

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS
COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN,
CAJAMARCA**

Para Optar Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. EDUARD GÁLVEZ MEJÍA

Asesor:

M. Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

Cajamarca, 2022

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Académico profesional de Ingeniería Geológica y sus docentes que fueron quienes con sus conocimientos ayudaron a mi formación profesional.

Mi más sincero agradecimiento a dios, a mis padres y hermanos, a los buenos amigos que estuvieron y me apoyaron incondicionalmente durante todo este proceso.

A mi asesor el M. Cs. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA, quien me apoyó durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Eduard.G.M

DEDICATORIA

A las personas que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, en especial a mis padres y a mis hermanos.

De manera muy especial dedico este trabajo a mi hijo Rodrigo David, quien es mi motivación para seguir adelante.

Eduard.G.M

LISTA DE ABREVIACIONES

SW	: Suroeste
SE	: Sureste
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS-84	: World Geodetic System 1984
C°	: Cerro
W	: Oeste
NE	: Noreste
NW	: Noroeste
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
GSI	: índice de Resistencia Geológica
SMR	: Slope Mass Rating
Mpa	: Megapascales
m	: Metro
Km	: Kilómetro
Fs	: Factor de seguridad

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
LISTA DE ABREVIACIONES	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FOTOS	xii
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.	3
2.2 BASES TEÓRICAS	4
2.2.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS.....	4
2.2.1.1 ROCK MAS RATING (RMR).....	4
2.2.1.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS ROCAS (RQD).....	6
2.2.1.3 GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)	7
2.2.1.4 FACTOR DE DISTURBACIÓN "D"	9
2.2.1.5 SLOPE MASS RATING (SMR) ROMANA (1985)	9
2.2.2 CRITERIOS DE ROTURA:.....	14
2.2.2.1 CRITERIO DE ROTURA NO LINEAL DE HOEK Y BROWN	14
2.2.2.2 CRITERIO DE ROTURA LINEAL MOHR-COULOMB.....	16
2.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y MOVIMIENTOS EN MASA.....	17
2.2.3.1 TALUDES:.....	17
2.2.4 MOVIMIENTOS EN LOS TALUDES:	20
2.2.4.1 CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA:	20
2.2.5 MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.	26
2.2.5.1 MÉTODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE.	26
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.	27

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	28
3.2 UBICACIÓN POLÍTICA.	28
3.3 ACCESIBILIDAD.....	30
3.4 CLIMA.	30
3.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	31

	Pág.
3.6	VARIABLES.....32
3.7	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN.....32
3.8	GEOLOGÍA LOCAL.....34
3.9	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....41
3.10	GEOMORFOLOGÍA.....43

CAPÍTULO IV

	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS46
4.1	GEODINÁMICA.....46
4.2	GEOTECNIA.....55
4.2.1	ESTACIONES GEOMECÁNICAS.....55
4.2.2.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON SLIDE 117
4.2.2.1	TALUD 01 - PROGRESIVAS KM 1+280 – KM 1+330.....118
4.2.2.2	TALUD 02 - PROGRESIVAS KM 2+100 – KM 2+130.....121
4.2.2.3	TALUD 03 - PROGRESIVAS KM 6+500 – KM 6+520.....123
4.2.2.4	TALUD 04 - PROGRESIVAS KM 6+750 – KM 6+800.....126
4.2.2.5	TALUD 05 - PROGRESIVAS KM 9+620 – KM 9+660.....129
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... 132
4.3.1.	ANÁLISIS CINEMÁTICO DE TALUDES CON DIPS (V5.1) 132
4.3.2.	ANÁLISIS CON EL SOFTWARE SLIDE 6.0.....134
4.3.3.	CALIBRACIÓN DE COHESIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... 136
4.4	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN..... 140
4.5	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... 150

CAPÍTULO V

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 151
5.1	CONCLUSIONES..... 151
5.2	RECOMENDACIONES..... 153
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 154
	ANEXOS 156

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Clasificación geomecánica, RMR Bieniawski (1989).....	5
Tabla 2: Calidad de la roca, según su RQD	6
Tabla 3: Estimación del índice GSI en base a una descripción geológica del macizo rocoso.	8
Tabla 4: Guía para estimar el factor de alteración D.	9
Tabla 5: Factores de ajuste de la Clasificación SMR.	11
Tabla 6: Amenaza según la clasificación SMR.	12
Tabla 7: Valores del SMR para cada tipo de rotura	12
Tabla 8: Clases de estabilidad según el SMR.	13
Tabla 9: Medidas de corrección de taludes en roca.	13
Tabla 10: Medidas de corrección propuestas según el SMR.	14
Tabla 11: Estimación en terreno de la resistencia en compresión uniaxial.	15
Tabla 12: Valores de la constante m_i para roca intacta, por tipo de roca.	16
Tabla 13: Coordenadas de los límites de la carretera en estudio, sistema de coordenadas WGS-84 ZONA-17S.....	28
Tabla 14: Accesibilidad a Rambrán.	30
Tabla 15: Se muestran los datos meteorológicos de la estación Cospán para el año 2018.....	31
Tabla 16: Variables.	32
Tabla 17: Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas.....	56
Tabla 18: Ángulos de fricción típicos de rocas.	56
Tabla 19: Ángulos de fricción obtenidos en rocas en Italia.	56
Tabla 20: Valoración del macizo rocoso, estación 01.	58
Tabla 21: SMR para la familia 1, estación Geomecánica 01	59
Tabla 22: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	61
Tabla 23: Valoración del macizo rocoso, estación 02, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	63
Tabla 24: SMR para la familia 01, estación Geomecánica 02	64
Tabla 25: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	66
Tabla 26: Valoración del macizo rocoso, estación 03, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	68
Tabla 27: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 03.....	69
Tabla 28: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	71
Tabla 29: Valoración del macizo rocoso, estación 04, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	73
Tabla 30: SMR para la familia 04, estación Geomecánica 04	74
Tabla 31: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	76
Tabla 32: Valoración del macizo rocoso, estación 05, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	78
Tabla 33: SMR para la familia 01, estación Geomecánica 05.....	79
Tabla 34: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	81
Tabla 35: Valoración del macizo rocoso, estación 06, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	83
Tabla 36: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 06.....	84
Tabla 37: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	86

Tabla 38: Valoración del macizo rocoso, estación 07, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	88
Tabla 39: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 07	89
Tabla 40: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	91
Tabla 41: Valoración del macizo rocoso, estación 08, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	93
Tabla 42: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 08	94
Tabla 43: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	96
Tabla 44: Valoración del macizo rocoso, estación 09, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	98
Tabla 45: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 09	99
Tabla 46: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	101
Tabla 47: Valoración del macizo rocoso, estación 10, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	103
Tabla 48: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 10.....	104
Tabla 49: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	106
Tabla 50: Valoración del macizo rocoso, estación 11, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	108
Tabla 51: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 11	109
Tabla 52: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	111
Tabla 53: Valoración del macizo rocoso, estación 12, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.	113
Tabla 54: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 12.....	114
Tabla 55: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.....	116
Tabla 56: Factores de zonificación sísmica.....	118
Tabla 57: Resumen que muestra las propiedades geomecánicas de las estaciones analizadas. ...	132
Tabla 58: Análisis cinemático de taludes.....	133
Tabla 59: Resumen de datos utilizados en el análisis de taludes.	134
Tabla 60: Resumen de los factores de seguridad de los 5 taludes.	135
Tabla 61: Resumen de los factores de seguridad de los 5 taludes.	135
Tabla 62: Valor calibrado de la cohesión para el talud 01.....	136
Tabla 63: Valor calibrado de la cohesión para el talud 02.....	137
Tabla 64: Valor calibrado de la cohesión para el talud 03.....	138
Tabla 65: Valor calibrado de la cohesión para el talud 04.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Diagrama idealizado que muestra la transición desde una condición de roca intacta a la de un macizo rocoso muy fracturado, en la medida que aumenta el tamaño de la muestra considerada. (Hoek y Brown. 1980).	7
Figura 2: Envoltentes de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangencial (b), representación de las diferentes condiciones de esfuerzo para rotura de la matriz rocosa (Ferrer, 2003).	15
Figura 3: Envoltente de Mohr Coulomb (a) esfuerzos tangenciales vs normales. (b) esfuerzos principales, para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envoltentes no se producirá la rotura, tomado de González de Vallejo, 2002.	17
Figura 4: Talud con ángulo uniforme y talud excavado de forma escalonada con bermas y bancos, tomado de González de Vallejo, 2002.	17
Figura 5: Nomenclatura de taludes y laderas (Suárez, 1998).	19
Figura 6: Mecanismos de falla en suelos (Ferrer, 2003)	19
Figura 7: Principales tipos de roturas de bloque en taludes para diferentes condiciones de geología estructural que puedes causar estos fallos (Wyllie & Mah, 2004).	20
Figura 8: Nomenclatura de un movimiento en masa (Suarez, 1998).	21
Figura 9: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a Asociación Internacional de Ingeniería Geológica, comisión de deslizamientos de tierra (Suarez, 1998).	21
Figura 10: Esquemas de los tipos de movimientos que los bloques realizan sobre el talud dependiendo de su pendiente y su origen (Modificado de Pimentel, 2011).	22
Figura 11: Volteo o inclinación en materiales residuales (Suarez, 1998).	23
Figura 12: Esquema de reptación (Suarez, 1998).	23
Figura 13: Deslizamientos en suelos blandos (Suarez, 1998).	24
Figura 14: Deslizamiento rotacional típico (Suarez, 1998).	24
Figura 15: Deslizamiento traslacional típico (Suarez, 1998).	25
Figura 16: Ubicación política Cospán.	29
Figura 17: El diagrama muestra las precipitaciones pluviales que empiezan a incrementarse a partir del mes de septiembre, se observan las precipitaciones más altas en los meses de enero, febrero y marzo (Fuente: SENAMHI, 2018 - Dirección de Redes de Observación y Datos)	30
Figura 18: Imagen satelital que muestra la magnitud del deslizamiento – flujo en el sector Llimbe (progresiva Km 02+300).	49
Figura 19: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	60
Figura 20: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.	61
Figura 21: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	65
Figura 22: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.	66
Figura 23: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	70
Figura 24: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.	71
Figura 25: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	75
Figura 26: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.	76

Figura 27: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	80
Figura 28: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.....	81
Figura 29: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	85
Figura 30: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.....	86
Figura 31: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	90
Figura 32: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.....	91
Figura 33: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.	95
Figura 34: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.....	96
Figura 35: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0. ..	100
Figura 36: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.....	101
Figura 37: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0. ..	105
Figura 38: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.....	106
Figura 39: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0. ..	110
Figura 40: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.....	111
Figura 41: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0. ..	115
Figura 42: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.....	116
Figura 43: Mapa de zonas sísmicas del Perú. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016).....	117
Figura 44: Análisis Slide en condiciones naturales.	119
Figura 45: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.	120
Figura 46: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.....	120
Figura 47: Análisis Slide en condiciones naturales.	122
Figura 48: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.	122
Figura 49: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.....	123
Figura 50: Análisis Slide en condiciones naturales.	124
Figura 51: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.	125
Figura 52: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.....	125
Figura 53: Análisis Slide en condiciones naturales.	127
Figura 54: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.	127
Figura 55: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.....	128
Figura 56: Análisis Slide en condiciones naturales.	130
Figura 57: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.	130
Figura 58: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.....	131
Figura 59: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 01 para que este sea estable.	136
Figura 60: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 02 para que este sea estable.	137

Figura 61: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 03 para que este sea estable.	138
Figura 62: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 04 para que este sea estable.	139
Figura 63: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 4 camadas.	140
Figura 64: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 4 camadas.	141
Figura 65: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, bajando el ángulo a 45°.	141
Figura 66: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, bajando el ángulo a 45°.	142
Figura 67: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.	143
Figura 68: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.	143
Figura 69: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, manteniendo el ángulo de 43° y realizando banquetas.	144
Figura 70: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, manteniendo el ángulo de 43° y realizando banquetas.	144
Figura 71: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.	145
Figura 72: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.	146
Figura 73: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, bajando el ángulo a 40° y realizando banquetas.	146
Figura 74: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, bajando el ángulo a 40° y realizando banquetas.	147
Figura 75: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.	148
Figura 76: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.	148
Figura 77: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, manteniendo el ángulo inicial de 45° y realizando banquetas.	149
Figura 78: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, bajando el ángulo a 40° y realizando banquetas.	149

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1: Afloramiento de areniscas de la Formación Chimú (progresiva Km 08+650)	34
Foto 2: Afloramiento de Areniscas, arcillitas y limolitas de la Formación Santa (progresiva Km 02+200).....	35
Foto 3: Afloramiento de arcillitas, limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz (progresiva Km 02+450).....	36
Foto 4: Afloramiento de areniscas de la Formación Farrat (progresiva Km 00+600).....	37
Foto 5: Afloramiento de areniscas ferruginosas de la Formación Inca (progresiva Km 00+550).	38
Foto 6: Afloramiento de calizas y arcillitas calcáreas de la Formación Chúlec (progresiva Km 00+300).	38
Foto 7: Depósitos Coluviales en un corte de talud, se encuentran suprayaciendo rocas de la Formación Farrat (progresiva Km 01+300).....	39
Foto 8: Depósitos fluviales en el cauce de la quebrada Casipe (progresiva Km 09+320).	40
Foto 9: Plegamientos en areniscas de la Formación Chimú, sector Unión Casipe (progresiva Km 8+850).....	41
Foto 10: Se observa la Falla Llimbe sobre un afloramiento muy meteorizado constituido por intercalación de arcillitas, limolitas y areniscas de la Formación Santa (progresiva Km 02+250).	42
Foto 11: Montañas sedimentarias en el sector Casipe-Llimbe.	43
Foto 12: Montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs) en el sector Unión Casipe.	44
Foto 13: Terrazas Fluviales en la confluencia de las Qdas. Casipe y Las Palmas (progresiva Km 08+550).	44
Foto 14: Laderas en la comunidad de Unión Casipe	45
Foto 15: Deslizamiento antiguo tipo rotacional, flanco izquierdo de la carretera hacia Rambrán (progresiva Km 09+300).	47
Foto 16: Deslizamiento traslacional antiguo, margen izquierdo de la carretera hacia Rambrán (progresiva Km 03+700).	47
Foto 17: Deslizamiento rotacional ubicado en la margen derecha de la Quebrada las Palmas (progresiva Km 06+800).	48
Foto 18: Deslizamiento – flujo en el sector Llimbe (progresiva Km 02+400), donde se observa caída de árboles (a) y agrietamientos longitudinales, paralelos al deslizamiento en la plataforma en un tramo de 500 a 600 m aprox. (b).	49
Foto 19: Caída de rocas en el flanco izquierdo de la carretera hacia Rambrán, sector Cerro Peña Blanca- Unión Casipe (progresiva Km 08+900).	50
Foto 20: Delimitado de color amarillo observamos una antigua avalancha de rocas (AR), en afloramientos de la Formación Farrat, delimitado con color naranja encontramos depósitos coluviales (DC) sobre afloramientos de la Formación Carhuaz en el sector Llimbe (progresiva Km 01+900).....	51
Foto 21: Delimitado de color amarillo se observa reptación de suelos (R) en la época de invierno, delimitado de color blanco algunos derrumbes (D) en el flanco izquierdo de la quebrada las Palmas en la comunidad de Casipe.....	51
Foto 22: Se observa delimitada con líneas blancas las escarpas múltiples de derrumbes en el flanco derecho de la carretera hacia Rambrán, en el sector Las Lúcumas (progresiva Km 07+000).....	52

Foto 23: Derrumbes antiguos en el flanco derecho de la quebrada Casipe (progresiva Km 09+800).....	52
Foto 24: Derrumbes sobre afloramientos de la Formación Chimú, flanco izquierdo de la carretera hacia Rambrán (progresiva Km 07+050).....	53
Foto 25: Se observa delimitado de color amarillo la quebrada Alisos, en cuyo cause se observan fragmentos de roca, suelo suelto y material orgánico, los cuales constituyen productos de un flujo de detritos durante la época de invierno del año 2017 (progresiva Km 03+030).....	54
Foto 26: Se observa cárcavas en depósitos cuaternarios recientes en el sector Casipe.	54
Foto 27: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la primera estación en el sector Unión Casipe (progresiva Km 08+900).	57
Foto 28: Se observa un afloramiento de areniscas pertenecientes a la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 02 en el sector Unión Casipe (progresiva Km 08+650).....	62
Foto 29: Se observa un afloramiento de areniscas pertenecientes de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 03, en el sector Unión Casipe (progresiva Km 08+370).....	67
Foto 30: Se observa un afloramiento de areniscas pertenecientes a la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 04, en el sector Llimbe (progresiva Km 03+740).....	72
Foto 31: Se observa un afloramiento de la Formación Santa, correspondiente a la estación geomecánica 05, en el sector Llimbe (progresiva Km 02+500).	77
Foto 32: Se observa un afloramiento de la Formación Carhuaz, correspondiente a la estación geomecánica 06, en el sector Rambrán (progresiva Km 01+420).	82
Foto 33: Se observa un afloramiento de la Formación Inca, correspondiente a la estación geomecánica 07, en el sector Rambrán (progresiva Km 00+550).	87
Foto 34: Se observa un afloramiento de la Formación Farrat, correspondiente a la estación geomecánica 08, en el sector Rambrán (progresiva Km 00+600).	92
Foto 35: Se observa un afloramiento de la Formación Carhuaz, correspondiente a la estación geomecánica 09, en el sector Rambrán (progresiva Km 02+120).	97
Foto 36: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 10, en el sector Llimbe (progresiva Km 02+800).	102
Foto 37: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 11, en el sector Casipe (progresiva Km 06+150).....	107
Foto 38: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 12, en el sector Las Lúcumas (progresiva Km 07+050).	112
Foto 39: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 1+280 – Km 1+330	119
Foto 40: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 2+100 – Km 2+130	121
Foto 41: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 6+500 – Km 6+520	124
Foto 42: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 6+750 – Km 6+800	126
Foto 43: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 9+620 – Km 9+660. ...	129

RESUMEN

El tramo de la carretera entre las comunidades de Rambrán y Unión Casipe, ubicado en el Distrito de Cospán, Región Cajamarca, presenta una gran inestabilidad, sobre todo en los meses de invierno entre diciembre a marzo, en ésta época del año se observan muchos fenómenos de remoción en masa, estas ocurrencias por lo general perjudican considerablemente la transitabilidad, en el aspecto de seguridad y en lo económico, dicha carretera se encuentra emplazada sobre afloramientos de rocas sedimentarias, pertenecientes al Cretácico inferior: Grupo Goyllarisquizga (Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat) y las Formaciones Inca, Chúlec. Además presenta depósitos cuaternarios recientes del tipo aluvial, fluvial y coluvial. El objetivo principal es realizar la evaluación geomecánica del tramo de la carretera entre las comunidades de Rambrán y Unión Casipe, para esto se realizó la revisión bibliográfica, recopilación de información en campo y procesamiento de datos obtenidos de 12 estaciones geomecánicas. Se concluye que afloramientos de la Formaciones Chimú, Farrat, Inca tienen una clasificación RMR que son del tipo II y III, lo cual corresponde a rocas de mediana a buena calidad, en el caso de afloramientos analizados en las Formaciones Santa y Carhuaz, estas tienen una clasificación del tipo IV, lo cual corresponde a rocas de mala calidad. Los principales fenómenos de remoción en masa identificados fueron: deslizamientos (rotacionales y traslacionales), caída de rocas, avalancha de rocas, reptación de suelos, derrumbes, flujo de detritos, erosión de laderas, estos están asociados a depósitos cuaternarios. Los principales factores condicionantes son la litología, la pendiente, las fuertes precipitaciones que producen sobresaturación de los suelos en épocas de invierno (diciembre- mayo) y la actividad antrópica.

Palabras Claves: Talud, Litología, Sobresaturación, Inestabilidad, Geomecánica.

ABSTRACT

The section of the road between the communities of Rambrán and Unión Casipe, located in the District of Cospán, Cajamarca Region, presents great instability, especially in the winter months between December to March, at this time of year many phenomena are observed. Of mass removal, these occurrences generally significantly harm the passability, in terms of safety and economics, this road is located on outcrops of sedimentary rocks, belonging to the Lower Cretaceous: Goyllarisquizga Group (Chimú, Santa, Carhuaz Formations and Farrat) and the Inca Formations, Chúlec. It also presents recent quaternary deposits of the alluvial, fluvial and colluvial type. The main objective is to carry out the geomechanical evaluation of the section of the road between the communities of Rambrán and Unión Casipe, for this the bibliographic review, compilation of information in the field and processing of data obtained from 12 geomechanical stations was carried out. It is concluded that outcrops of the Chimú, Farrat, Inca Formations have an RMR classification that are type II and III, which corresponds to rocks of medium to good quality, in the case of outcrops analyzed in the Santa and Carhuaz Formations, these have a classification of type IV, which corresponds to rocks of poor quality. The main mass removal phenomena identified were: landslides (rotational and translational), rockfall, rock avalanche, soil creep, landslides, debris flow, slope erosion, these are associated with quaternary deposits. The main conditioning factors are the lithology, the slope, the heavy rainfall that produces supersaturation of the soils in winter (December-May) and the anthropic activity.

