ (Aprox.)	OBSERVACIONES
- Contacto entre las dos caras de la junta.			1.- Los valores de ϕ el ángulo De fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes.
A.- Junta sellada, dura, sin reblandecimiento, relleno impermeable, ej. Cuarzo.	0.75		
B.- Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25° - 35°	
C.- Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25° - 30°	
D.- Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no blanda.	3	20° - 25°	
E.- Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ej. Caolinita, mica, clorita, talco, y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 1ó 2 mm	4	8° - 16°	
- Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.			
F.- Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.	4	25° - 30°	
G.- Fuertemente sobreconsolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	6	16° - 24°	
H.- Sobreconsolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	8	8° - 16°	
I.- Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El valor I_a depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12	6° - 12°	
- No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.			
J.- Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.	6 - 8 8 - 12	6° - 24°	
K.- Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandecimiento.	5	6° - 24°	
L.- Zonas o capas gruesas de arcilla.	10 - 13 13 - 20	6° - 24°	

Tabla 05: Factor de reducción por presencia de agua subterránea en las discontinuidades (Jw)

PRESENCIA DE AGUA EN LAS DISCONTINUIDADES	J_w	Presión del agua (Kg / cm ²)	OBSERVACIONES
A.- Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min Localmente	1	< 1	1.- Los factores de C a E, son estimaciones aproximadas aumenta J_w si se instalan drenes. 2.- Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.
B.- Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.	0.66	1 - 2.5	
C.- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0.33	2.5 - 10	
D.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con las voladuras disminuyendo con el tiempo.	0.1 - 0.2	> 10	
E.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente alta y continua, sin disminución.	0.05 - 0.1	> 10	

Tabla 06: Factor de reducción de esfuerzos (SRF)

FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS			SRF	OBSERVACIONES
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.				
A.- Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).			10	1.- Redúzcanse estos valores SRF de 25%-50% si las zonas de fractura solo se intersectan pero no cruzan la excavación.
B.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.).			5	
C.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m.).			2.5	
D.- Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).			7.5	
E.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m.).			5	
F.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m.).			2.5	
G.- Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).			5	
- Roca Competente, problemas de esfuerzos.	σ_c / σ_1	σ_1 / σ_3		2.- Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico, medidas: cuando $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, redúzcase: a 0.8 la σ_c y el σ_1 . Cuando σ_1 y $\sigma_3 > 10$, redúzcase: a 0.6 la σ_c y el σ_1 . donde: σ_c = Resistencia Compresiva. σ_1 = Esfuerzo a la tracción σ_3 = Esfuerzo Principal Mayor.
H.- Esfuerzo bajo, cerca de la superficie	> 200	> 13	2.5	
I.- Esfuerzo medio.	200-10	13-0.66	1.0	
J.- Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad. Puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales)	10-5	0.66-0.33	0.5-2	
K.- Desprendimiento moderado de la roca masiva.	5-2.5	0.33-0.16	05-10	
L.- Desprendimiento intenso de la roca masiva.	< 2.5	< 0.16	10-20	
- Roca fluente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.				3.- Hay pocos casos reportados donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5 para estos casos, ver H
M.- Presión de flujo moderado.			5-10	
N.- Presión de Flujo Intenso.			10-20	
- Roca expansiva, actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.				
O.- Presión de expansión Moderado.			5-10	
P.- Presión de expansión Intensa.			10-15	

Tabla 07: Calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del índice Q de Barton

Q	CALIDAD
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Extremadamente mala
0.1 – 1	Muy mala
1 – 4	Mala
4 – 10	Regular
10 – 40	Buena
40 – 100	Muy buena
100 – 400	Extremadamente buena
400 -1000	Excepcionalmente buena