Keywords: Slope, Lithology, Supersaturation, Instability, Geomechanics

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos de terreno de diversas características, magnitudes y velocidades, siendo los más frecuentes y extendidos los deslizamientos, llegando a constituir riesgos geológicos potenciales que causan daños económicos y sociales que afectan las actividades y obras humanas. El estudio y análisis de la estabilidad de taludes en macizos rocosos es un tema de vital importancia en las obras de ingeniería, el éxito de las obras de estabilización de taludes depende en gran parte de los estudios de caracterización geológica y geotécnica del macizo rocoso.

La pregunta que se responde con la investigación realizada es ¿Cuál es la evaluación geomecánica del macizo rocoso y los taludes en el tramo de la carretera entre las Comunidades de Rambrán y Unión Casipe- Distrito de Cospán, Cajamarca?, contrastando con la hipótesis planteada inicialmente: El tramo de la carretera entre las Comunidades de Rambrán y Unión Casipe- Distrito de Cospán, tiene zonas críticas o inestables propensas a los fenómenos naturales, las cuales están influenciadas por factores litológicos, estructurales, pendiente y la gran cantidad de precipitaciones que durante el invierno oscilan alrededor de 700mm por año, provocando así la inestabilidad en los taludes durante éstas épocas del año es por eso que la evaluación geomecánica en el tramo es necesario ya que nos permitirá determinar el comportamiento de los taludes. El tramo de la carretera está compuesto por una litología muy heterogénea, con la presencia de areniscas, limolitas, arcillitas y depósitos cuaternarios recientes, los cuales en época de invierno son los más susceptibles a sufrir las consecuencias de los fenómenos naturales (lluvias).

Con la investigación y los resultados que se obtengan de la evaluación geomecánica, se conocerá las zonas críticas del tramo de la carretera entre las Comunidades de Rambrán y Unión Casipe- Distrito de Cospán, Cajamarca, además ofrece la posibilidad de utilizar los resultados de la investigación como base para futuros estudios. La evaluación geomecánica también servirá para las municipalidades, gobiernos regionales, comunidades y las personas que estén interesadas. El objetivo general de la investigación es realizar la evaluación geomecánica del tramo de la carretera entre las comunidades de Rambrán y Unión Casipe, ubicado en el Distrito de Cospán, Región Cajamarca, y como objetivos específicos: Realizar el cartografiado geológico-estructural, determinar el comportamiento físico mecánico del macizo rocoso y de las zonas críticas frente a los procesos geodinámicos, usando los softwares: Dips V.5.1, Slide V.5.0, determinar el factor de seguridad, determinar las zonas inestables, realizar un mapa Geomorfológico, realizar un mapa de peligros geológicos.

La información recopilada para este trabajo se ha organizado en cinco capítulos, siendo la introducción el capítulo inicial en el que se plasma el contexto, problema, hipótesis, alcance y justificación de la investigación, así como los objetivos e importancia de la misma; el segundo capítulo comprende el marco teórico en el que se incluyen conceptos, definiciones importantes y bases teóricas para la comprensión del tema, el tercer capítulo comprende materiales y métodos en donde se describe la ubicación del área de estudio, accesibilidad, clima, metodología, instrumentos y materiales, geología, geología estructural, geomorfología; en el cuarto capítulo se presenta el análisis y discusión de resultados y finalmente, en el quinto capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Zavala y Rosado (2011), realizan el estudio sobre “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca”, Geodinámica e Ingeniería Geológica , en éste trabajo evalúan la ocurrencia de peligros geológicos (movimientos en masa) y geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial), además determinan el grado de peligrosidad, la vulnerabilidad a los peligros geológicos y geohidrológicos de las infraestructuras, poblaciones urbanas y rurales, se determinó 117 zonas de peligrosidad y susceptibilidad en toda la región Cajamarca.

Reyes (1980), realizó un estudio que corresponde a los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba, analiza regionalmente los 3 cuadrángulos, realizando un cartografiado a escala 1:100 000, en base un estudio litológico describiendo las unidades litoestratigráficas, da un alcance de la tectónica de los cuadrángulos mencionados.

Paredes (2016), realizó el estudio de “Evaluación Geológico-Geodinámica de la carretera de ingreso a la central hidroeléctrica potrero-San Marcos”, determina que ésta carretera se viene construyendo sobre rocas Jurásico Cretácicas que pertenecen a las Formaciones Chicama y Chimú, además que 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.

Rivera (1980), Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba-Boletín N° 31. Estudio en el que se realizó el levantamiento geológico regional para conocer las características geológicas y tectónicas de las provincias, contribuyendo a ampliar los conocimientos de la constitución geológica de la zona, así como el potencial económico de la región.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Caracterización Geomecánica de Macizos Rocosos.

Para realizar la caracterización geomecánica de un macizo rocoso se realizan observaciones y mediciones en los afloramientos, estos datos permiten calcular la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso a partir de correlaciones empíricas, estas mediciones pueden ser complementadas con ensayos de laboratorio.

La caracterización geomecánica tiene como objetivo el de proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples, y observaciones de campo. La descripción de los parámetros del macizo rocoso se realiza teniendo como datos de entrada aquellos tomados en cada estación, se recogerán parámetros como son: Número de familias de discontinuidades, medición de su orientación y características representativas de cada una de ellas determinando su importancia relativa, tamaño y forma de los bloques que conforman el macizo, grado de fracturación (González de Vallejo, 2002).

2.2.1.1 Rock Mas Rating (RMR).

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles (González de Vallejo, 2002). Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia de la roca intacta.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones generales de aguas subterráneas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánicos de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100.

Tabla 1: Clasificación geomecánica, RMR Bieniawski (1989).

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)							
1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)						Mpa	
Rango de valores	> 250	100 -250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración:							
2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						%	
Rango de valores	90-100		75-90	50-75	25-50	< 25	
Puntaje	20		17	13	8	3	
Valoración:							
3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES							
Persistencia de las discontinuidades						m	
Rango de valores	> 2	0.6 -2	0.2- 0.6	0.06- 0.2	< 0.06		
Puntaje	20	15	10	8	5		
Valoración:							
4.- CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES							
Persistencia de las discontinuidades						m	
Rango de valores	< 1	1-3	3-10	10-20	> 20		
Puntaje	6	4	2	1	0		
Valoración:							
Separación (apertura)						mm	
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1- 1.0	1- 5	> 5		
Puntaje	6	5	4	1	0		
Valoración:							
Rugosidad						SR	
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK		
Puntaje	6	5	3	1	0		
Valoración:							
Relleno						mm	
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5		
Puntaje	6	4	2	2	0		
Valoración:							
Meteorización							
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW		
Puntaje	6	5	3	1	0		
Valoración:							
5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA							
Condición	Completamente seca CD	húmeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW		
Puntaje	15	10	7	4	0		
Valoración:							
6.- POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES							
Dirección del rumbo y buzamiento		Muy Favorables VF	Favorables VF	Medias M	Desfavorables UF	Muy desfavorables VU	
Puntuación	Túneles (T)	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60	
Valoración:							
7.- CLASIFICACIÓN RMR							
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		

Fuente: Tomado y adaptado de González de Vallejo (2002)

Para este proyecto esta clasificación es utilizada como base para uno de los métodos observacionales, pero sin incluir la corrección por la orientación de las discontinuidades y sin considerar los datos de carga puntual.

2.2.1.2 Índice de Calidad de las Rocas (RQD)

El RQD (Rock quality designation index) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo. Su expresión es:

$$RQD = \frac{\sum(\text{Longitud fragmentos} > 10\text{cm})}{\text{Longitud total perforada}} * 100$$

Si no se disponen de sondeos, una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de las ecuaciones:

Fórmula Alternativa (Cuando no hay sondeos):

Palmstrom (1982) sugirió que, el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, visibles en afloramientos rocosos o socavones. La relación sugerida para masas rocosas libres de arcillas es:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v, \text{ para } J_v > 4.5$$

$$RQD = 110 - 3.3 J_v, \text{ para } J_v < 4.5$$

J_v : Número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3 .

Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades (λ) por Hudson, 1989.

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

Una vez obtenido el valor de RQD, la calidad de la roca viene dada según la Tabla 2:

Tabla 2: Calidad de la roca, según su RQD

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy Buena

Fuente: Tomado y adaptado de González de Vallejo (2002)

2.2.1.3 Geological Strength Index (GSI)

El índice geológico de resistencia (GSI) fue desarrollado por Hoek y Brown (1997), es una metodología que evalúa la calidad del macizo en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. El GSI considera la estructura de la roca y las condiciones de superficie de la masa rocosa (Figura 1). El resultado es un área sombreada sobre la gráfica base del GSI. Estas áreas sombreadas permiten identificar la calidad de la roca y comparar un macizo con otro.

El Índice Geológico de Resistencia (GSI), propuesto por Hoek, Kaiser & Bawden, proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas.

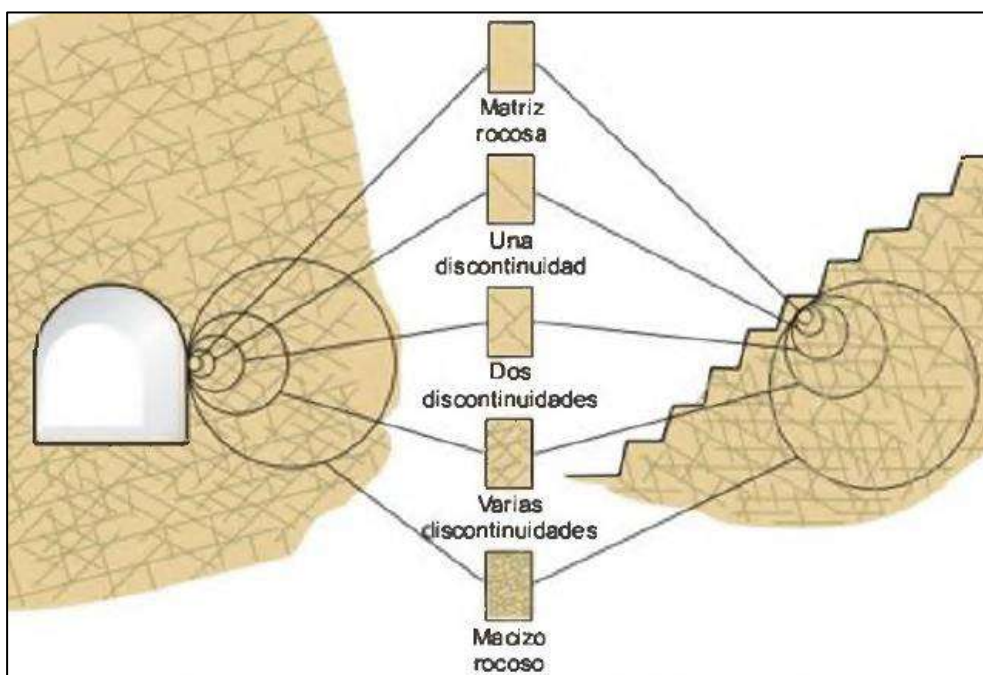






Figura 1: Diagrama idealizado que muestra la transición desde una condición de roca intacta a la de un macizo rocoso muy fracturado, en la medida que aumenta el tamaño de la muestra considerada. (Hoek y Brown. 1980).

Tabla 3: Estimación del índice GSI en base a una descripción geológica del macizo rocoso.

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI , de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI , por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración) BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con patinas de óxido de hierro REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas MALA Superficies lisas y desfiladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos finos MUY MALA Superficies lisas y desfiladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	
 <p>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	80	70	
 <p>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60	50
 <p>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>			40
 <p>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS</p>			30
			20
			10
DISMINUYE LA TRABAZÓN DE LOS BLOQUES DE ROCA			

Fuente: (Hoek y Brown. 1997).

2.2.1.4 Factor de Disturbación “D”

Parámetro es empleado por Hoek con el objetivo de considerar los danos ocasionados al macizo por voladura influencia de las voladuras.

Tabla 4: Guía para estimar el factor de alteración D.

APARIENCIA DEL MACIZO ROCOSO	DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO	VALOR SUGERIDO DE D
	Excelente calidad por voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, resultando en la perturbación mínima del macizo alrededor del túnel.	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizo de mala calidad (sin voladura) resultando en la mínima perturbación en el macizo rocoso circundante.	D=0
	Cuando se presentan problemas de fluencia con significantes movimientos en el piso, la perturbación puede ser severa a menos que una solera temporal o contrabóveda se instalara, como muestra en la fotografía.	D=0.5 Sin Solera
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3m en el macizo circundante.	D=0.8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños en el macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía	D=0.7; buena voladura
		D=1.0 pobre voladura
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	D=1.0; voladura de producción
		D=0.7; excavación mecánica.

Fuente: Adaptada de Hoek (2006)

2.2.1.5 Slope Mass Rating (SMR) Romana (1985)

Este sistema parte de la clasificación propuesta por Bieniawski (1979), el sistema SMR, (Slope Mass Rating) Romana (1985), corresponde a una actualización de la clasificación de macizos

de roca aplicada a taludes en roca y consiste en un ajuste de la puntuación de RMR mediante la aplicación de cuatro factores F_1 , F_2 , F_3 y F_4 que dependen, los tres primeros de las orientaciones de las diaclasas con respecto al talud y el cuarto factor se da en función del sistema de excavación empleado (González de Vallejo, 2002) , en la tabla 5 se encuentran los valores para estos factores.

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

Cuando aparecen diferentes familias de juntas en el talud se ha de calcular el SMR para cada familia, tomando el valor más desfavorable. Si el flujo de agua es irregular y/o la roca no está meteorizada en su totalidad, también debe tomarse el valor más desfavorable. En rocas meteorizadas y en las evolutivas la clasificación debe ser aplicada dos veces: para la situación inicial de roca sana y para la situación futura de roca meteorizada.

2.2.1.5.1 Factor de ajuste de las juntas

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores (Tabla 5):

F_1 = depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y el de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F_1 = (1 - \text{sen } |\alpha_j - \alpha_s|)^2$$

Siendo α_j y α_s las direcciones de buzamiento de la junta y del talud respectivamente.

F_2 depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F_2 = \text{tg}^2(\beta_j)$$

Donde β_j es el buzamiento de la junta. F_2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

F_3 refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 / 79 que son siempre negativos. Para roturas planas F_3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son "normales" cuando el buzamiento medio de la familia de juntas es igual al del talud, y por lo tanto aflorarán algunas pocas juntas. Cuando el talud buza más que las juntas, casi todas afloran y las condiciones serán "muy desfavorables" lo que supone un valor de F_3 de - 60 (para

$\beta_s - \beta_j > 10^\circ$), o "desfavorables" lo que supone un valor de F_3 de - 50 (para $0 < \beta_s - \beta_j < 10$). La diferencia con el valor de F_3 "normal" (que es - 25) es muy grande.

Para la rotura por vuelco no se supone que puedan existir condiciones desfavorables, o muy desfavorables, ya que el vuelco rara vez produce roturas bruscas y en muchos casos los taludes con vuelco de estratos se mantienen. Se ha utilizado la condición de Goodman-Bray (1977) para evaluar la probabilidad de vuelco. Sin embargo se ha observado que muchos vuelcos se producen para valores ligeramente distintos, lo que puede interpretarse como que la resistencia al esfuerzo cortante se reduce unos 5° , sea por el hecho de que en muchos taludes volcados las juntas están meteorizadas, o porque el ángulo de rozamiento experimente una ligera reducción en el caso de roturas rotacionales (Goodman, 1976). La citada condición de Goodman-Bray sólo es válida para el caso de roturas con pie volcador (que son más frecuentes en la práctica), pero no para el caso de pie deslizante, donde la superficie basal del macizo roto aflora en el talud con el aspecto de una junta deslizada.

Tabla 5: Factores de ajuste de la Clasificación SMR.

SMR = RMR_b + (F₁ x F₂ x F₃) + F₄ (ROMANA, 1985)						
FACTORES DE AJUSTE DE LAS JUNTAS (F ₁ , F ₂ , F ₃)			α_j = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DE LA JUNTA α_s = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DEL TALUD β_j = BUZAMIENTO DE LA JUNTA β_s = BUZAMIENTO DEL TALUD			
	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	
ROTURA PLANA $ \alpha_j - \alpha_s =$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°	
VUELCO $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ =$	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00	
VALORES	$F_1 = (1 - \text{sen } \alpha_j - \alpha_s)^2$					
VALORES	$ \beta_j =$	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	ROTURA PLANA	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
VALORES	VUELCO	1.00				
VALORES	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$					
ROTURA PLANA $\beta_j - \beta_s =$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< (-10°)	
VUELCO $\beta_j + \beta_s =$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-	
VALORES	0	- 6	- 25	- 50	- 60	
VALORES	$F_3 =$ (SE MANTIENEN LOS VALORES PROPUESTOS POR BIENIAWSKI, 1976 / 79)					
FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN	$F_4 =$ VALORES EMPÍRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MÉTODO DE EXCAVACIÓN					
	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA ó MECÁNICO	VOLADURA DEFICIENTE	
	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8	

Fuente: (Romana, 1985).

2.2.1.5.2 Factor de ajuste según el método de excavación

El factor de ajuste según el método de excavación, F_4 , se estableció empíricamente: Los taludes naturales son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por

el talud, y de los mecanismos internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc). $F_4 = + 15$

- El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase. $F_4 = + 10$.
- Las técnicas de voladura suave (recorte), bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes. $F_4 = + 8$.
- Las voladuras normales, con métodos razonables, no modifican la estabilidad. $F_4 = 0$.
- Las defectuosas, muy frecuentes, pueden dañar seriamente a la estabilidad. $F_4 = - 8$.
- La excavación mecánica de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad. $F_4 = 0$.

Tabla 6: Amenaza según la clasificación SMR.

CATEGORÍA	V	IV	III	II	I
AMENAZA	MUY ALTA	ALTA	MODERADA	BAJA	MUY BAJA

Fuente: (Romana, 2001).

2.2.1.5.3 Clases de estabilidad

Los valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura son los que se presentan en la Tabla 7. Todos los taludes con valores del SMR inferiores a 20 se caen rápidamente. No se han encontrado con valores inferiores a 10 lo que indica que no son físicamente factibles. Según el valor del índice SMR se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas simplificadaamente en la Tabla 7 y 8. En la práctica habitual de aplicación de la clasificación SMR parece conveniente dividir cada una de las clases anteriores en dos subclases (a y b) con una amplitud de 10 puntos.

Tabla 7: Valores del SMR para cada tipo de rotura.

TIPO DE ROTURA	INTERVALOS SMR	FRECUENCIA
PLANAS	SMR > 60	Ninguna
	60 > SMR > 40	Importantes
	40 > SMR > 15	Muy grandes
EN CUÑA	SMR > 75	Muy pocas
	75 > SMR > 49	Algunas
	55 > SMR > 40	Muchas
POR VUELCO	SMR > 65	Ninguna
	65 > SMR > 50	Menores
	40 > SMR > 30	Importantes
COMPLETAS	SMR > 30	Ninguna
	30 > SMR > 10	Posible

Fuente: (Romana, 2000)

Tabla 8: Clases de estabilidad según el SMR.

DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES SMR										
CLASE N°	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
DESCRIPCIÓN	MUY MALA		MALA		NORMAL		BUENA		MUY BUENA	
ESTABILIDAD	TOTALMENTE INESTABLE		INESTABLE		PARCIALMENTE INESTABLE		ESTABLE		TOTALMENTE ESTABLE	
ROTURAS	GRANDES ROTURAS POR PLANOS CONTINUOS O POR LA MASA		JUNTAS O GRANDES CUÑAS		ALGUNAS JUNTAS O MUCHAS CUÑAS		ALGUNOS BLOQUES		NINGUNA	
SOSTENIMIENTOS	REEXCAVACIÓN		IMPORTANTES		SISTEMÁTICOS		OCASIONALES		NINGUNO	

Fuente: (Romana, 2000).

2.2.1.5.4 Métodos de sostenimiento propuestos por el SMR

Cuando un talud muestra inestabilidades éstas se pueden corregir con muchas medidas diferentes (Tabla 9), conjuntamente o por separado.

Tabla 9: Medidas de corrección de taludes en roca.

SIN SOSTENIMIENTO	Ninguno Saneamiento
PROTECCIÓN	Zanja de pie Vallas (de pie o de talud) Redes y/o mallas (sobre la superficie del talud)
REFUERZO	Bulones Anclajes
HORMIGÓN	Gunita Hormigón dental Contrafuertes y/o vigas
DRENAJE	Superficial Profundo
REEXCAVACIÓN	Tendido del talud Muros de contención

Fuente: (Romana, 2000).

El estudio de un talud rocoso potencialmente inestable es una labor compleja que requiere un cuidadoso trabajo de campo, un análisis detallado y buen sentido ingenieril para valorar la importancia relativa de los diferentes factores de inestabilidad que pueden estar actuando. Ningún sistema de clasificación puede sustituir todo este trabajo, pero puede ser de utilidad, indicando los límites habituales de uso para cada tipo de medidas de corrección. La elección entre dichas medidas está fuera del alcance de una clasificación geomecánica (Romana, 2000).

Tabla 10: Medidas de corrección propuestas según el SMR.

VALORES DEL SMR PARA CADA FORMA DE ROTURA (EMPÍRICOS)																
ROTURAS PLANAS	MUY GRANDES					IMPORTANTES					NINGUNA					
ROTURAS EN CUNA						MUCHAS					ALGUNAS					
ROT. POR VUELCO						IMPORT.					NINGUNA					
ROT. COMPLETAS	POSIBLES										NINGUNA					
SMR →	0	10	15	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100
REEXCAVACIÓN	REEXCAVACIÓN MUROS DE CONTENCIÓN															
DRENAJE	DRENAJE SUPERFICIAL DRENAJE PROFUNDO															
HORMIGÓN	HORMIGÓN PROYECTADO HORMIGÓN DENTAL CONTRAFUERTE y/o VIGAS MUROS DE PIE															
REFUERZO	BULONES ANCLAJES															
PROTECCIÓN	ZANJA DE PIE VALLAS (DE PIE O DE TALUD) REDES y/o MALLAS (DE TALUD)															
SIN SOSTENIMIENTO	SANEÓ NINGUNO															
MÉTODOS DE SOSTENIMIENTO SUGERIDOS																

Fuente: (Romana, 2000).

En la (Tabla 10) se establecen unas recomendaciones de las medidas a tomar según el valor del SMR. En general, los taludes con valores del SMR superiores a 75 no requieren medida alguna, y 60 parece ser el límite por debajo del cual no existe ningún talud totalmente estable, mientras que 30 es el límite superior de los totalmente inestables (Romana, 2000).

2.2.2 Criterios de Rotura:

2.2.2.1 Criterio de Rotura no Lineal de Hoek y Brown

Es un criterio de rotura válido para macizos rocosos isótropos, y tiene en cuenta los factores que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala, como son la no linealidad con el nivel de tensiones, la influencia del tipo de roca y del estado del macizo, la relación entre la resistencia a la compresión y a la tracción, la disminución del ángulo de rozamiento con el aumento de la tensión de confinamiento (González de Vallejo, 2002). El criterio fue desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar con matriz rocosa resistente, asumiendo que los bloques de roca están en contacto unos con otros y que la resistencia del macizo está controlada por la resistencia de las discontinuidades. La resistencia del macizo queda definida por la expresión (Hoek y Brown, 1980).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left(m_b \times \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

- σ'_1, σ'_3 son los esfuerzos principales mayor y menor respectivamente.
- σ_{ci} la resistencia a la compresión uniaxial de los trozos o bloques de roca intacta que conforman el macizo rocoso.
- m_b es el valor de la constante m de Hoek-Brown para el macizo rocoso.

- s y a constantes adimensionales que dependen de las propiedades del macizo rocoso, del tipo de roca y de la frecuencia y características de las discontinuidades.

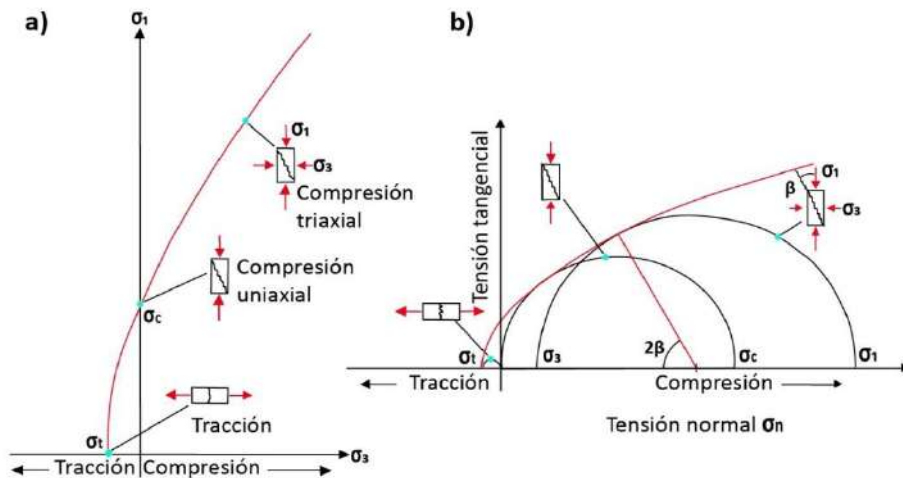


Figura 2: Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangencial (b), representación de las diferentes condiciones de esfuerzo para rotura de la matriz rocosa (Ferrer, 2003).

2.2.2.1.1 Propiedades de la roca intacta.

Cuando no se cuentan con ensayos de laboratorio se utiliza las tablas 11 y 12 para estimar los valores de m_i y σ_{ci} . Esta estimación se puede realizar para diseños preliminares, pero para diseños de detalle se deberá realizar pruebas de laboratorio, que permitan obtener resultados más confiables (Hoek Brown, 1997).

Tabla 11: Estimación en terreno de la resistencia en compresión uniaxial.

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Indice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Fuente: (Hoek Brown, 1997)

(a) Clases según Brown [2], (b) Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial menor que 25 MPa los resultados del ensayo de carga puntual son poco confiables.

Tabla 12: Valores de la constante m_i para roca intacta, por tipo de roca.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca (18) -----→			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta 7 -----→			
			←----- Carbón (8 - 21) -----→			
Carbonatos		Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
	Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Cómeas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
	Oscuras	Diorita (28)		Andesita 19		
		Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
		Norita 22				
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Fuente: (Hoek Brown, 1997).

2.2.2.2 Criterio de Rotura Lineal Mohr-Coulomb.

Este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura (González de Vallejo, 2002). El criterio de fallo de Mohr-Coulomb se representa por la envolvente lineal de los círculos de Mohr que se producen en la rotura. La relación de esa envolvente se expresa como:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi, \text{ donde:}$$

- c es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.
- ϕ es el ángulo de fricción.
- τ es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura.
- σ_n es la tensión normal que actúa en el plano de rotura.

La ecuación anterior representa una recta que normalmente es conocida como envolvente de falla o de rotura. En la siguiente imagen se pueden apreciar algunos aspectos muy importantes.

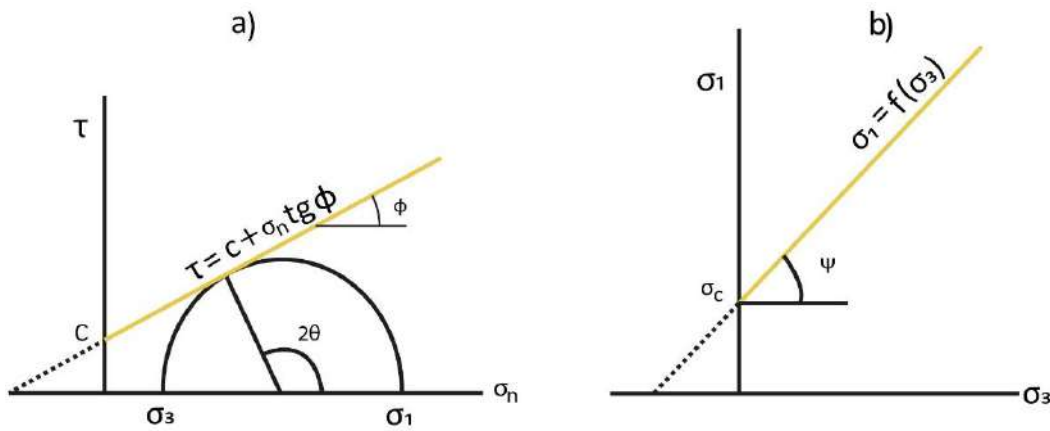


Figura 3: Envolvente de Mohr Coulomb (a) esfuerzos tangenciales vs normales. (b) esfuerzos principales, para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envolventes no se producirá la rotura, tomado de González de Vallejo, 2002.

2.2.3 Análisis de Estabilidad de Taludes y Movimientos en Masa.

2.2.3.1 Taludes:

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (figura 4). Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad (Suarez ,1998).

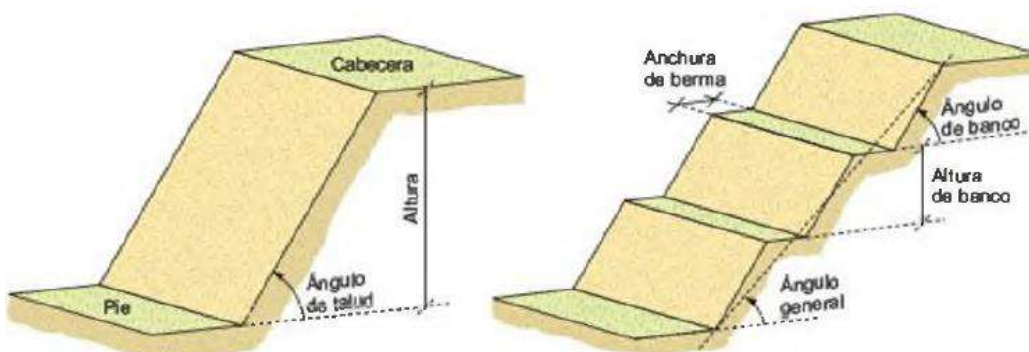


Figura 4: Talud con ángulo uniforme y talud excavado de forma escalonada con bermas y bancos, tomado de González de Vallejo, 2002.

2.2.3.1.1 Partes de un Talud

Existen algunos términos para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi-recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación. En un talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Pie, pata o base

El pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

Cabeza, cresta, cima o escarpe

Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi-vertical o de alta pendiente, se le denomina "escarpe". Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa.

Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

Altura de nivel freático

Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

Pendiente

Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m:1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: $45^\circ = 100\% = 1H:1V$.

Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente. También existen otros factores topográficos en los taludes, los cuales se requiere definir, tales como: longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de la cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

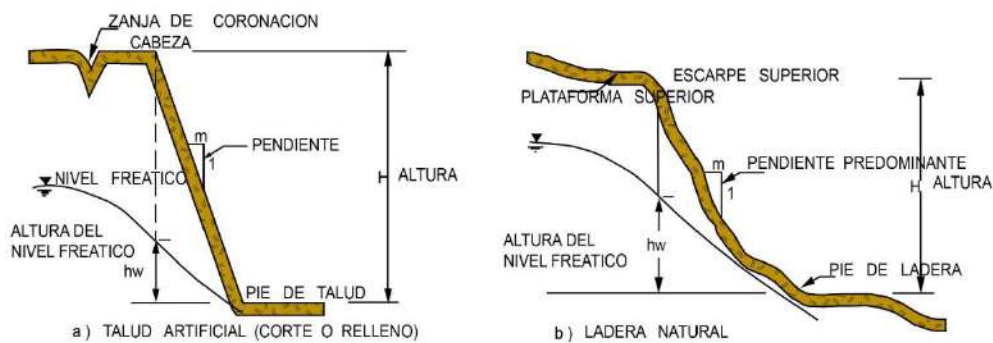


Figura 5: Nomenclatura de taludes y laderas (Suárez, 1998).

Taludes en suelos:

Los taludes en suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud. Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas. Puede ser casi circular, pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo). Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia puede tener lugar a rotura a favor de la superficie plana o de una superficie poligonal formada por varios tramos planos. (González de Vallejo 2002).

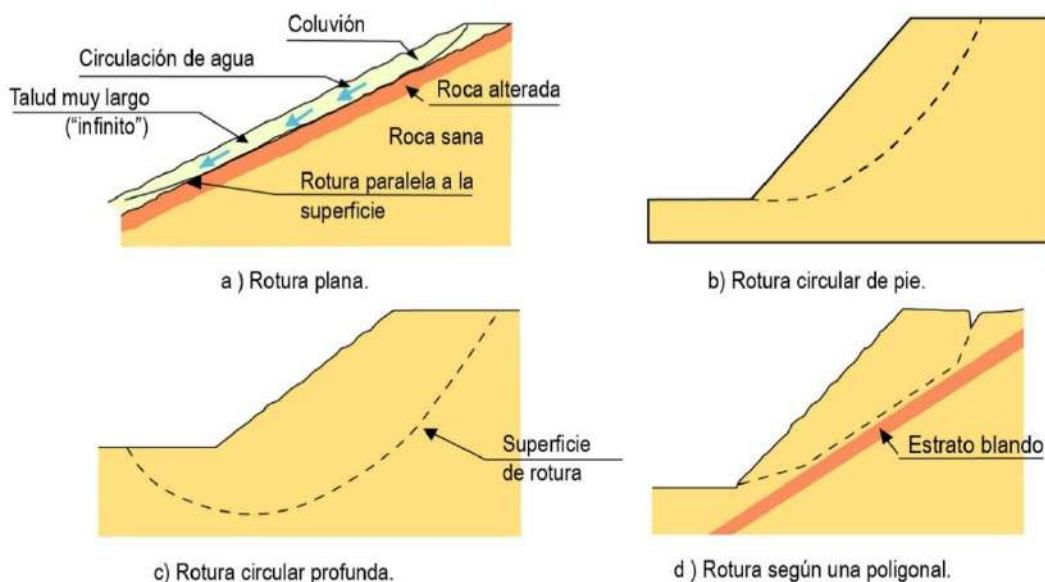


Figura 6: Mecanismos de falla en suelos (Ferrer, 2003)

Taludes en rocas:

Los diferentes tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud,

quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura (González de Vallejo 2002).

Algunos modelos más frecuentes de rotura en rocas son:

- Rotura Planar en talud dado por una familia de discontinuidades.
- Rotura en cuña dado por dos familias de discontinuidades.
- Rotura por volcamiento dado por una familia de discontinuidades.
- Fallo circular en el relleno de roca, roca muy débil o roca estrechamente fracturada con discontinuidades orientadas aleatoriamente.

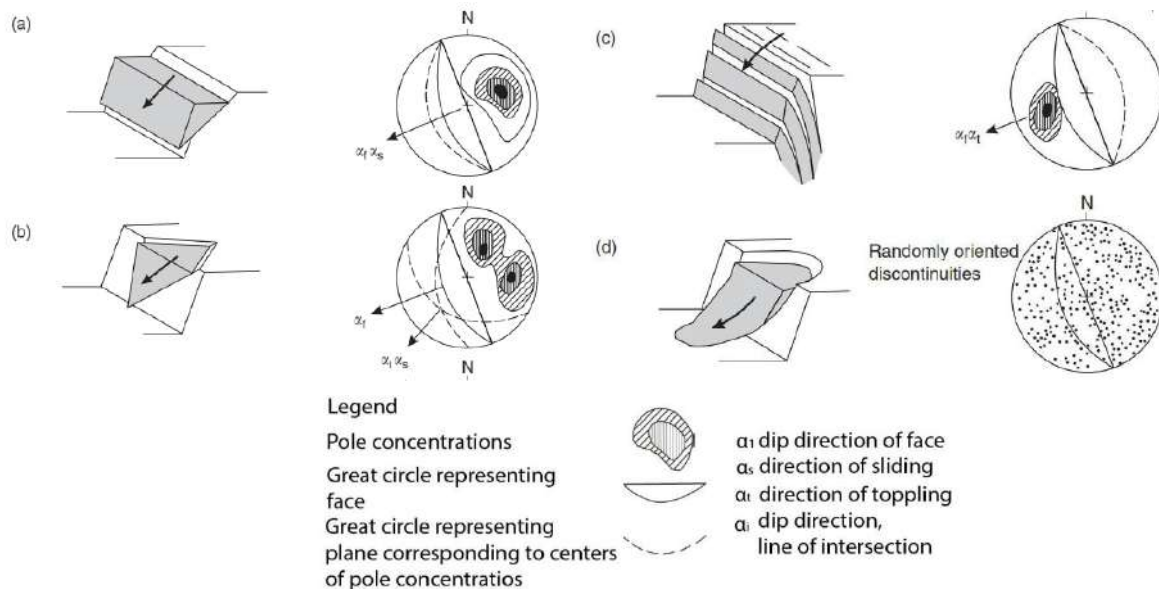


Figura 7: Principales tipos de roturas de bloque en taludes para diferentes condiciones de geología estructural que puedes causar estos fallos (Wyllie & Mah, 2004).

2.2.4 Movimientos en los Taludes:

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 erosionales y denudacionales interrelacionados entre sí y a menudo mezclados.

2.2.4.1 Clasificación de Movimientos en Masa:

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca,

suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo (Suarez, 1998).

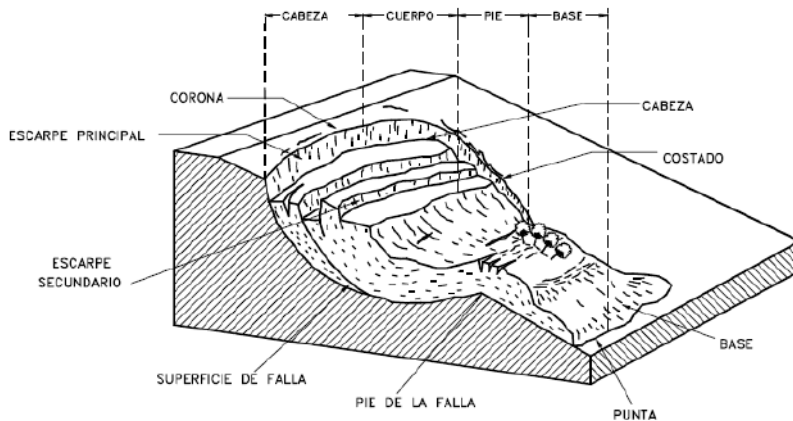


Figura 8: Nomenclatura de un movimiento en masa (Suarez, 1998).

El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento. En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70%(Suarez, 1998)

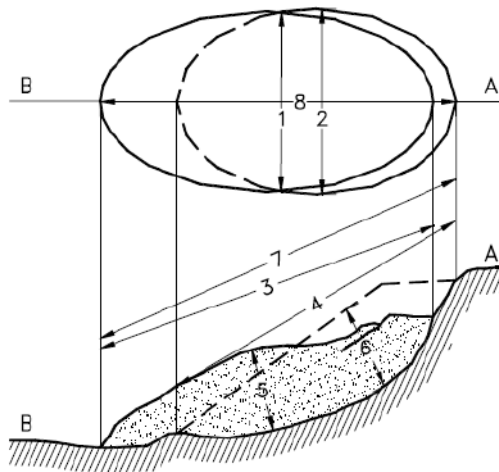


Figura 9: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a Asociación Internacional de Ingeniería Geológica, comisión de deslizamientos de tierra (Suarez, 1998).

Caída de rocas

Según Varnes (1978) son movimientos que consisten en el desplazamiento de bloques de roca por efecto de la gravedad a lo largo de pendientes empinadas, cuyos movimientos dependiendo de la pendiente del talud pueden ser del tipo caída libre, saltos, rodamiento o deslizamiento.

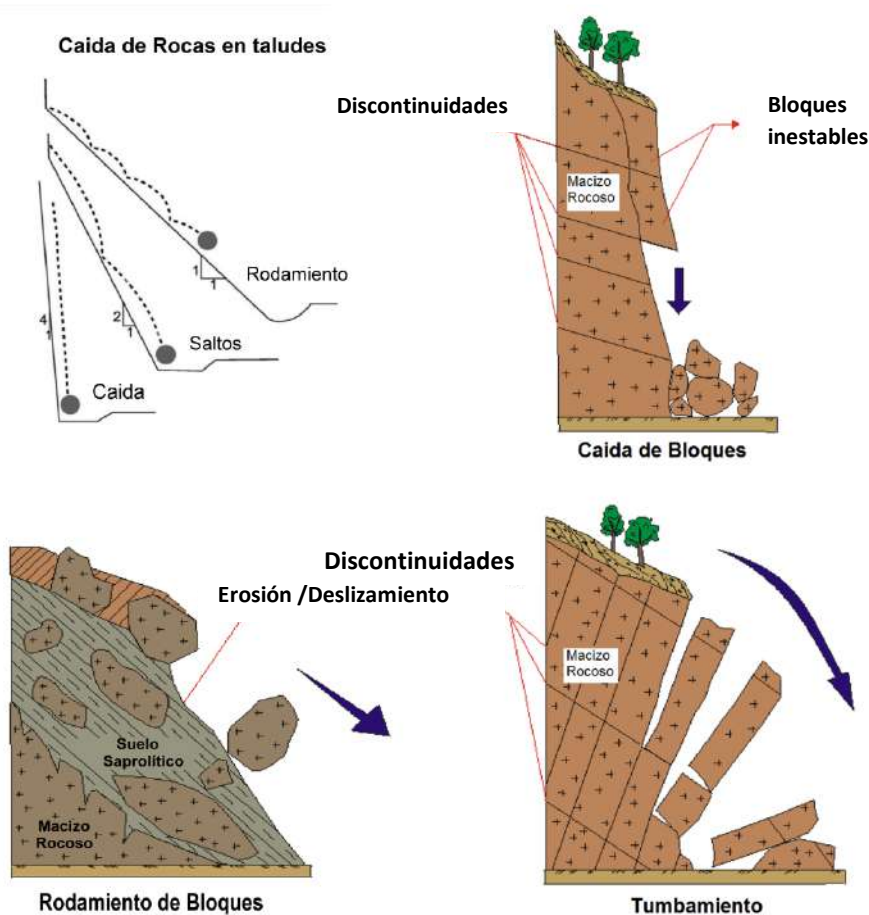


Figura 10: Esquemas de los tipos de movimientos que los bloques realizan sobre el talud dependiendo de su pendiente y su origen (Modificado de Pimentel, 2011).

Según Pimentel (2011) las caídas de rocas se deben principalmente a la meteorización físico-química y biológica de las discontinuidades pre-existente de las rocas, tales como fallas, juntas, estratificación, bandeamiento y esquistosidad. Así mismo la rugosidad, persistencia, abertura y relleno son estructuras que contribuyen de manera decisiva en el origen de las caídas de rocas.

Vuelcos:

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas. Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos (Suarez, 1998).