Formato Resumen del Cálculo del Índice Q de Barton de la Estación 14

EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICO DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS										EG-14
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA MEDIANTE Q DE BARTON										
PARÁMETROS									RANGO	VALOR
RQD %						RQD		95.85	95	
Índice de blocosidad (Número de discontinuidades)						Jn		9	9	
Índice de rugosidad de las discontinuidades						Jr		3	3	
Índice de alteración de las discontinuidades						Ja		1	1	
Factor de reducción por presencia de agua subterránea						Jw		1	1	
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)						SRF		1	1	
Q = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)									Q =	31.6667
Q' = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)									Q' =	31.6667
RMR = 9LnQ+44									RMR =	75.0974
RMR' = 9LnQ'+44									RMR' =	75.0974
Q	< 0.01	0.01 - 0.1	0.1 - 1	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 100	100 - 400	> 400	32
CLASIFICACIÓN	Excepcionalmente Malo	Extremadamente Malo	Muy Malo	Malo	Medio	Bueno	Muy Bueno	Extremadamente Bueno	Excepcionalmente Bueno	
SIMBOLOGÍA	Exc-M	Ext-M	MM	ML	MD	B	MB	Ext-B	Exc-B	
ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)								GSI = RMR - 5		70
						GSI		RMR	Q	SÍMBOLO
TABLA GEOMECÁNICA						70		75	32	B
OBSERVACIÓN	Los datos han sido tomados a 25 metros del portal, en el interior del túnel carretero.							Creado por: Ronal Paredes M.		

Tabla de clasificación geomecánica mediante el Q de Barton, Q=32, GSI=70, RMR=75 en la EG-14.

Formato Resumen del Cálculo del Índice Q de Barton de la Estación 15

EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEODINÁMICO DE LA CARRETERA DE INGRESO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS										EG-15	
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA MEDIANTE Q DE BARTON											
PARÁMETROS										RANGO	VALOR
RQD %						RQD		95.38		95	
Índice de blocosidad (Número de discontinuidades)						Jn		9		9	
Índice de rugosidad de las discontinuidades						Jr		3		3	
Índice de alteración de las discontinuidades						Ja		2		2	
Factor de reducción por presencia de agua subterránea						Jw		0.66		0.66	
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)						SRF		1		1	
Q = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)										Q =	10.4500
Q' = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)										Q' =	15.8333
RMR = 9LnQ+44										RMR =	65.1194
RMR' = 9LnQ'+44										RMR' =	68.8591
Q	< 0.01	0.01 - 0.1	0.1 - 1	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 100	100 - 400	> 400	10	
CLASIFICACIÓN	Excepcionalmente Malo	Extremadamente Malo	Muy Malo	Malo	Medio	Bueno	Muy Bueno	Extremadamente Bueno	Excepcionalmente Bueno		
SIMBOLOGÍA	Exc-M	Ext-M	MM	ML	MD	B	MB	Ext-B	Exc-B		
ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)								GSI = RMR - 5		60	
						GSI	RMR	Q	SÍMBOLO		
TABLA GEOMECÁNICA						60	65	10	B		
OBSERVACIÓN	Los datos han sido tomados a 50 metros del portal, en el interior del túnel carretero.							Creado por: Ronal Paredes M.			

Tabla de clasificación geomecánica mediante el Q de Barton, Q=10, GSI=60, RMR=65 en la EG-15

GALERÍA DE FOTOS



Foto 01. Vista de bloques de arenisca de la Formación Chimú en las progresivas 0+8900 y 0+950, mayo de 2015.



Foto 02. Bloques de roca de varios metros de diámetro en las progresivas 0+820 y 0+850 respectivamente, del tramo Dique-Casa de Máquinas, junio de 2015