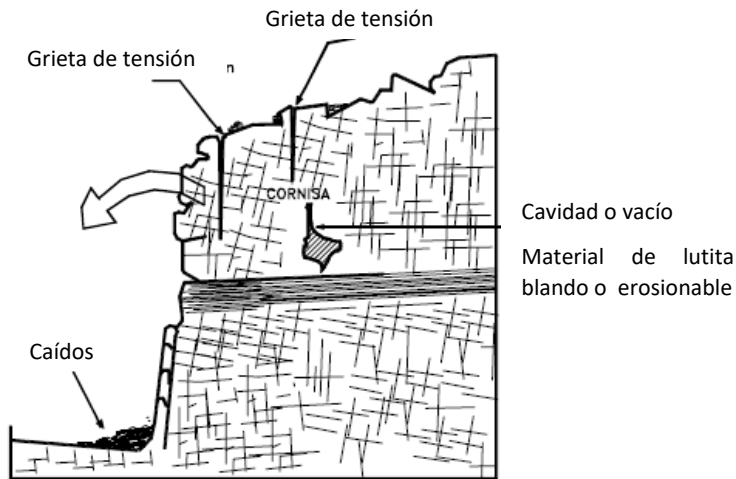


Figura 11: Volteo o inclinación en materiales residuales (Suarez, 1998).

Reptación:

Movimiento superficial (unos decímetros) muy lento, prácticamente imperceptible, que afecta a suelos y materiales alterados, provocando deformaciones continuas que se manifiestan al cabo del tiempo en la inclinación o falta de alineación de árboles, vallas, muros, postes, en las laderas (González de Vallejo 2002).

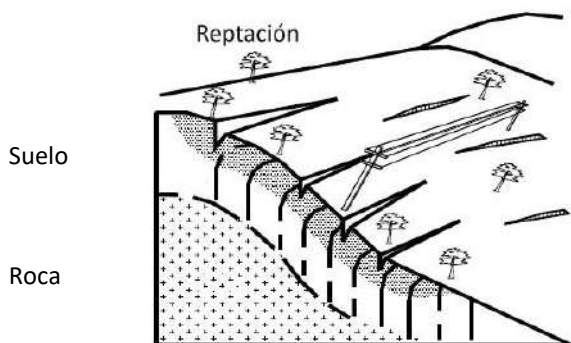


Figura 12: Esquema de reptación (Suarez, 1998).

Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos)- (González de Vallejo 2002).

El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que

se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. (Cruden, 1991).

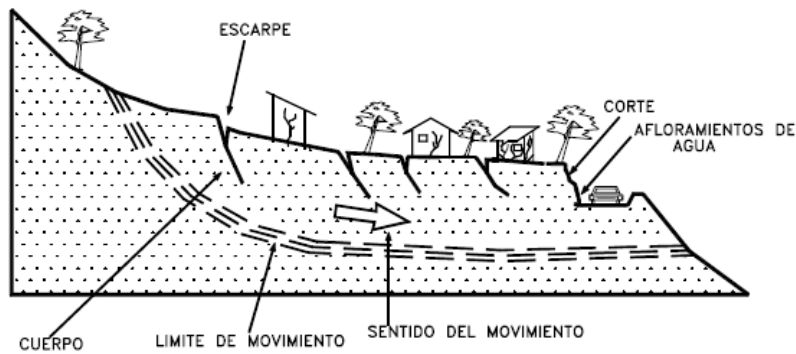


Figura 13: Deslizamientos en suelos blandos (Suarez, 1998).

Los deslizamientos se subdividen en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

a. Deslizamiento Rotacional.

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación (Suarez, 1998). Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura.

Sus dimensiones más frecuentes varían entre varias decenas y centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales o profundos (el límite puede establecerse en torno a los 10 m)-(González de Vallejo 2002).

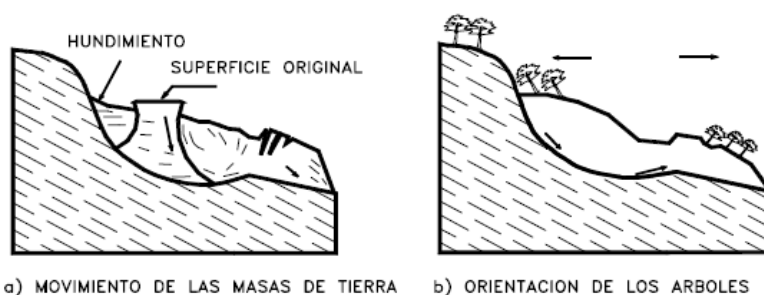


Figura 14: Deslizamiento rotacional típico (Suarez, 1998).

b. Deslizamiento Traslacional o Planar.

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera 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 (Figura 15), los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones (Suarez, 1998).

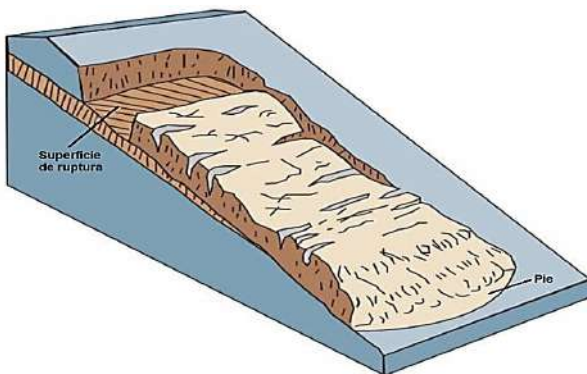


Figura 15: Deslizamiento traslacional típico (Suarez, 1998).

Erosión de laderas.

La erosión es el desprendimiento, transporte y deposición de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas, los procesos de erosión son muy comunes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, especialmente, los compuestos por limos y arenas finas principalmente, cuando la cobertura vegetal ha sido removida (Suarez, 1998). Se conocen varios tipos de erosión, de los cuales los más importantes son: Erosión en cárcavas y erosión surcos.

Flujos

En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.

La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo (Suarez, 1998). Tenemos algunos tipos de flujos más importantes como son: Avalancha de detritos y flujo de detritos.

2.2.5 Método de Análisis de Estabilidad de Taludes.

Existen 2 métodos para el análisis de estabilidad de taludes: El de equilibrio límite y el de análisis de tensiones.

2.2.5.1 Método del Equilibrio Límite.

Los métodos de equilibrio límite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable. Se basan en:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- La definición de “coeficiente de seguridad”.

El método consiste en determinar el equilibrio de una masa activa de suelo, la cual puede ser delimitada por una superficie de ruptura circular, plana o poligonal. El método asume que la ruptura se da a lo largo de un plano, en el cual todos los elementos de esa superficie alcanzan simultáneamente el factor de seguridad $FS=1$. Al momento de la ruptura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie está movilizada; mientras que el terreno se encuentra en equilibrio estático. Actualmente, este método es bastante utilizado debido a su sencillez y porque los factores de seguridad obtenidos son similares al real. (Gerscovich, 2013)

Factor de seguridad

Se define el factor de seguridad (FS) como la división entre las condiciones reales que presenta un talud y las condiciones que podrían ocasionar la falla.

En el caso de un FS menor a 1 se afirma que el movimiento a lo largo de la superficie de deslizamiento es posible. A partir de $FS=1$, es posible determinar el máximo ángulo de inclinación que un talud podría tener para permanecer estable. Mientras que para taludes definitivos debería emplearse un $FS=1.5$ (Hoek, 1 991).

2.3 Definición de Términos Básicos.

Talud. Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura (Suárez, 2009).

Riesgos geológicos. Los riesgos geológicos son situaciones hipotéticas de posibles daños como consecuencia de un posible fenómeno natural para cuya comprensión es necesario integrar el conocimiento geológico. Existen muchos procesos geológicos que dan lugar a este tipo de situaciones, pero básicamente se clasifican desde un punto de vista geodinámico en riesgos internos y externos según sea el origen del proceso. Los análisis de riesgos geológicos se realizan con el propósito de reducir el impacto negativo de los procesos naturales sobre la vida de las personas y de sus bienes (Llorente y Laín, 2009).

Deslizamientos. Los deslizamientos son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos)- (González de Vallejo 2002).

Peligro geológico. Son aquellos elementos del medio ambiente físico perjudicial al hombre, causado por fuerzas ajenas a él. Comprende una gran variedad y complejidad de movimientos de material geológico debido a las fuerzas de gravedad y en algunos casos por acción del agua. (petak y atkisson, 1982).

Procesos de remoción en masa. Los procesos de remoción en masa se definen como el movimiento descendente de un volumen de material constituido por roca, suelo o por ambos (Cruden,1991).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica

El tramo de estudio se encuentra ubicado en la cordillera occidental de los andes, en el norte del Perú, al suroeste de la ciudad de Cajamarca y corresponde a un tramo de la carretera que conecta el distrito de Cospán y el centro poblado de Campodén, la longitud del tramo estudiado es de 10.46 km., comprende el cuadrángulo de Cajamarca (15f), sistema UTM - DATUM – WGS-84 – ZONA - 17S.

Tabla 13: Coordenadas de los límites de la carretera en estudio, sistema de coordenadas WGS-84 ZONA-17S.

Coordenadas UTM (Datum: WGS-84, Zona-17S)	Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
Punto inicial (Km 0+000)	9171630	770283	2803
Punto final (Km 10+463)	9175080	771592	2359

3. 2 Ubicación Política.

Políticamente el tramo se encuentra en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Cospán, comunidades de Rambrán y Unión Casipe.

La investigación se desarrolló entre los meses de abril a septiembre del 2017.

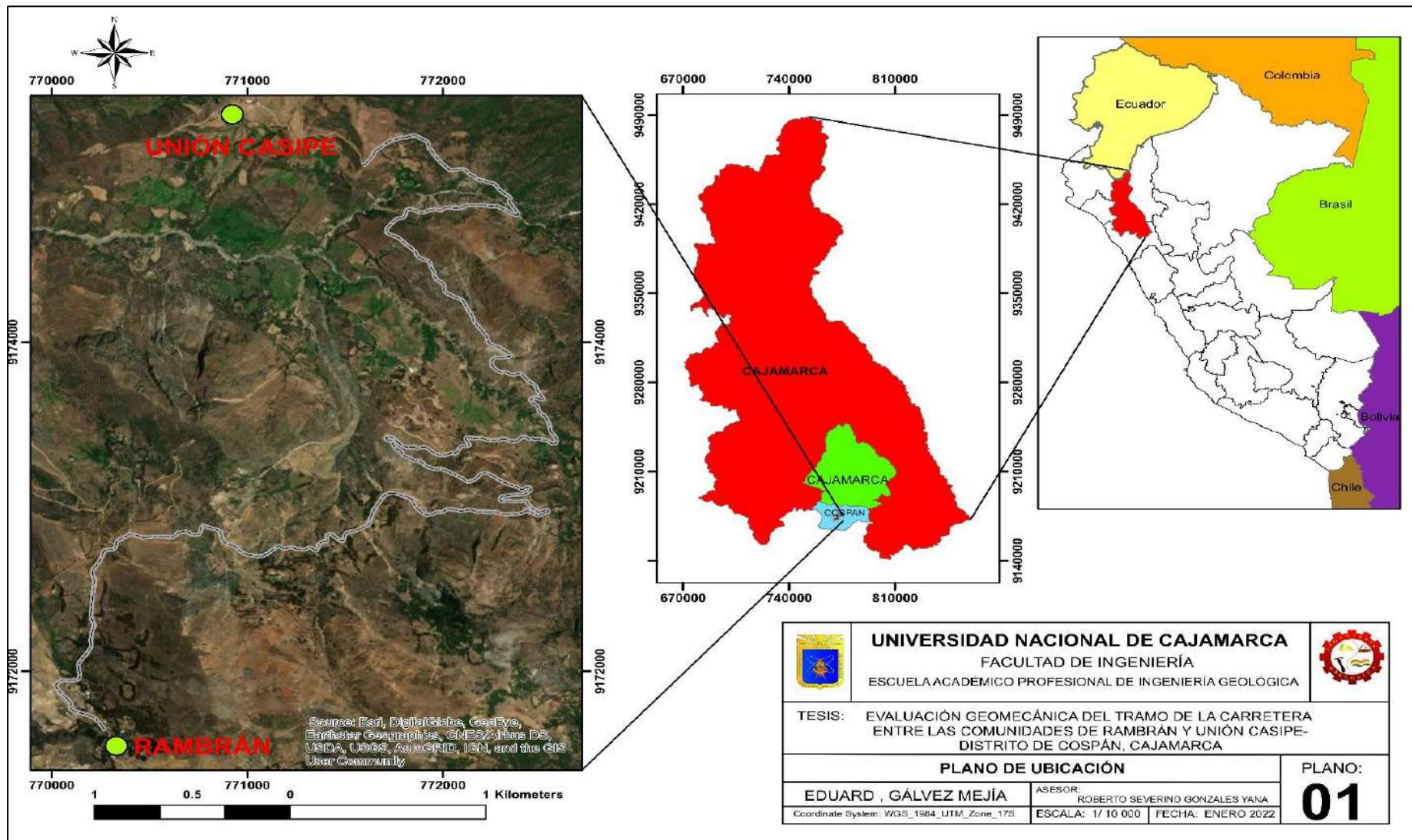


Figura 16: Ubicación política Cospán.

3. 3 Accesibilidad.

Para acceder al punto de inicio del tramo se puede realizar desde la Ciudad de Cajamarca a través de la Carretera asfaltada Cajamarca- Choropampa, luego asfaltada hasta Cospán, luego trocha hacia Rambrán lugar de inicio del proyecto.

Tabla 14: Accesibilidad a Rambrán.

Ruta Terrestre	Distancia (km)	Tiempo (h)	Tipo de Vía	Estado
Cajamarca-Choropampa	55	1	Asfaltada	Buena
Choropampa-Cospán	60	2.5	Asfaltada-Bicapa	Buena
Cospán-Rambrán	20	1	Trocha	Malo

3. 4 Clima.

El clima es muy húmedo y frío en los meses de invierno y templado en los meses de verano, las precipitaciones pluviales empiezan a producirse a partir del mes de septiembre, pero se incrementan aún más en los meses de enero a mayo, en mayo las precipitaciones pluviales empiezan a disminuir, las bajas precipitaciones se dan de mayo a septiembre.

En términos generales la precipitación promedio anual es ligeramente superior a 1,000 mm, la temperatura promedio disminuye está en 18°C y la mínima puede llegar casi a cero grados en algunos lugares en la estación de invierno (Senamhi, 2018).

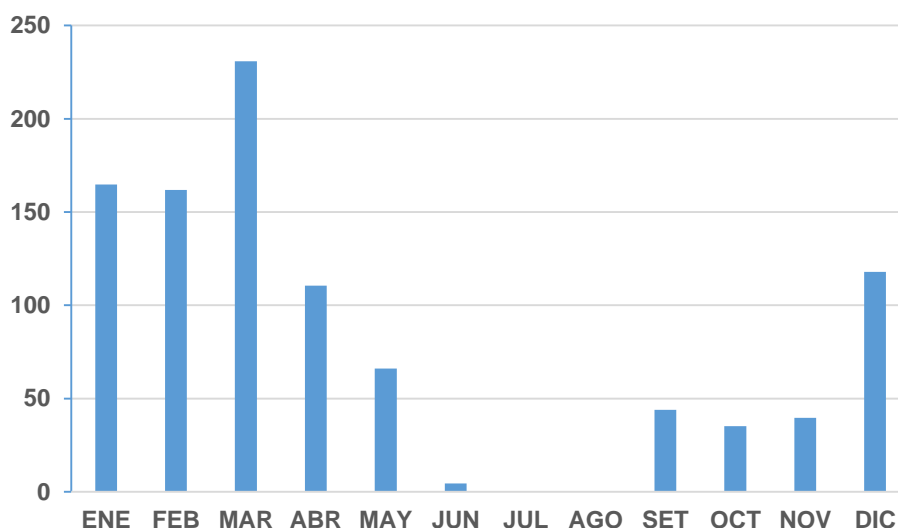


Figura 17: El diagrama muestra las precipitaciones pluviales que empiezan a incrementarse a partir del mes de septiembre, se observan las precipitaciones más altas en los meses de enero, febrero y marzo (Fuente: SENAMHI, 2018 - Dirección de Redes de Observación y Datos)

Tabla 15: Se muestran los datos meteorológicos de la estación Cospán para el año 2018.

Departamento :	CAJAMARCA			Provincia :	CAJAMARCA		Distrito :	COSPAN
Latitud :	7° 25' 42.8"			Longitud :	78° 32' 27.8"		Altitud :	2423
Mes/año	Temperatura (°c)			Humedad (%)	Lluvia (mm)	Presión (mb)	Velocidad	Dirección
	Prom	Max	Min				del	del
							Viento (m/s)	Viento
01/2018	13.90	18.52	11.14	89.25	165	762.57	0.11	277.61
02/2018	14.05	18.71	11.03	89.39	162	763.18	0.11	233.07
03/2018	14.05	18.35	11.44	92.83	231	762.80	0.07	298.42
04/2018	13.96	18.86	10.87	88.50	111	761.26	0.09	296.83
05/2018	14.16	19.14	10.74	87.92	66	764.00	0.08	296.74
06/2018	13.82	20.58	9.59	73.68	4	763.86	0.11	329.20
07/2018	14.17	20.91	9.71	64.62	0	763.57	0.22	319.57
08/2018	14.80	21.76	10.35	59.86	0	736.93	0.26	307.77
09/2018	14.87	21.22	10.51	69.20	44	762.86	0.20	320.00
10/2018	14.59	20.34	10.63	67.60	35	761.01	0.13	301.71
11/2018	14.89	20.43	11.42	79.39	40	763.03	0.12	271.33
12/2018	14.57	20.05	10.83	79.36	118	763.09	0.14	288.87

Fuente: SENAMHI, 2018 - Dirección de Redes de Observación y Datos

3.5 Metodología de la Investigación.

La metodología de investigación empleada en la tesis es:

Tipo de investigación: Exploratoria, descriptiva, explicativa, basada en observaciones y toma de datos directamente del medio físico rocoso en los afloramientos y taludes de la carretera. Tomando datos como: Dirección del buzamiento (Dip Direction), buzamiento (Dip), fallas, pliegues, diaclasas y los parámetros geomecánicos que se requieren para la caracterización del macizo rocoso.

Nivel de investigación: Es de carácter descriptivo y cualitativo, donde se determinará la estabilidad o inestabilidad de los taludes mediante la caracterización geomecánica.

Diseño de investigación: Es de carácter transeccional, debido a que se estudia en un momento determinado de tiempo.

Método de investigación: El método de investigación tiene un carácter deductivo.

Población de estudio: Los taludes en el tramo de la carretera entre las Comunidades de Rambrán y Unión Casipe - Distrito de Cospán, Cajamarca (Km 0+000 - Km 10+463).

Muestra: Los 12 puntos de muestreo geomecánico.

Unidad de análisis: Zonas críticas de los taludes, mediante la clasificación del macizo rocoso (RMR).

3.6 Variables

La investigación está relacionada con variables independientes y dependientes.

Tabla 16: Variables.

Variable Independiente	Variable Dependiente
Litología	Evaluación Geomecánica
Estructuras	
Condiciones atmosféricas	
Geotecnia	
Factor de seguridad	
Estabilidad de taludes	
Movimientos en masa	
Precipitaciones	

3.7 Técnicas e Instrumentos de Recolección.

3.7.1. Técnicas: Las técnicas empleadas para el acopio de la información fueron:

Observación y descripción en campo con la finalidad de reconocer litologías, estructuras, fenómenos geológicos.

Análisis bibliográfico con la finalidad de recolectar toda la información disponible que ayudó en la elaboración del trabajo de investigación.

Registro fotográfico de las diferentes actividades durante la etapa de campo.

Mediciones de discontinuidades, buzamiento y dirección de buzamiento usando la brújula brunton.

Los datos obtenidos en campo (buzamiento, dirección de buzamiento de discontinuidades y taludes) se procesaron mediante la aplicación de softwares geotécnicos como, Dips V 5.0, Slide V.7 y el Rocdata V.4, ArcGis 10.4 que ayudaron a interpretar y analizar la estabilidad de taludes, con el software Dips V 5.0 se determinó el mecanismo de rotura en taludes rocosos y con Slide V.7 se determinó el factor de seguridad de taludes en suelo. El desarrollo de la investigación presentada en la presente tesis se realizó en tres etapas: Gabinete Inicial, Campo y Gabinete Final.

3.7.2. Instrumentos y materiales

Brújula Brunton, utilizada para la medición de discontinuidades, planos de estratificación, dirección de taludes.

GPS Garmin eTrex Navegador, utilizado en la obtención de coordenadas para la ubicación de puntos y estaciones geomecánicas.

Protactor, para medir ángulos y trabajar con diferentes escalas.

Picota Geológica, utilizada para sacar muestras y calcular la resistencia del macizo rocoso.

Plano geológico del cuadrángulo de Cajamarca (15-f, escala: 1/100 000).

Fichas para evaluación geomecánica para registrar los datos obtenidos durante la etapa de campo.

Wincha (30) y Flexómetro (3m), utilizados para medir algunos elementos en los taludes.

Cámara fotográfica NIKON D 3200 – 24 Megapíxeles, utilizada para el registro fotográfico.

Libreta de campo, utilizada para anotaciones y cartografiado.

Software Arcgis V 10.5, Rocdata V. 4 Slide V.7, usados para crear los planos, calcular parámetros de resistencia del macizo rocoso y calcular el factor de seguridad correspondientemente.

Imágenes Satelitales obtenidas de Google Earth, utilizadas para fotointerpretar a escala 1:10 000.