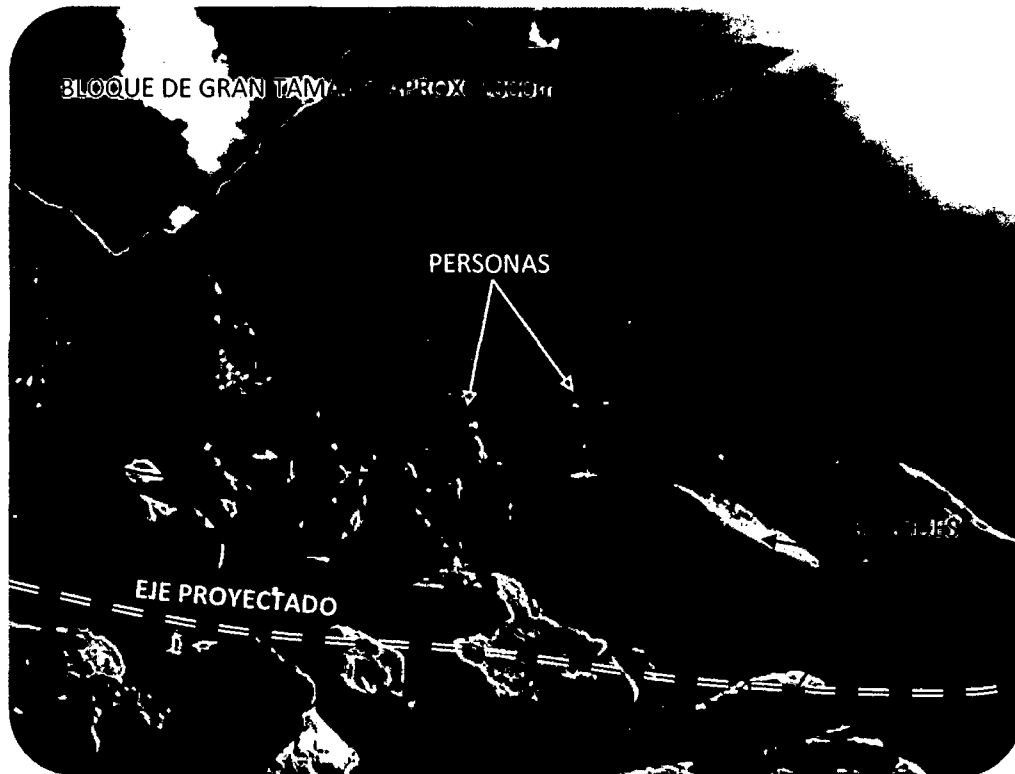


Foto 03. Vista de la zona de caída de rocas que forman un depósito coluvial entre las progresivas 0+850 y 0+920, mayo de 2015.

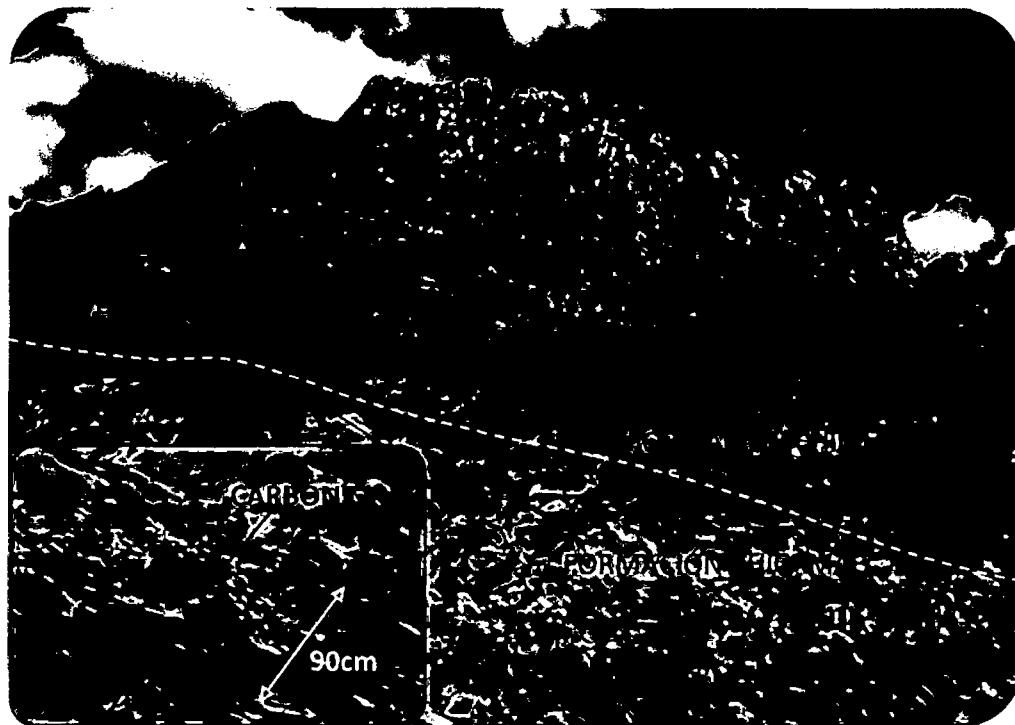


Foto 04. Afloramiento de la Formación Chimú en la zona de Portal del Túnel de Aducción, altura de la progresiva 6+650 del tramo Campamento-Dique, noviembre de 2015.

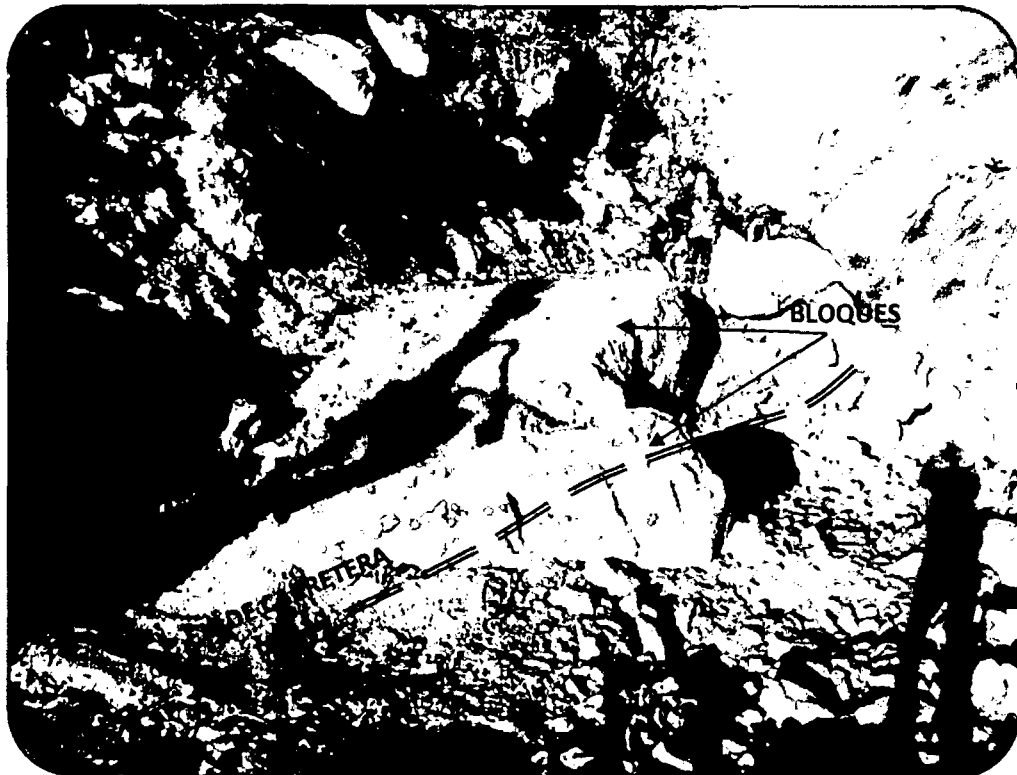


Foto 05. Bloques de roca, que forman parte del depósito coluvial entre las progresivas 0+690 y 0+940.