3.8 Geología Local.

3.8.1. Cretácico Inferior

3.8.1.1. 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 (Benavides, 1956).

3.8.1.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)

Esta formación está cubriendo la mayor parte del área, está compuesta litológicamente por una alternancia de areniscas amarillentas y limolitas en la parte inferior y areniscas blanquecinas en la parte superior. Tiene un grosor aproximado de 600 m. Sus afloramientos se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras (Benavides, 1956).



Foto 1: Afloramiento de areniscas de la Formación Chimú (progresiva Km 08+650)

3.8.1.1.2. Formación Santa (Ki-sa)

Aflora en el sector Llimbe, esta unidad está compuesta por alternancia de arcillitas y limolitas en la parte superior, areniscas finas de coloración gris oscuras en la parte inferior, presenta esporádicos horizontes calcáreos, tiene un grosor que oscila entre los 100 y 150m. Sobreyace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuaz (Benavides, 1956).

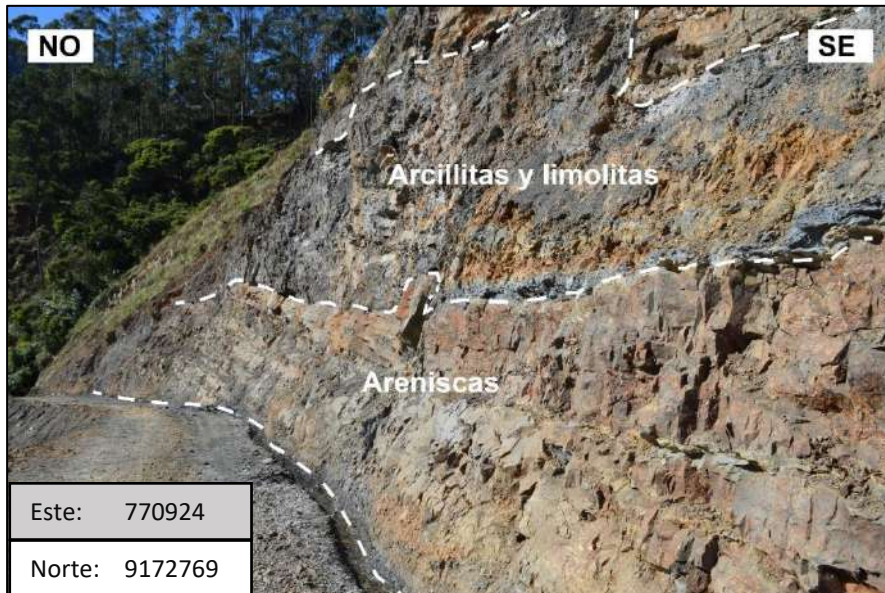


Foto 2: Afloramiento de Areniscas, arcillitas y limolitas de la Formación Santa (progresiva Km 02+200).

3.8.1.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca)

Aflora en el sector Llimbe, unidad compuesta por una alternancia de arcillitas, limolitas y areniscas de grano fino. En la base se observa una alternancia de arcillitas y areniscas y en el techo se observa alternancia de limolitas y areniscas; las areniscas son de grano fino de coloraciones gris amarillentas - violáceas en estratos delgados, las arcillitas son gris oscuras, las limolitas tienen coloraciones verdosas. Esta formación se encuentra sobreyaciendo en aparente concordancia a la Formación Santa e infrayace concordante a la Formación Farrat. Tiene un grosor aproximado de 500m (Benavides, 1956).

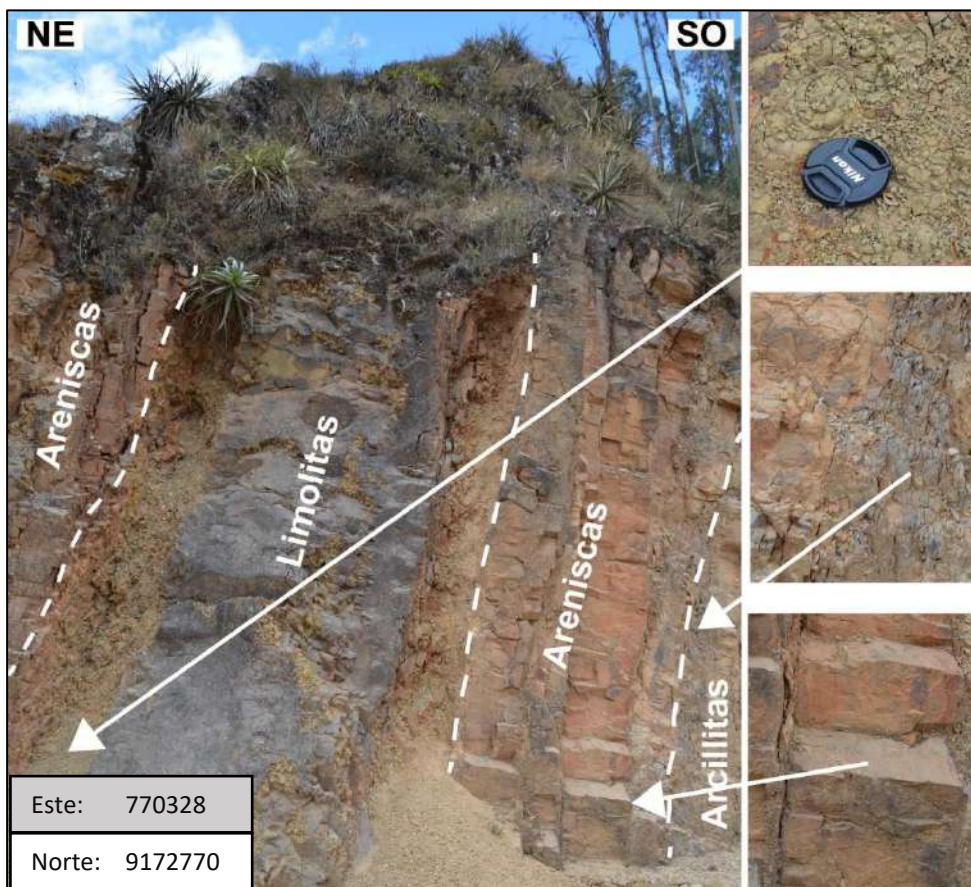


Foto 3: Afloramiento de arcillitas, limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz (progresiva Km 02+450).

3.8.1.1.4. Formación Farrat (Ki-fa)

Aflora en el sector de Rambrán, esta unidad litológicamente está compuesta por areniscas blancas cuya granulometría va de grano medio a grano grueso, tiene una potencia promedio de 500 m. Presenta estratos muy resistentes a la erosión. Esta formación es similar a la Formación Chimú, pero se diferencian porque esta carece de mantos de carbón (Reyes, 1980).

La Formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la Formación Carhuaz e infrayace con la misma relación, a la Formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual (Cruzado y Crisólogo, 2009).



Foto 4: Afloramiento de areniscas de la Formación Farrat (progresiva Km 00+600).

3.8.1.2. Formación Inca (Ki-in)

Aflora también en el sector Rambrán, esta formación se encuentra casi en su totalidad cubierta de depósitos cuaternarios, ha sido posible identificar un pequeño afloramiento en el corte de la carretera, litológicamente está compuesta por areniscas calcáreas y arcillitas ferruginosas dando a su superficie una matriz gris amarillento. Infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la Formación Farrat.

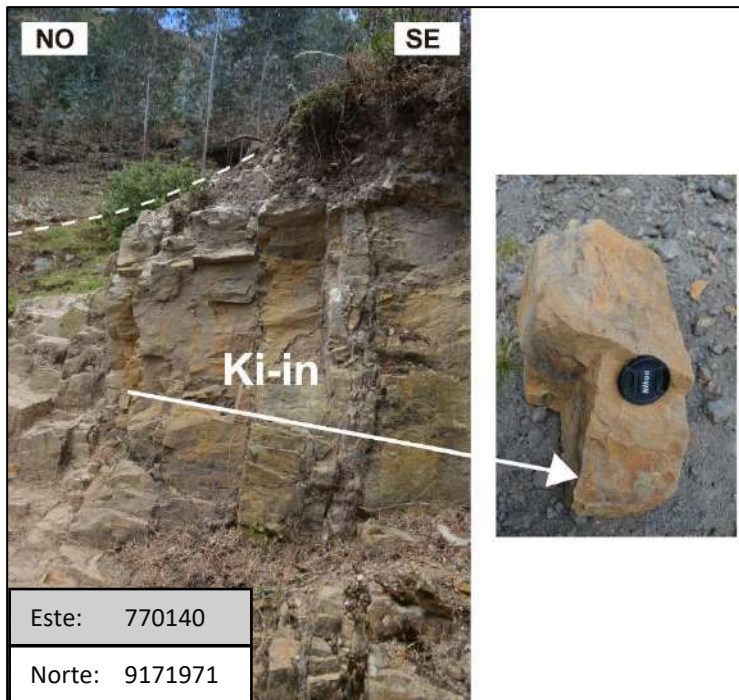


Foto 5: Afloramiento de areniscas ferruginosas de la Formación Inca (progresiva Km 00+550).

3.8.1.3. Formación Chulec (Ki-chu)

Aflora en el sector Rambrán, al extremo SW, litológicamente consta de una alternancia de calizas y margas nodulosas en la parte inferior; las que por intemperismo adquieren un color crema- amarillento y arcillitas calcáreas en la parte superior.

Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Estas calizas con arcillitas se pueden encontrar contenidas en un suelo de carácter terroso amarillento, el color de las calizas es gris.



Foto 6: Afloramiento de calizas y arcillitas calcáreas de la Formación Chulec (progresiva Km 00+300).

3.8.2. Depósitos cuaternarios.

3.8.2.1. Depósitos Coluviales (Q_co)

Estos depósitos están asociados a masas inestables y están compuestos principalmente por fragmentos angulares y heterogéneos debido al poco transporte que estos han tenido, presentan un color marrón, estos fragmentos están sostenidos por una matriz de composición variable con presencia de arenas, arcillas y limos, se encuentran suprayaciendo parcialmente a las Formaciones: Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chulec.



Foto 7: Depósitos Coluviales en un corte de talud, se encuentran suprayaciendo rocas de la Formación Farrat (progresiva Km 01+300).

3.8.2.2. Depósitos Fluviales (Q_fl)

Estos depósitos se observan en las riberas de los ríos y quebradas, están conformados por fragmentos rocosos heterogéneos (cantos, gravas), los cuales han sido transportados a grandes distancias, el tamaño de los clastos y su composición es variada.



Foto 8: Depósitos fluviales en el cauce de la quebrada Casipe (progresiva Km 09+320).

3.8.2.3. Depósitos Aluviales (Q-al)

Depósitos transportados por la quebrada Casipe, quebrada los Alisos y quebrada las Palmas, los cuales han sido depositados en forma de terrazas en la parte más baja, donde se unen estas 3 quebradas. Litológicamente está compuesta por fragmentos de rocas heterométricos y heterogéneos, de subredondeados a redondeados en una matriz de arena, limos y arcillas.

3.9 Geología Estructural.

Se encuentran evidencias de varias etapas de deformación, las cuales corresponden a los movimientos del Ciclo Andino. Estas fases de deformación están evidenciadas por discordancias, pliegues, fallas y demás estructuras, materializadas en zonas de deformación (fajas o provincias estructurales).

3.9.1. Pliegues.

Su origen está asociado a los eventos tectónicos ocurridos producto de la orogenia andina, que ha traído como consecuencia una gran complejidad estructural. Estas han deformado las secuencias litológicas Mesozoicas y Cenozoicas, que conforman los relieves, donde se manifiestan los plegamientos de tipo sinclinal y anticlinal. Se encuentran alineados al rumbo andino, aunque en algunos sectores cambian de dirección por efectos de la ocurrencia de fallamientos, que ocurrieron posteriores a la deformación.



Foto 9: Plegamientos en areniscas de la Formación Chimú, sector Unión Casipe (progresiva Km 8+850).

3.9.2. Sinclinales y Anticlinales.

Estas estructuras se caracterizan por tener un amplio desarrollo de la cuenca Cretácica, además varían en forma y tamaño, en el sector Peña Blanca se ha podido identificar un anticlinal y un sinclinal en afloramientos de la Formación Chimú y en la Comunidad de Rambrán se puede evidenciar un sinclinal en afloramientos de la Formación Chúlec.

3.9.3. Fallas.

El análisis estructural realizado en la zona permitió determinar la presencia de fallas de origen tectónico, en el tramo que abarca el sector Casipe - Llimbe. La denominación de las fallas se hizo de acuerdo al lugar donde se han identificado.

3.9.3.1. Falla Llimbe.

La falla Llimbe corta al talud de carretera de Cospán hacia Rambrán, a la altura del sector el Llimbe en arcillitas, limolitas y areniscas finas de la Formación Santa. Esta falla es del tipo inversa, con azimut de 158°N , buzamiento de 68° hacia el SE. Posiblemente esta falla esté influenciando en la estabilidad del talud. El plano de falla es perpendicular la estratificación, en el bloque piso la roca está fracturada y meteorizada, parte del bloque techo está cubierto con depósitos coluviales.

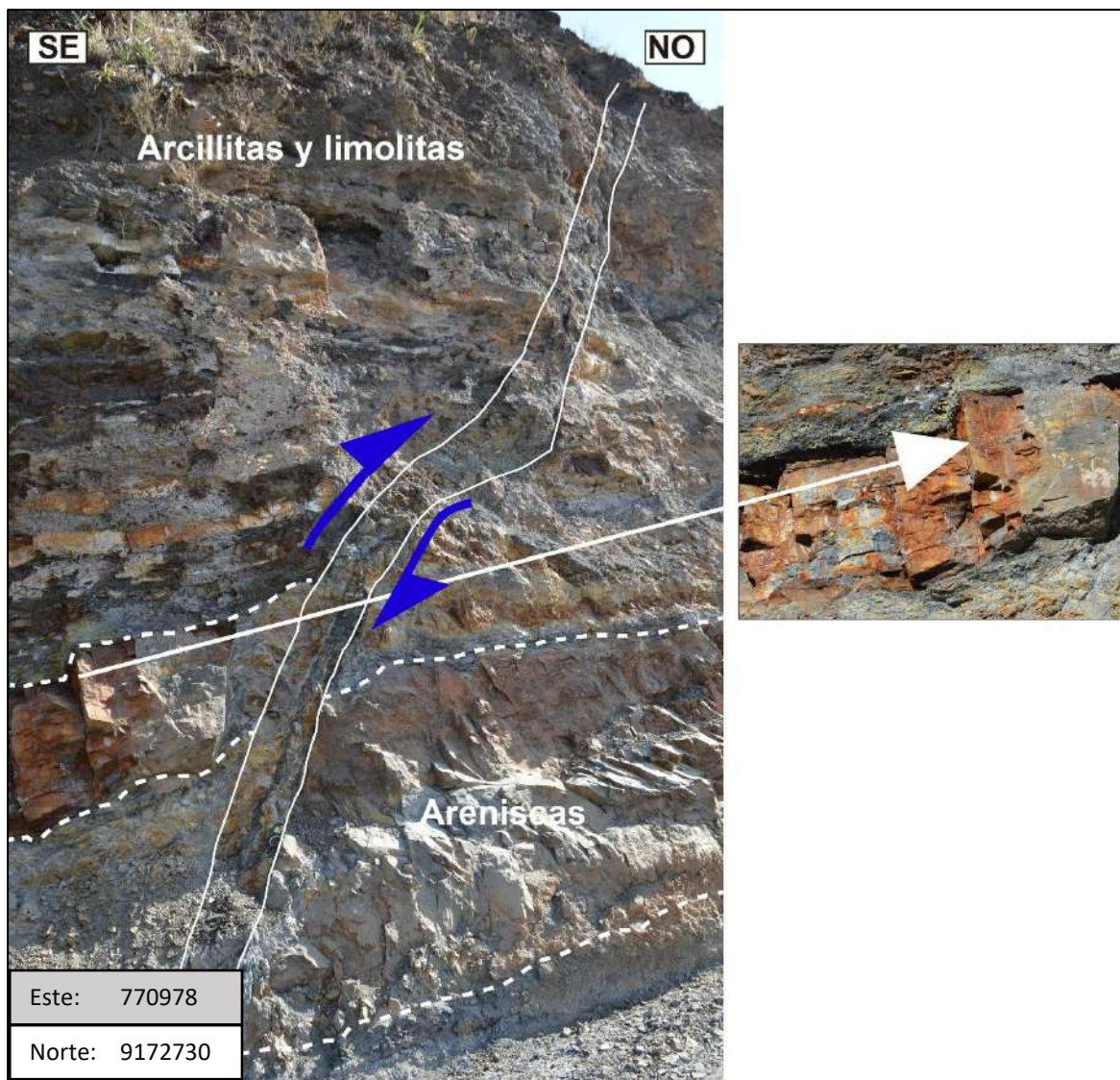


Foto 10: Se observa la Falla Llimbe sobre un afloramiento muy meteorizado constituido por intercalación de arcillitas, limolitas y areniscas de la Formación Santa (progresiva Km 02+250).

3.10 Geomorfología.

Unidad de Montañas.

Las montañas presentan mayor distribución en el área de estudio, se considera dentro de esta unidad a las geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, cuya cima puede ser aguda, subaguda, semiredondeada, redondeada y tabular, cuyas laderas regulares o irregulares presentan un declive superior al promedio (FAO, 1968).

Se encuentran conformadas por alineamientos de rocas sedimentarias de edad cretácica. Dentro de esta unidad tenemos las siguientes subunidades:

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs).

Dentro de esta subunidad se considera a afloramientos de rocas sedimentarias Cretácicas de la Formación Chimú en su miembro superior y la Formación Farrat conformadas en su mayor parte por areniscas, las cuales han sido afectadas por procesos tectónicos y erosivos. Esta subunidad presenta crestas altas e irregulares, con pendientes que superan los 30°, sus elevaciones alcanzan los 3130 msnm.

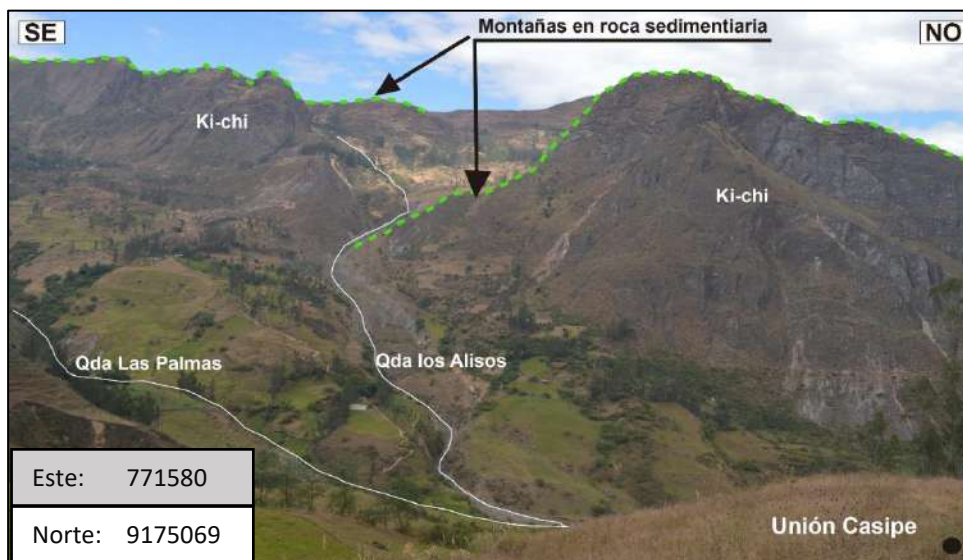


Foto 11: Montañas sedimentarias en el sector Casipe-Llimbe.

Montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs).

Corresponden a esta subunidad los afloramientos de rocas sedimentarias constituidos por areniscas de la Formación Chimú de edad Cretácico, los cuales han sido afectados por procesos erosivos, presentan laderas con pendientes medias a fuertes, se localizan en el sector noreste, en la comunidad de Unión Casipe.

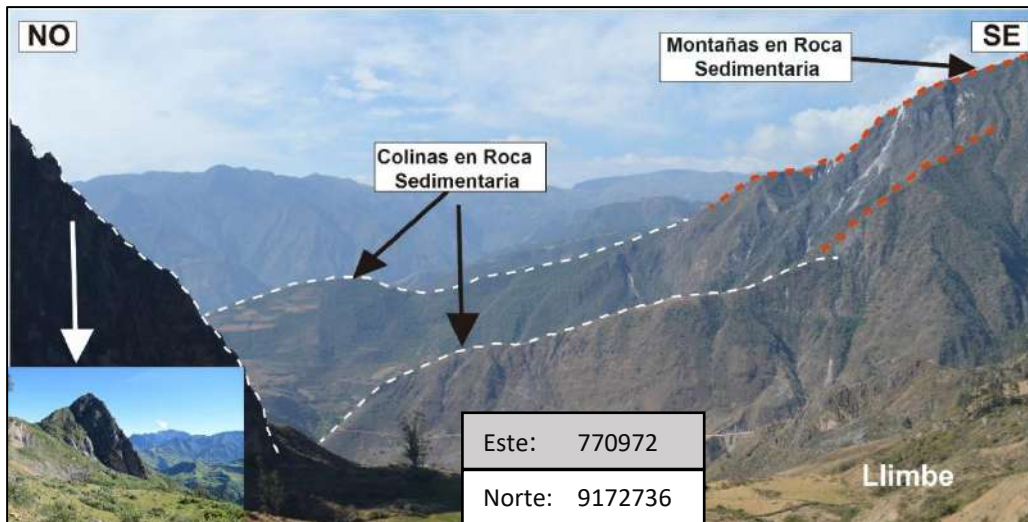


Foto 12: Montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs) en el sector Unión Casipe.

Terrazas Fluviales (T-fl)

La Terrazas Fluviales constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río que se depositan a los lados del cauce en los lugares en los que la pendiente del mismo se hace menor, con lo que su capacidad de arrastre también se hace menor, las terrazas se encuentran en la confluencia de las Quebradas Casipe y las Palmas, estas están constituidas por gravas, arenas, limos y arcillas.



Foto 13: Terrazas Fluviales en la confluencia de las Qdas. Casipe y Las Palmas (progresiva Km 08+550).

Laderas

Esta unidad corresponde a las faldas de que tienen una topografía suave a moderada, que se encuentran cubiertas por depósitos coluviales, residuales y aluviales. Con pendientes que fluctúan entre los 35% y los 50%.



Foto 14: Laderas en la comunidad de Unión Casipe

Depósitos Fluviales

Se les denomina a materiales transportados y depositados por la dinámica de las quebradas Casipe, las Palmas y los Alisos. Están constituidos principalmente por bloques, cantos rodados, gravas y arenas, que son transportados principalmente por la corriente de agua a grandes distancias.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 GEODINÁMICA.

En cualquier lugar de la superficie la gravedad empuja los materiales en dirección de la pendiente, el movimiento de estos está condicionado por diferentes factores.

En el tramo de estudio podemos observar algunos movimientos en masa, los cuales pueden estar condicionados por la naturaleza del material y a las características propias de las discontinuidades como son: estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad y líneas de debilidad.

En afloramientos de roca competente como en el caso de la Formación Chimú o Farrat se observa este tipo de fenómenos en menor proporción, los fenómenos de remoción en masas observados se encuentran mayormente asociados a depósitos cuaternarios (los cuales se encuentran cubriendo algunas formaciones) y en las Formaciones Santa - Carhuaz las cuales presentan una litología poco competente a los procesos de intemperismo. Otras de las causas de la presencia de estos fenómenos también es la presencia de agua en épocas de invierno sobre todo en los meses de enero-mayo, donde las precipitaciones aumentan, produciendo una sobresaturación de los suelos y por ende los fenómenos de remoción en masas. En este capítulo se presentan algunos de los fenómenos de remoción en masas presentes en el tramo de estudio, los cuales se encuentran afectando a la carretera en varios puntos (15-20% del tramo), a viviendas y cultivos (< al 3%).

Deslizamientos.

En el sector Unión Casipe podemos observar un deslizamiento antiguo tipo rotacional, cuando se generó el deslizamiento, la masa movilizada no llegó represar la quebrada Casipe y quedó colgado en la ladera como se puede observar en la foto 15. La longitud de la masa desplazada es de 310m, ancho de la masa desplazada es 270m aproximadamente y el escarpe de falla es de 50m.

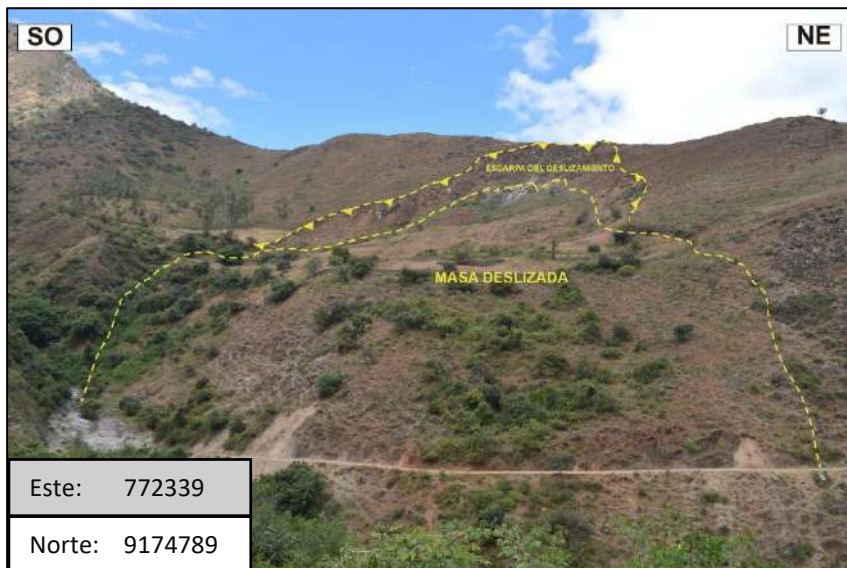


Foto 15: Deslizamiento antiguo tipo rotacional, flanco izquierdo de la carretera hacia Rambrán (progresiva Km 09+300).

En la margen izquierda de la carretera hacia Rambrán, sector Limbe se observa un deslizamiento del tipo traslacional a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada (foto 16).



Foto 16: Deslizamiento traslacional antiguo, margen izquierdo de la carretera hacia Rambrán (progresiva Km 03+700).

En la margen derecha de la quebrada las Palmas, en el sector Casipe Alto, delimitado de color amarillo se observa un deslizamiento tipo rotacional, cuya longitud de la masa deslizada es de 81m, el ancho de la masa deslizada es de 87m y el escarpe de falla es de 15m, (Foto 17) y delimitado de color blanco la escarpa de un derrumbe en la quebrada las Palmas.



Foto 17: Deslizamiento rotacional ubicado en la margen derecha de la Quebrada las Palmas (progresiva Km 06+800).

En el sector Llimbe encontramos un deslizamiento-flujo de grandes dimensiones, que se reactiva cada año durante las épocas de avenida entre enero y mayo, se encuentra afectando un tramo de carretera de aproximadamente 500 a 600 m, además viviendas y cultivos, en el año 2017 durante la época de invierno se pudo observar caídas de árboles en este sector (foto 18:a), también se observó la desaparición casi total de la carretera en un tramo de 600 m aproximadamente (foto 18: b), hemos clasificado este fenómeno como deslizamiento - flujo (figura 18), este evento se desarrolló como un movimiento de tipo complejo, originado por un deslizamiento del tipo rotacional, seguido por flujos de detritos. Mide aproximadamente 1.0 km de longitud (figura 18), y se ensancha hacia la cabeza, luego se reduce y se divide en la base. El escarpe principal tiene una altura de 80 a 100 m, pendiente entre 40 a 60° y algunos escarpes secundarios escalonados.

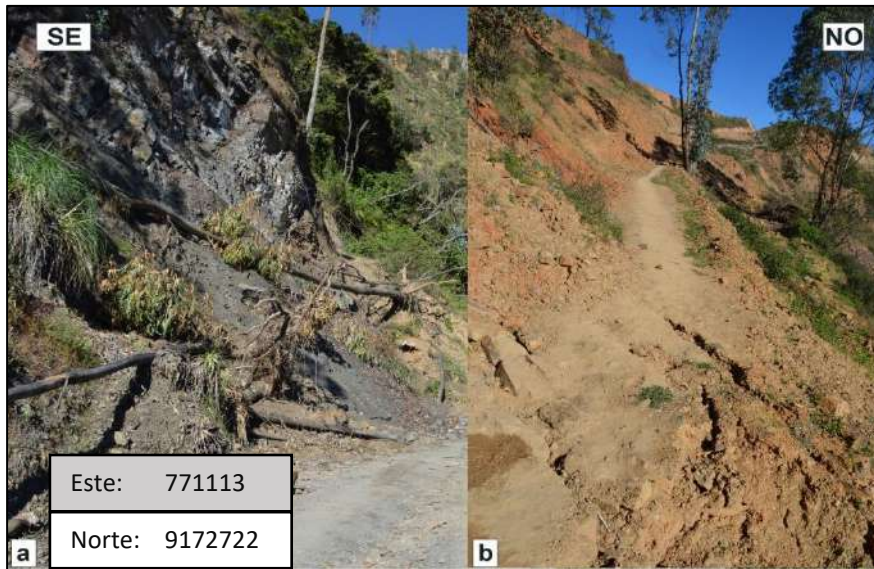


Foto 18: Deslizamiento – flujo en el sector Llimbe (progresiva Km 02+400), donde se observa caída de árboles (a) y agrietamientos longitudinales, paralelos al deslizamiento en la plataforma en un tramo de 500 a 600 m aprox. (b).

Las dimensiones para este deslizamiento son: Longitud de la masa deslizada es de 800 m, el ancho de la masa deslizada es de 600 m aprox. y el escarpe de falla es de 80 a 100m aproximadamente.

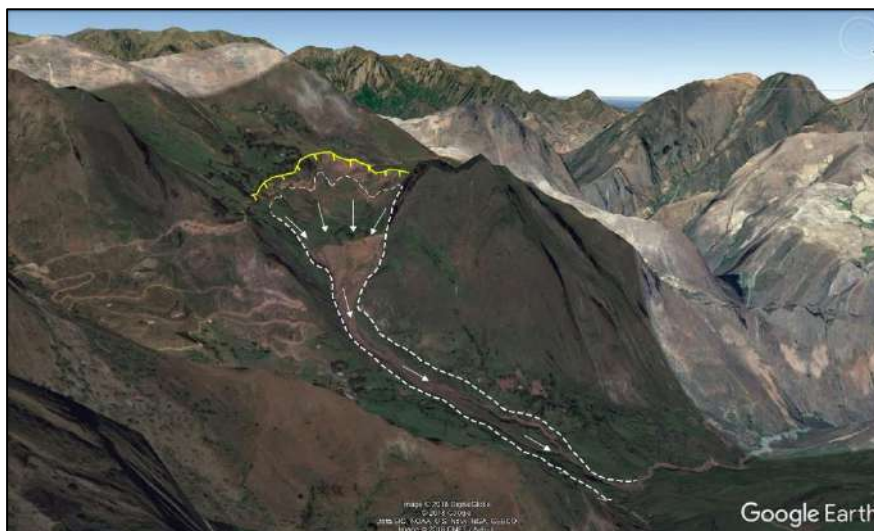


Figura 18: Imagen satelital que muestra la magnitud del deslizamiento – flujo en el sector Llimbe (progresiva Km 02+300).

Caídas de Rocas.

De acuerdo al cartografiado geológico realizado a lo largo del tramo de la carretera entre las comunidades de Rambrán y Unión Casipe, fueron reconocidas zonas donde se han producido caída de rocas hacia la carretera, producto del fracturamiento y las precipitaciones, estos depósitos fueron reconocidos en el borde de la carretera en el Cerro Peña Blanca (foto 19), en afloramientos de la Formación Chimú. Las caídas de rocas se producen generalmente en los meses de invierno, estos fenómenos pueden afectar la transitabilidad en la carretera durante estos meses. También se ha reconocido caída de rocas antiguas en el sector el Llimbe.



Foto 19: Caída de rocas en el flanco izquierdo de la carretera hacia Rambrán, sector Cerro Peña Blanca- Unión Casipe (progresiva Km 08+900).

Avalancha de rocas.

Se ha reconocido una antigua avalancha de rocas en el sector de Rambrán, el arranque de la avalancha de rocas se encuentra en afloramientos de la Formación Farrat, las rocas se encuentran poco a medianamente fracturada, encontrándose bloques que miden pocos centímetros a bloques que miden más de 3 m, este depósito está cubriendo afloramientos de la Formación Carhuaz, este depósito no representa peligro alguno para población ya que se encuentra estabilizado de forma natural. Las posibles causas que pudieron ocasionar este gran depósito son:

- Terreno con alta pendiente $> 50^\circ$, se observan también taludes sub-verticales a verticales.
- Fracturamiento de las rocas, ello favorece la infiltración de aguas, que aceleran la meteorización de la roca, ocasionando el debilitamiento del macizo rocoso.
- Poca presencia de vegetación.

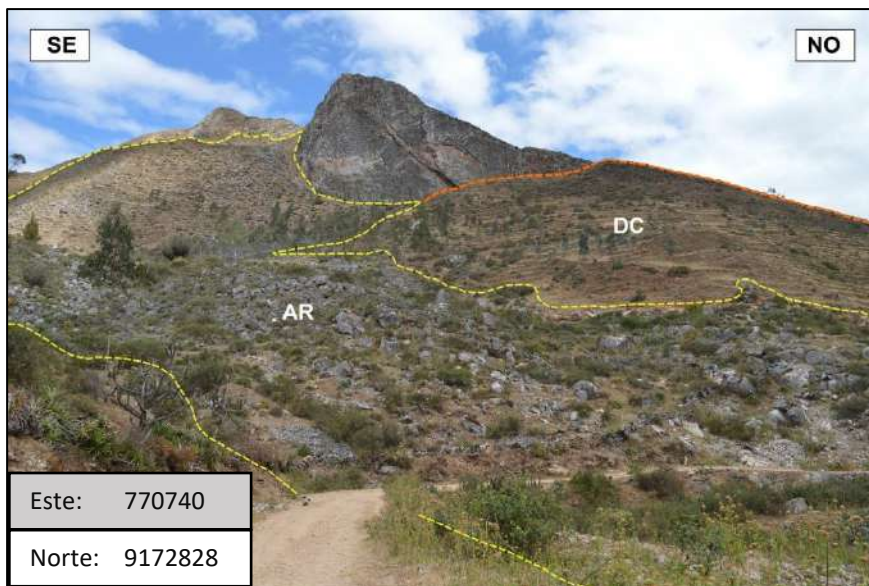


Foto 20: Delimitado de color amarillo observamos una antigua avalancha de rocas (AR), en afloramientos de la Formación Farrat, delimitado con color naranja encontramos depósitos coluviales (DC) sobre afloramientos de la Formación Carhuaz en el sector Llimbe (progresiva Km 01+900).

Reptación.

Encontramos este fenómeno en la comunidad de Casipe, se desarrollan en pendientes leves por acción de la gravedad, están afectando pastos y algunos cultivos, la reptación está relacionada a la sobresaturación de los suelos, producto las variaciones climáticas. Se pudo observar este fenómeno durante los meses de invierno entre enero y mayo (Foto 21).



Foto 21: Delimitado de color amarillo se observa reptación de suelos (R) en la época de invierno, delimitado de color blanco algunos derrumbes (D) en el flanco izquierdo de la quebrada las Palmas en la comunidad de Casipe.

Derrumbes.

Los derrumbes corresponden a desprendimientos violentos de una masa rocosa y/o suelo en un talud, sin que a lo largo de la superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable, se manifiestan a manera de saltos, rodando.

En el tramo encontramos algunos derrumbes antiguos en el flanco derecho de la quebrada Casipe (Foto 23) y otros más recientes en el flanco izquierdo de esta, también se observan algunos derrumbes al borde de la carretera y a lo largo de la quebrada las Palmas (Foto 22).



Foto 22: Se observa delimitada con líneas blancas las escarpas múltiples de derrumbes en el flanco derecho de la carretera hacia Rambrán, en el sector Las Lúcumas (progresiva Km 07+000).

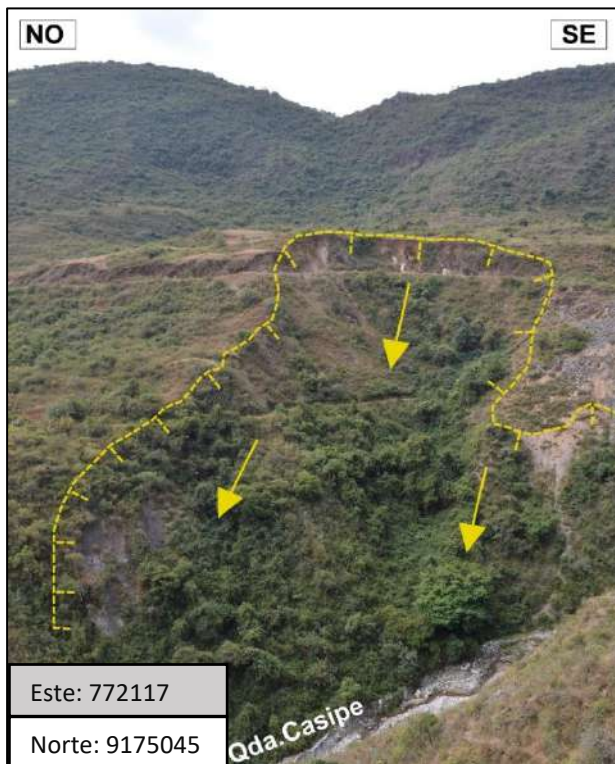


Foto 23: Derrumbes antiguos en el flanco derecho de la quebrada Casipe (progresiva Km 09+800).

Estos fenómenos están afectando principalmente a la carretera y los cultivos, asimismo se incrementan en las épocas de mayor precipitación entre enero y mayo.



Foto 24: Derrumbes sobre afloramientos de la Formación Chimú, flanco izquierdo de la carretera hacia Rambrán (progresiva Km 07+050).

Flujos de detritos.

Otro de los fenómenos frecuentes observados en el área de estudio son los flujos de detritos que constituyen una forma de movimiento en masa en el cual fragmentos de roca, suelo suelto y material orgánico se mezclan con el aire atrapado en los poros y el agua, escurren pendiente abajo, las precipitaciones que superan los 700mm/año (Senamhi, 2018), son un factor determinante para la generación de flujos de detritos, aquí es altamente recurrente la formación de flujos de detritos y durante la época de invierno estos se incrementan.

Se pudo observar en este fenómeno en mayo del 2017 en la quebrada Alisos (foto 25), este flujo de detritos produjo el colapso de un puente en el sector Llimbe, interrumpiendo así el paso vehicular y peatonal en la zona.

Parte de los sedimentos transportados se han depositado a lo largo de esta quebrada y ladera abajo se puede ver que este flujo se une a otro formado a partir del deslizamiento compuesto que se reactivó en aquella época del año.

Los depósitos de este fenómeno se observan también en la confluencia de las quebradas Casipe, Las Palmas y Alisos.



Foto 25: Se observa delimitado de color amarillo la quebrada Alisos, en cuyo cause se observan fragmentos de roca, suelo suelto y material orgánico, los cuales constituyen productos de un flujo de detritos durante la época de invierno del año 2017 (progresiva Km 03+030).

Erosión de laderas.

Cárcavas:

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en laderas. Comienzan con canales muy delgados y profundidades menores a 1 m, que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros. Este fenómeno sucede por infiltración de precipitaciones pluviales en suelos sueltos y desprovistos de vegetación. Es perjudicial para la agricultura, el paisaje y puede llegar a afectar carreteras, canales, caminos.

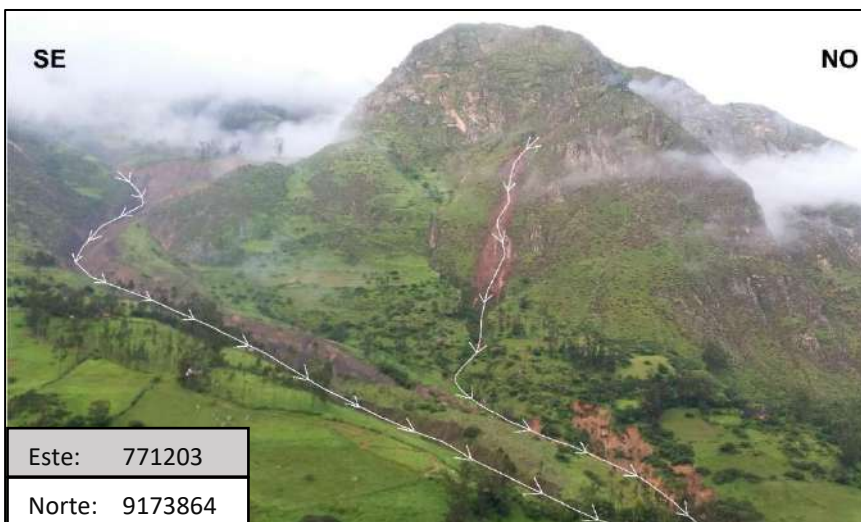


Foto 26: Se observa cárcavas en depósitos cuaternarios recientes en el sector Casipe.

4.2 GEOTECNIA.

4.2.1 Estaciones Geomecánicas.

Se han registrado 12 estaciones con medición del buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades a lo largo del tramo en estudio. Adicionalmente se registró la persistencia, el tipo de discontinuidad, abertura, relleno, rugosidad, ondulación y la presencia de agua. Toda esta información tiene como objetivo determinar las principales familias de discontinuidad y su predominancia de estas, para lo cual se utilizó el programa de computo Dips (v5.1) desarrollado por el grupo Rocscience Inc.

La matriz en la cual se registraron datos contiene diferentes campos como son: coordenadas geográficas, características del macizo rocoso (litología, meteorización, grado de fracturamiento y RQD), así como también propiedades de las discontinuidades (orientación, espaciado, persistencia, apertura, tipo de relleno, meteorización y filtraciones de agua).

Los datos fueron tomados en los meses de agosto a diciembre del 2017, usando formatos y tablas geomecánicas, también se usaron instrumentos como la brújula brúnton azimutal, martillo de geólogo para medir la resistencia de la roca, gps etrex garmin, flexómetro.

Litológicamente en el sector Rambrán, tenemos afloramientos de diversa litología, al extremo sur tenemos rocas de la Formación Chúlec, poco competentes y fácilmente erosionables, también tenemos las areniscas calcáreas de la Formación Inca, las cuales se encuentran cubiertas casi en su totalidad por depósitos cuaternarios, en contacto con la Formación Inca tenemos afloramientos más competentes de la Formación Farrat.