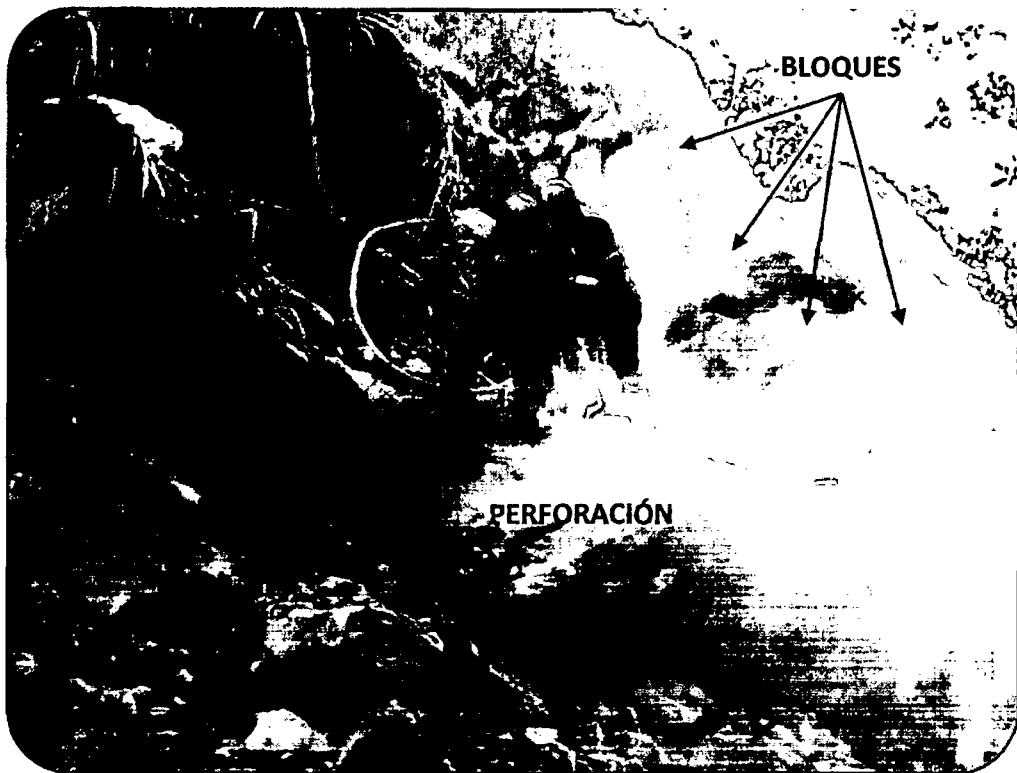


Foto 06. Trabajos de Perforación, en eje de carretera en la progresiva 0+825, agosto de 2015.

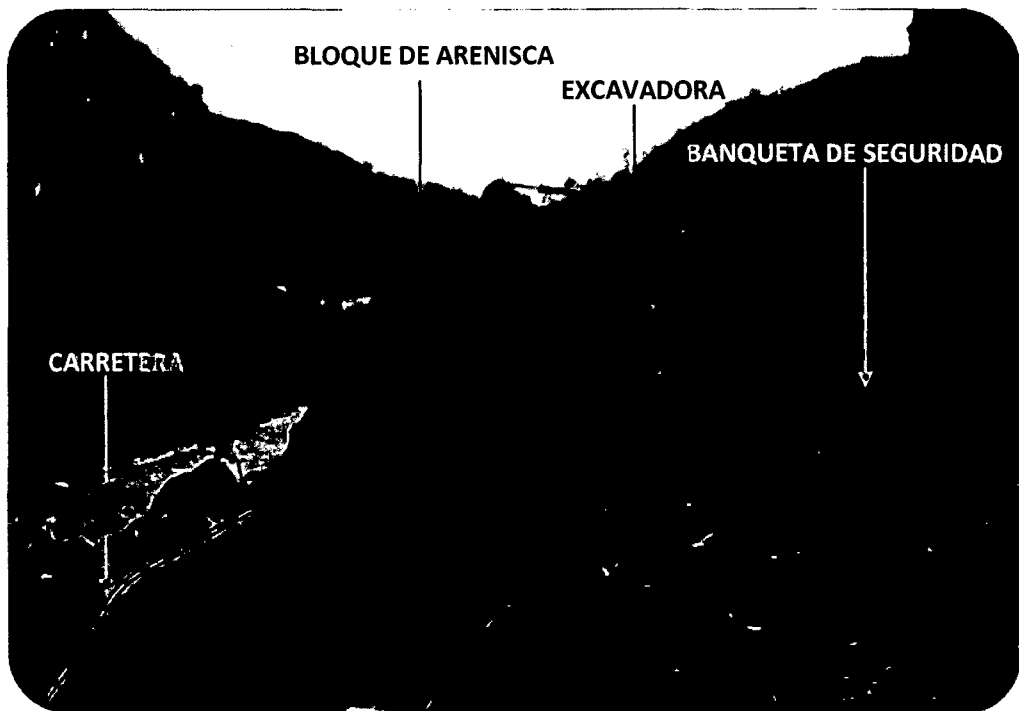


Foto 07. Banqueta de seguridad y en la parte baja, la carretera. Bloque de arenisca de gran tamaño (escala-excavadora), agosto de 2015.