En la parte central del tramo en estudio tenemos arcillitas, limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz, arcillitas, limolitas y areniscas de coloración gris oscuras de la Formación Santa, también encontramos depósitos coluviales, la parte central del tramo en estudio es la más susceptible a movimientos en masa debido a su composición litológica.

Entre las progresivas km 06+100 y km 10+463 afloran areniscas y arcillitas de la Formación Chimú, donde se hallan afloramientos más competentes.

Para determinar el método de falla mediante análisis cinemático con el software Dips (v5.1) aparte de datos ya conocidos como son: Dirección y buzamiento tanto del talud como de las discontinuidades, también es necesario el ángulo de fricción de las rocas, en las tablas 18, 19 y 20 se muestran distintos parámetros que sirvieron de base a la hora de elegir los distintos valores a utilizar en el análisis cinemático de cada una de las estaciones geomecánicas.

Dichos parámetros han sido propuestos por Hoek & Bray (1981), Suarez Díaz (1998) y Giani (1992).

Para el presente estudio se trabajó ángulos de fricción que van están entre los rangos de: 25°-35°, se eligió el valor dependiendo del tipo de roca presente en cada estación geomecánica, generalmente las rocas presentes son: Areniscas, arcillitas y limolitas.

Tabla 17: Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas.

Tipo de roca	Peso unitario seco kN/m ³	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)
Rocas ígneas duras: granito basalto	25-30	35-55	35-45
Rocas metamórficas: cuarcita, neiss, pizarras.	25-28	20-40	30-40
Rocas sedimentarias duras: caliza, dolomita, arenisca.	23-28	10-30	35-45
Rocas sedimentarias blandas: arenisca, lutitas, limolitas.	17-23	1-20	25-35

Fuente: (Hoek y Bray, 1981)

Tabla 18: Ángulos de fricción típicos de rocas.

Fricción	Angulo de fricción(grados)	Roca
Baja	20 a 27	Esquistos con alto contenido de mica y Lutitas
Media	27 a 34	Areniscas, limolitas, Neiss, pizarras
Alta	34 a 40	Basalto, granito, caliza, conglomerado

Fuente: (Wyllie 1996)

Tabla 19: Ángulos de fricción obtenidos en rocas en Italia.

Roca	Grados
Basalto	40-42
Calcita	40-42
Arenisca compacta	34-36
Caliza dolomita	30-38
Esquisto filítico	26-36
Esquisto grafitoso	21-23
Yeso	34-35
Cuarcita micácea	38-40
Esquisto micáceo	28-30
Neiss	39-41
Lutita	28-39
Esquisto talco	20-30

Fuente: (Giani, 1992)

Obtención de datos geomecánicos:

Estación Geomecánica 01:

En el primer talud de corte se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-01 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Tras el análisis estructural de las discontinuidades, se identificó tres (03) familias de discontinuidades.

Esta estación tiene como coordenadas: E: 771937, N: 9174802, COTA: 2357

El talud está ubicado en el margen izquierdo de la carretera Cospán- Rambrán, consta areniscas de grano fino con intercalaciones de lutitas de la Formación Chimú. El talud tiene una altura de 8 m y en otros tramos alcanza los 12 m. El RMR para esta estación geomecánica es de 48.

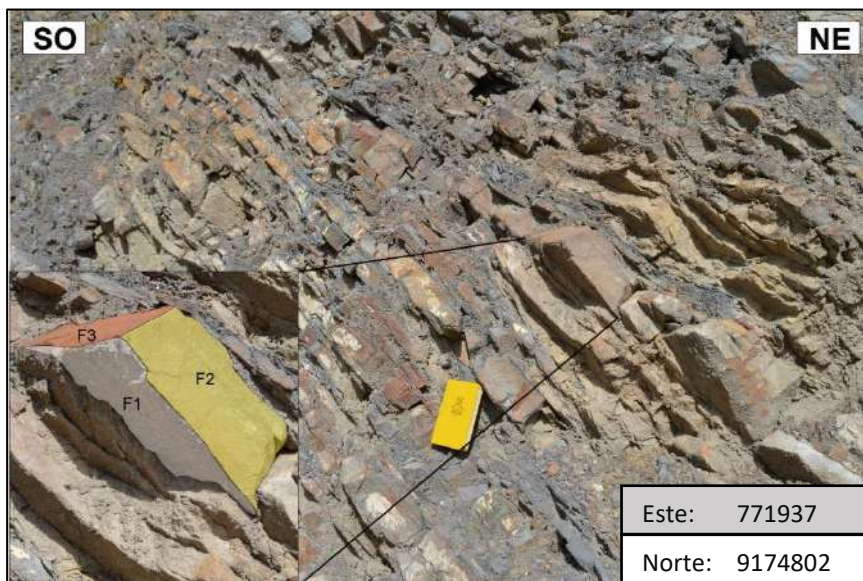


Foto 27: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la primera estación en el sector Unión Casipe (progresiva Km 08+900).

Tabla 20: Valoración del macizo rocoso, estación 01.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración	
Funciones continuas según.				
Resistencia a compresión simple (MPa)		100-50	7	
RQD (%)		25-50	6	
Espaciado medio (m)		0,06-0.20	8	
Persistencia (m)		<1	6	
Abertura (mm)		>5	0	
Rugosidad		Lig.Rugosa	3	
Relleno		Blando, > 5mm	0	
Alteraciones		Mod. Alterado	3	
Agua Freática		Seco	15	
RMR_b =		48		
Clasificación RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3	25-35

En la tabla 20 se resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR y en la Figuras 21 - 22, se muestra la concentración de polos, las familias de discontinuidades identificadas y su respectivo análisis cinemático.

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{básico} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 327 N






Buzamiento estimado del talud en estudio: 60

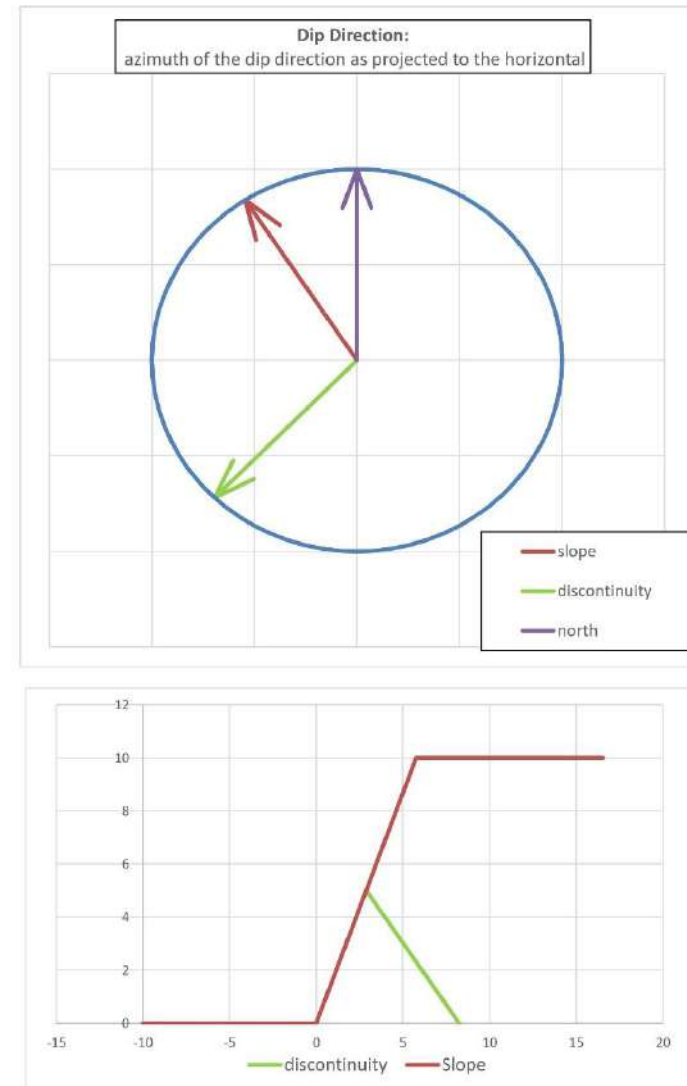
Con la ayuda de una hoja de cálculo formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 224

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 43

Tabla 21: SMR para la familia 1, estación Geomecánica 01

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
Date	10 de junio de 2020		
Author	Eduard Gálvez Mejía		
Company	Universidad Nacional de Cajamarca		
FAMILIA 01			
Basic RMR	48		
Slope	α_s	327°	
	β_s	60°	
Discontinuity	α_j	224°	
	β_j	43°	
Auxiliar angles (degrees)	A	77°	
	B	43°	
	C	103°	
Failure Type	Toppling		
Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993)	Tomás et al (2007)	
	Discrete values	Continuous values	
	F ₁	0.15	0.16
	F ₂	1.00	1.00
	F ₃	0.00	-0.62
F ₁ x F ₂ x F ₃	0	0	
Excavation method	Blasting or mechanical		
F ₄	0		
	Discrete	Continuous	
SMR	48	48	
Class	III	III	
	Discrete	Continuous	
Description	Normal	Normal	
Stability	Partially stable	Partially stable	
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges	
Support	Systematic	Systematic	



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Este está basado fundamentalmente en las orientaciones de las discontinuidades principales y en el ángulo de rozamiento fricción (Hoek y Bray, 1981).

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 35 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 19 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

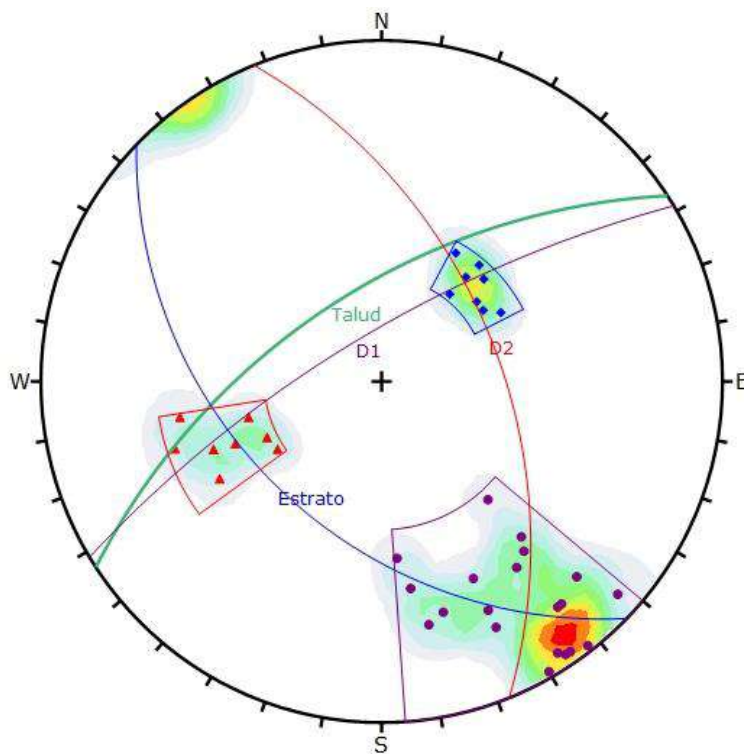


Figura 19: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 01 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña con 5.99 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo planar con 2.78 % y la rotura tipo volteo directo con 1.43 % de probabilidad (Tabla 22).

Tabla 22: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	2.78 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	5.99 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	1.43 %

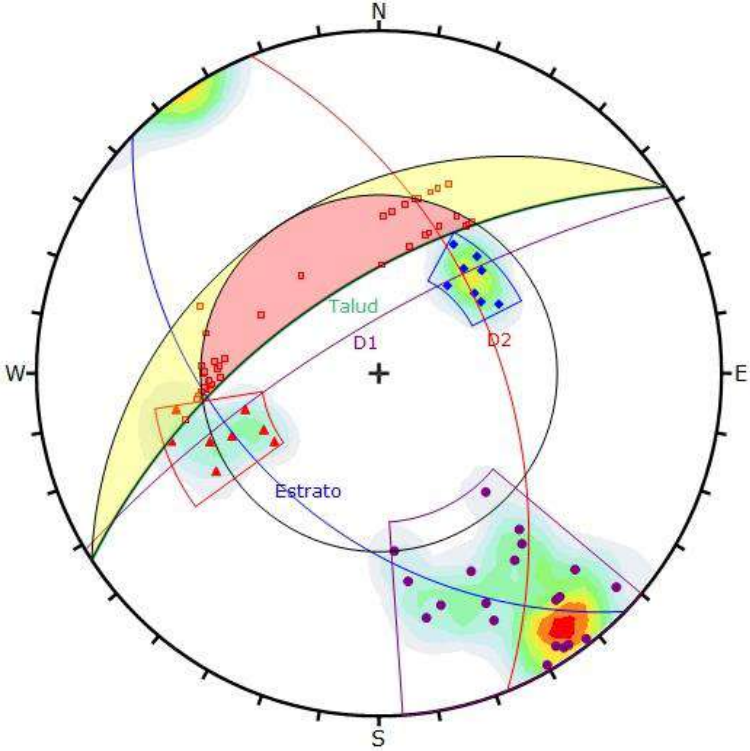


Figura 20: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

Estación Geomecánica 02:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-02 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 771804, N: 9174740, COTA: 2304

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán - Rambrán, litológicamente está compuesto por bancos gruesos de Areniscas de coloración pardo – amarillento, los estratos están casi verticales, el talud presenta un ángulo de 68° y su altura supera los 20 metros, se determinó 3 familias de discontinuidades para este talud, el RMR para esta estación geomecánica fue de 67 y corresponde a una roca tipo II de buena calidad. En la tabla # 23, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.



Foto 28: Se observa un afloramiento de areniscas pertenecientes a la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 02 en el sector Unión Casipe (progresiva Km 08+650).

Tabla 23: Valoración del macizo rocoso, estación 02, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		100-50	7
RQD (%)		75-90	17
Espaciado medio (m)		0,2-0.6	10
Persistencia (m)		10-20	1
Abertura (mm)		< 0,1	5
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Duro, < 5mm	4
Alteraciones		Mod. Alterado	5
Agua Freática		Seco	15
RMR_b =		67	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	35-45

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 345 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 68

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 190

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 78

Tabla 24: SMR para la familia 01, estación Geomecánica 02

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA
Date	11 de abril de 2020
Author	Eduard Gálvez Mejía
Company	Universidad Nacional de Cajamarca

FAMILIA 01			
Basic RMR	67		
Slope	α_s	345°	
	β_s	68°	
Discontinuity	α_j	190°	
	β_j	78°	

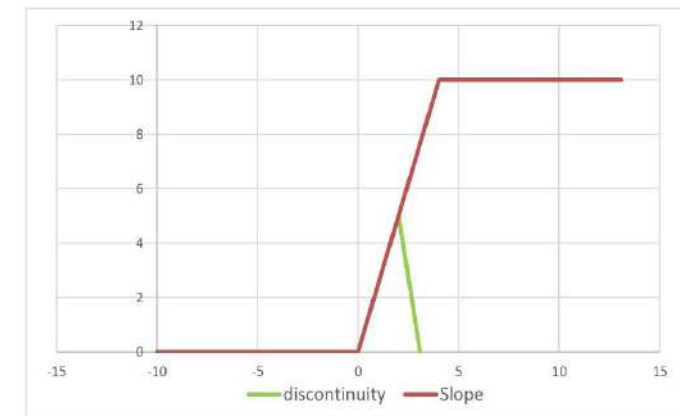
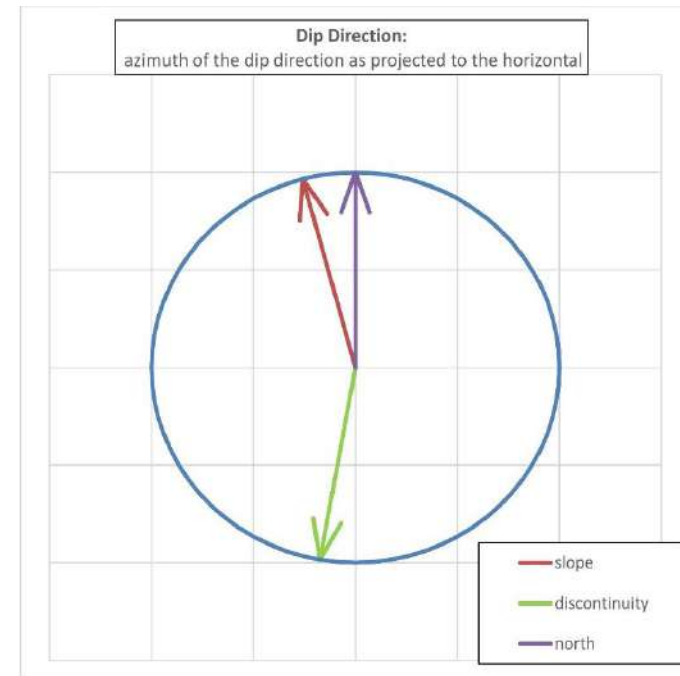
Auxiliar angles (degrees)	A	25°
	B	78°
	C	146°
Failure Type	Toppling	

Authors → Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F ₁	0.40	0.41
F ₂	1.00	1.00
F ₃	-25.00	-25.54
F ₁ x F ₂ x F ₃	-10	-10

Excavation method	Blasting or mechanical	
F ₄	0	

	Discrete	Continuous
SMR	57	57
Class	III	III

	Discrete	Continuous
Description	Normal	Normal
Stability	Partially stable	Partially stable
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
Support	Systematic	Systematic



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 21 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

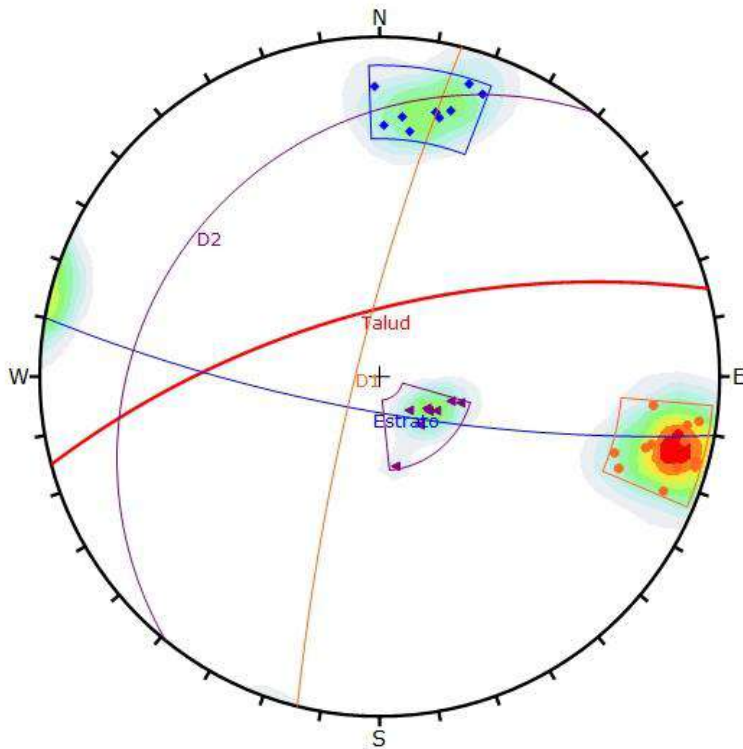


Figura 21: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 02 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo con un 26.67 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo volteo flexural con 13.33 % de probabilidad (Tabla 25).

Tabla 25: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	0.00 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	0.00 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	13.33 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	26.67 %

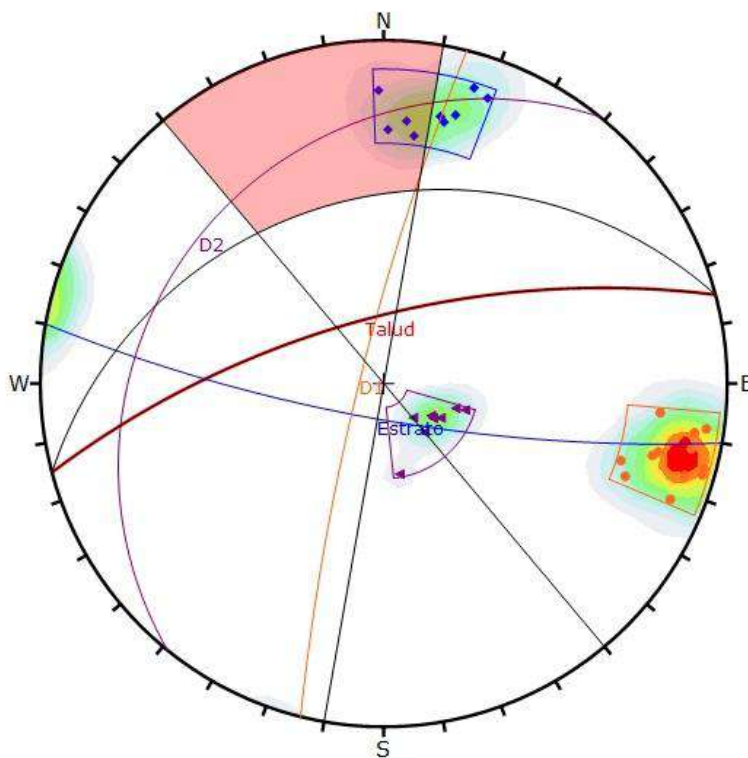


Figura 22: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.