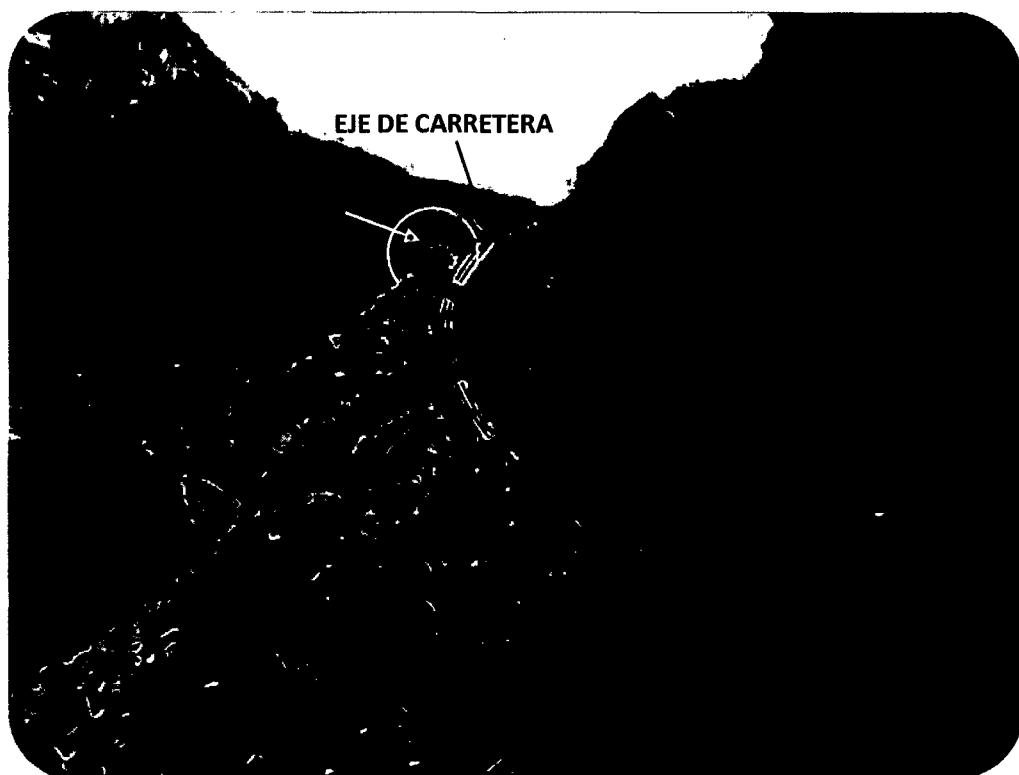


Foto 08. Trabajos iniciales en la progresiva 0+840 del tramo Dique-Casa de Máquinas, agosto de 2015.

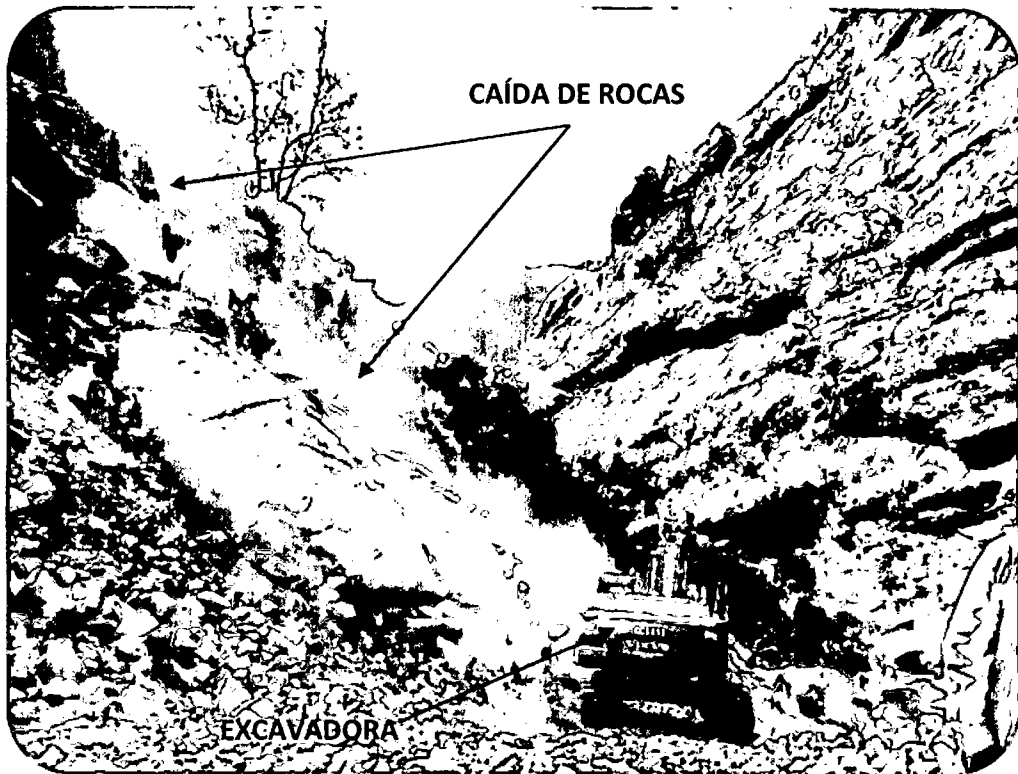


Foto 09. Excavadora realizando trabajos de construcción, al pie del talud inestable (caída de rocas) en la progresiva 0+820, agosto de 2015.

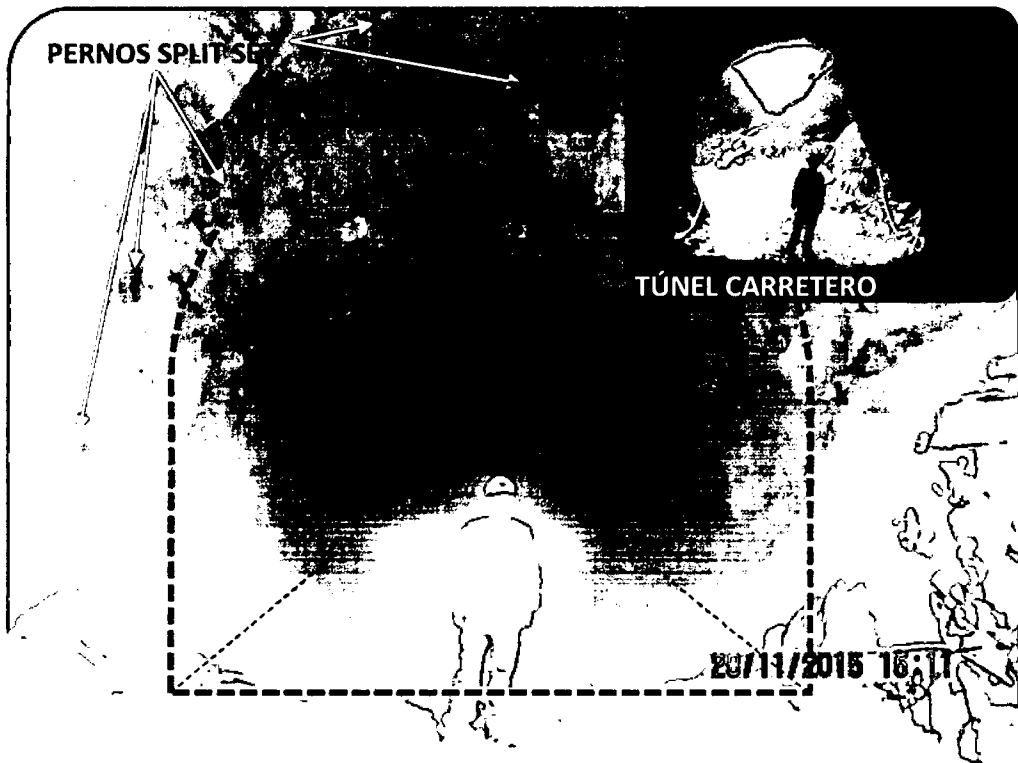


Foto 10. Túnel carretero, mostrando el sostenimiento con pernos Split Set en la progresiva 1+250.

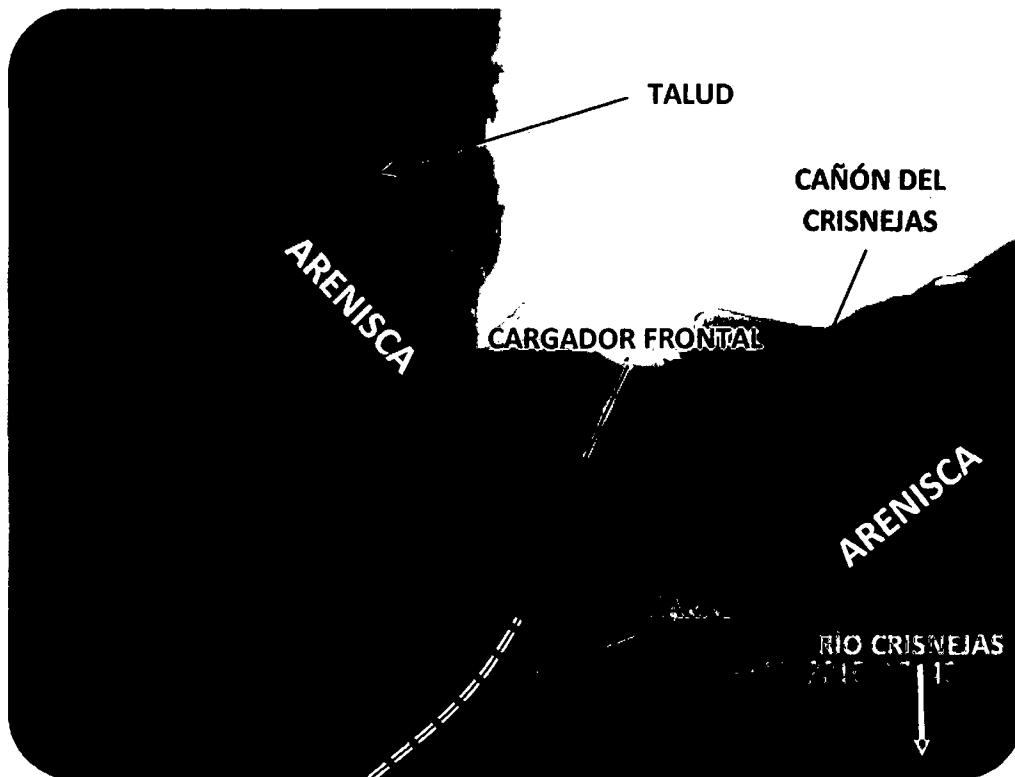


Foto 11. Vista de la carretera en construcción en la progresiva 1+150 del tramo Dique-Casa de Máquinas, diciembre de 2015.

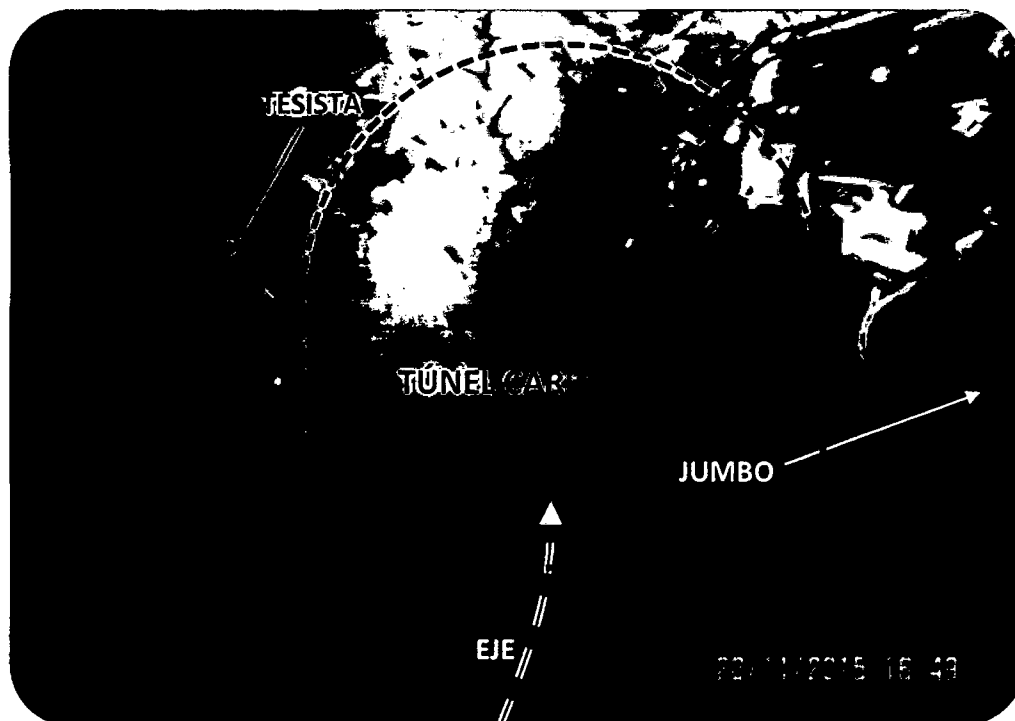


Foto 12. Perforación en túnel carretero, con Perforadora Jumbo de un brazo, progresiva 1+310.