Estación Geomecánica 03:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-03 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 771 857, N: 9 174 562, COTA: 2 331

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector las Lúcumas, litológicamente encontramos estratos de areniscas de coloración marrón oscura de la Formación Chimú, los estratos en este punto se encuentran subhorizontales, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 60° y su altura supera los 30 m, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 62 y corresponde a una roca de tipo II de buena calidad. En la tabla # 26, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.



Foto 29: Se observa un afloramiento de areniscas pertenecientes de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 03, en el sector Unión Casipe (progresiva Km 08+370).

Tabla 26: Valoración del macizo rocoso, estación 03, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		100-50	7
RQD (%)		50-75	13
Espaciado medio (m)		0,2-0.6	10
Persistencia (m)		< 1	6
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Blando < 5mm	2
Alteraciones		Lig. Alterado	5
Agua Freática		Seco	15
RMR_b =		62	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	35-45

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{básico} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 232 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 84

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 201

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 71

Tabla 27: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 03

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	11 de abril de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	

FAMILIA 02		
Basic RMR	62	• ■ •

Slope	α_s	232°	• ■ •
	β_s	84°	• ■ •
Discontinuity	α_j	201°	• ■ •
	β_j	71°	• ■ •

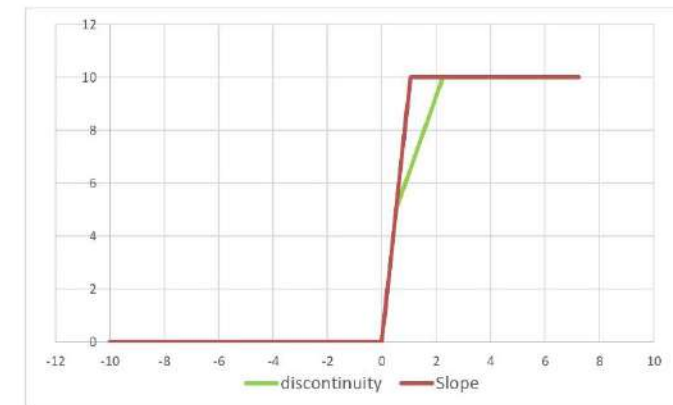
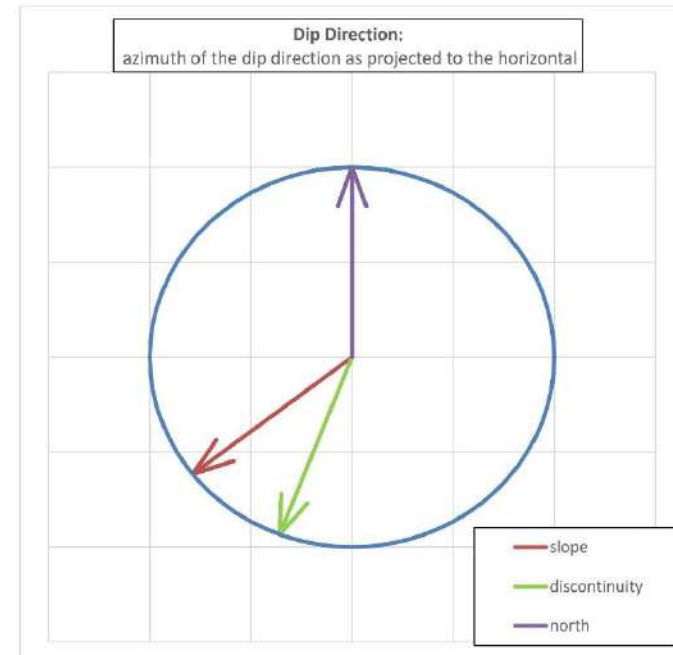
Auxiliar angles (degrees)	A	31°
	B	71°
	C	-13°
Failure Type	Wedge/Planar	

Authors → Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F_1	0.15	0.31
F_2	1.00	0.98
F_3	-60.00	-58.53
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-9	-18

Excavation method	Blasting or mechanical	
F_4	0	

	Discrete	Continuous
SMR	53	44
Class	III	III

	Discrete	Continuous
Description	Normal	Normal
Stability	Partially stable	Partially stable
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
Support	Systematic	Systematic



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 27 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 23 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

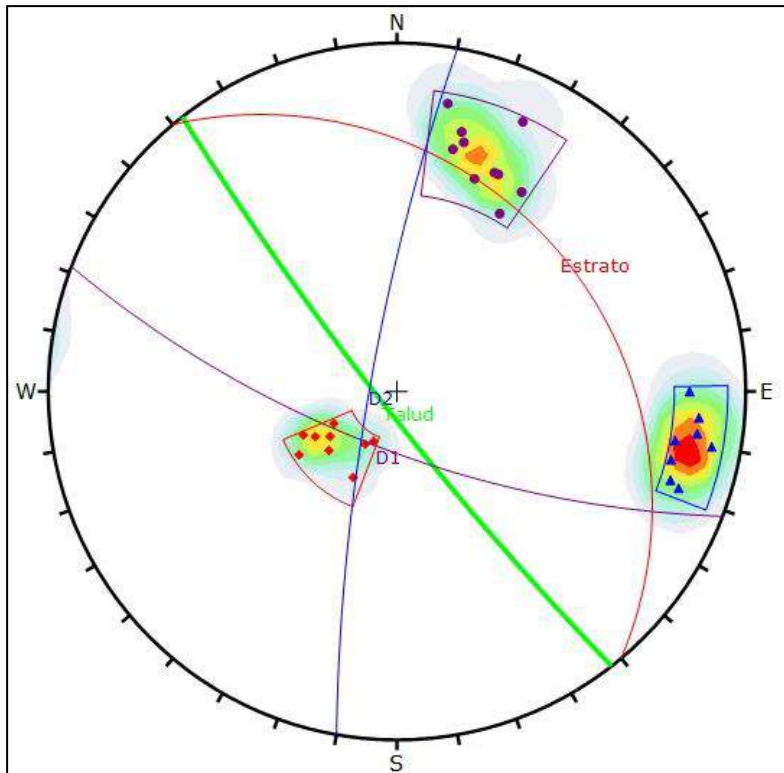


Figura 23: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 03 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña con 28.93 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura planar con 7.41 % y la rotura tipo volteo directo con 2.28 % de probabilidad (Tabla 28).

Tabla 28: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	7.41 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	28.93 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.28 %

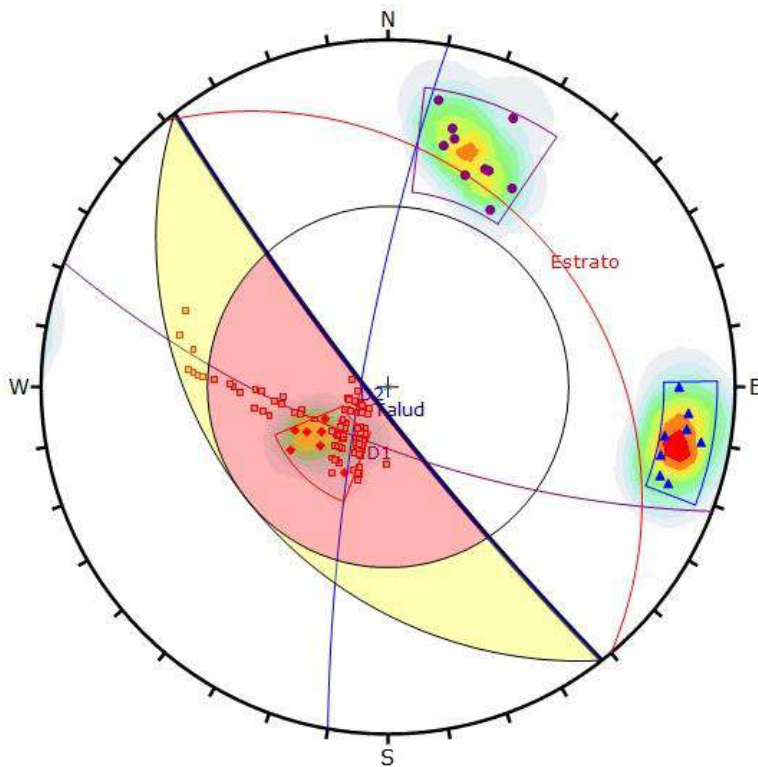


Figura 24: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

Estación Geomecánica 04:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-04 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 772100, N: 9 172980, COTA: 2645

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Llimbe, litológicamente encontramos estratos de areniscas blanquecinas de la Formación Chimú, los estratos en este punto se encuentran moderadamente fracturados, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 30° y su altura supera los 10 metros, aquí se determinó 5 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 48 y corresponde a una roca de tipo III de mediana calidad. En la tabla # 29, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.

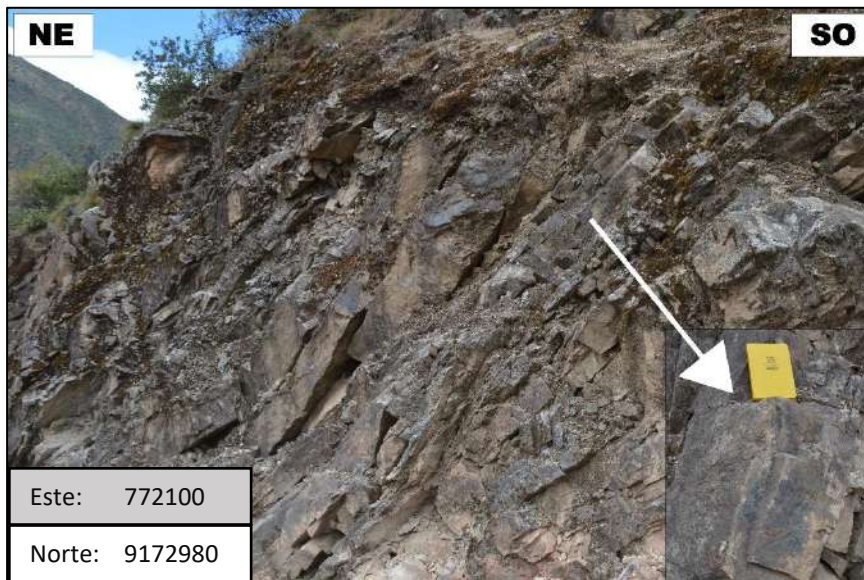


Foto 30: Se observa un afloramiento de areniscas pertenecientes a la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 04, en el sector Llimbe (progresiva Km 03+740).

Tabla 29: Valoración del macizo rocoso, estación 04, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		100-50	7
RQD (%)		25-50	6
Espaciado medio (m)		0,2-0.6	10
Persistencia (m)		3-10	2
Abertura (mm)		>5	0
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Dura > 5mm	2
Alteraciones		Mod. Alterado	3
Agua Freática		Seco	15
RMR_b =		48	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	25-35

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 354 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 48

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 196

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 67

Tabla 30: SMR para la familia 04, estación Geomecánica 04

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	10 de junio de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	

FAMILIA 04	
Basic RMR	48

Slope	α_s	354°
	β_s	48°
Discontinuity	α_j	196°
	β_j	67°

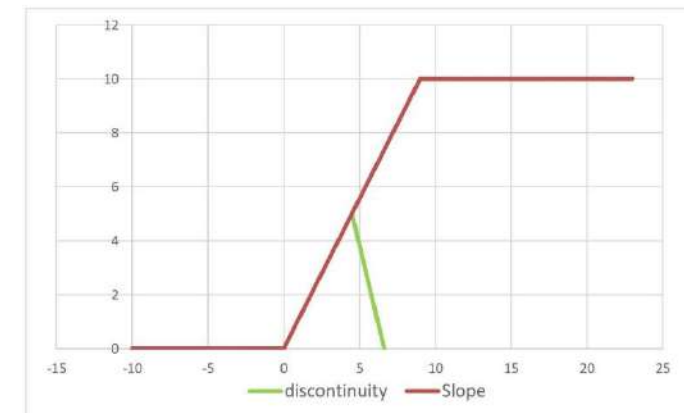
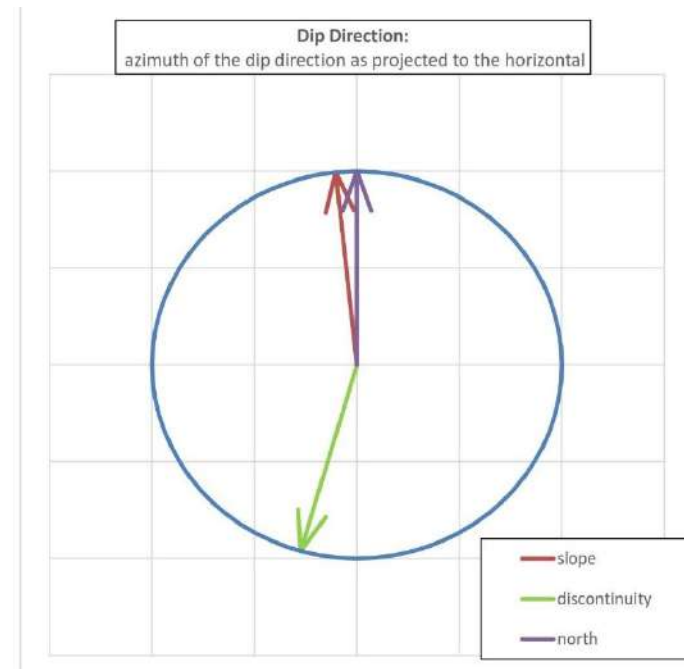
Auxiliar angles (degrees)	A	22°
	B	67°
	C	115°
Failure Type	Toppling	

Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F_1	0.40	0.48
F_2	1.00	1.00
F_3	-6.00	-1.76
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-2	-1

Excavation method	Blasting or mechanical	
F_4	0	

	Discrete	Continuous
SMR	46	47
Class	III	III

	Discrete	Continuous
Description	Normal	Normal
Stability	Partially stable	Partially stable
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
Support	Systematic	Systematic



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 34 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 5 familias de discontinuidades. En la figura 25 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 5 orientaciones preferenciales.

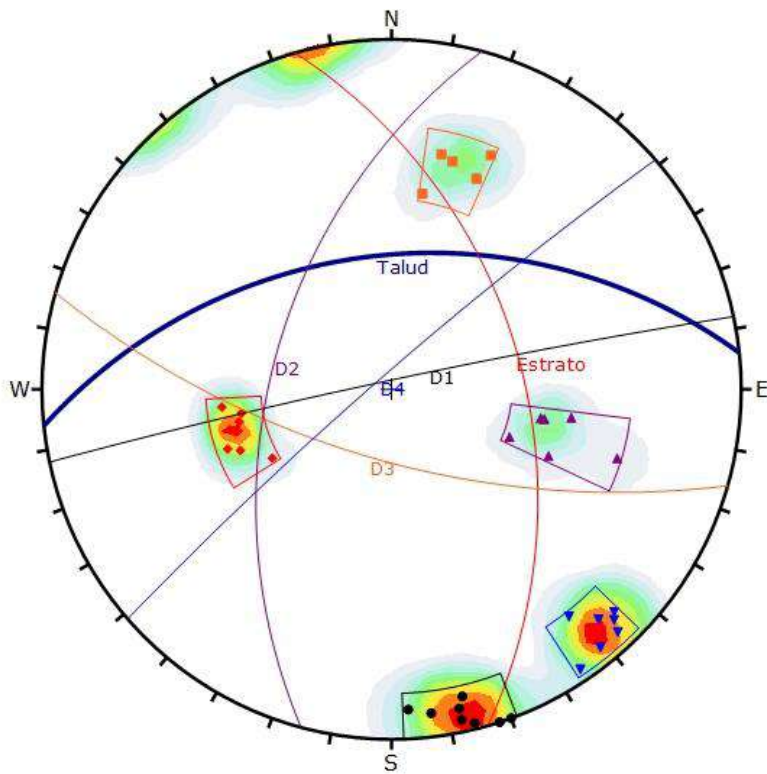


Figura 25: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 04 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo con 14.26 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo cuña con 0.53 % de probabilidad (Tabla 31).

Tabla 31: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	0.00 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	0.53 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	14.26 %

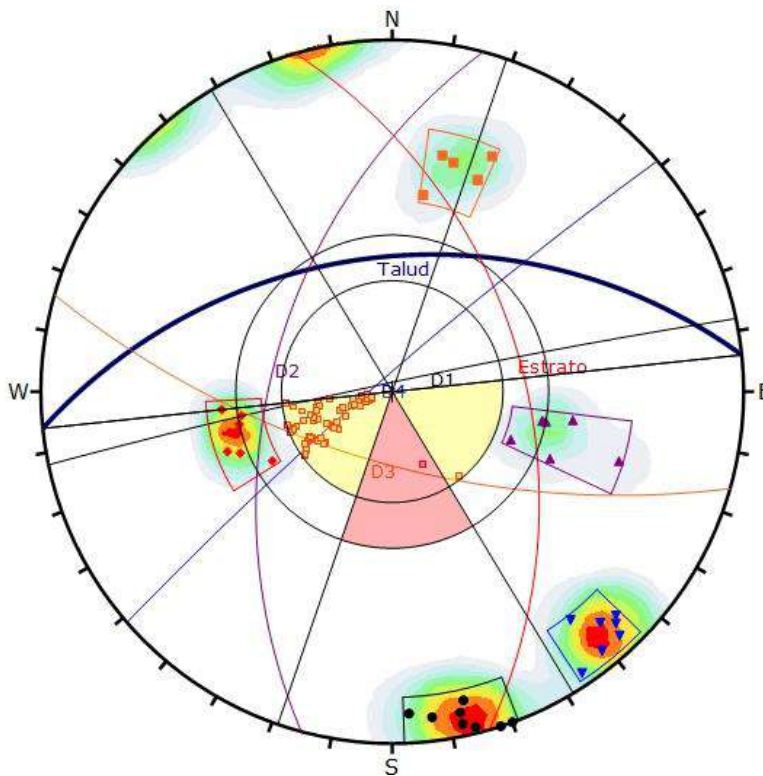


Figura 26: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.

Estación Geomecánica 05:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-05 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 771202, N: 9 172750, COTA: 2707

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Llimbe, litológicamente encontramos alternancia de areniscas rojizas de grano fino con limolitas perteneciente a la Formación Santa, los estratos en este punto se encuentran muy fracturados, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 50° y su altura supera los 10 metros, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 37 y corresponde a una roca de tipo IV de mala calidad. En la tabla # 32, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.

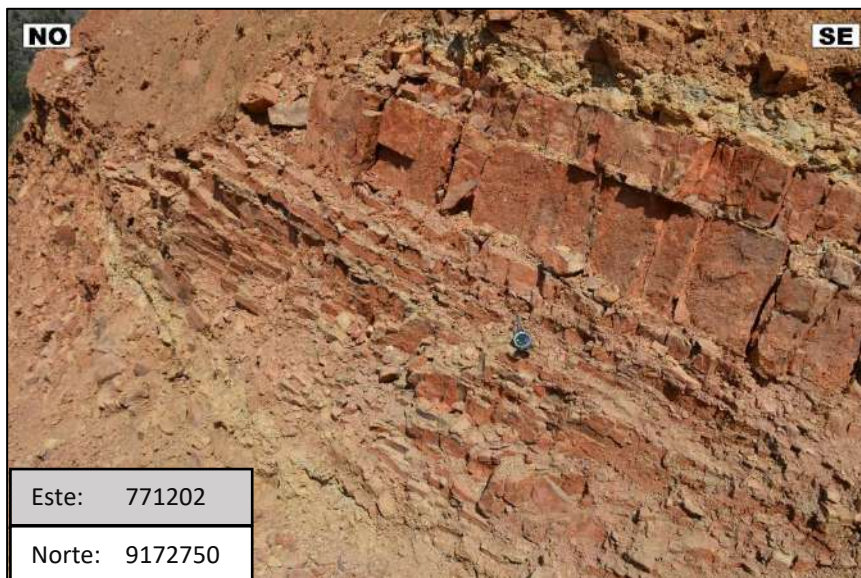


Foto 31: Se observa un afloramiento de la Formación Santa, correspondiente a la estación geomecánica 05, en el sector Llimbe (progresiva Km 02+500).

Tabla 32: Valoración del macizo rocoso, estación 05, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		50-25	4
RQD (%)		25-50	6
Espaciado medio (m)		0,06-0.2	8
Persistencia (m)		3-10	2
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Muy Alterada	1
Agua Freática		Ligeramente Húmeda	10
RMR_b =		37	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Mala	IV	10 horas con 2.5 m de vano	15-25

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 333 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 56

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 263

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 36

Tabla 33: SMR para la familia 01, estación Geomecánica 05

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	11 de abril de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	

FAMILIA 01	
Basic RMR	37

Slope	α_s	333°
	β_s	56°
Discontinuity	α_j	263°
	β_j	36°

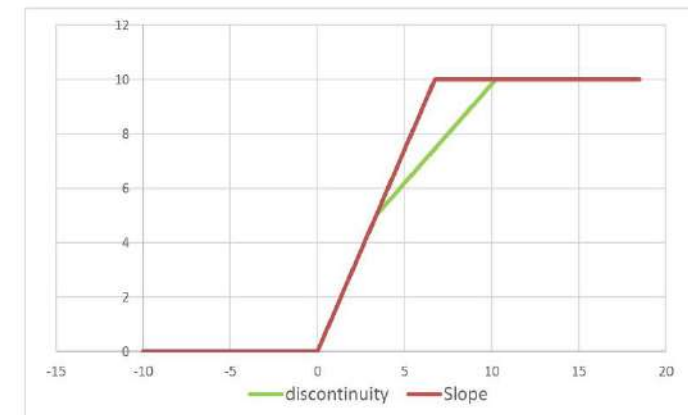
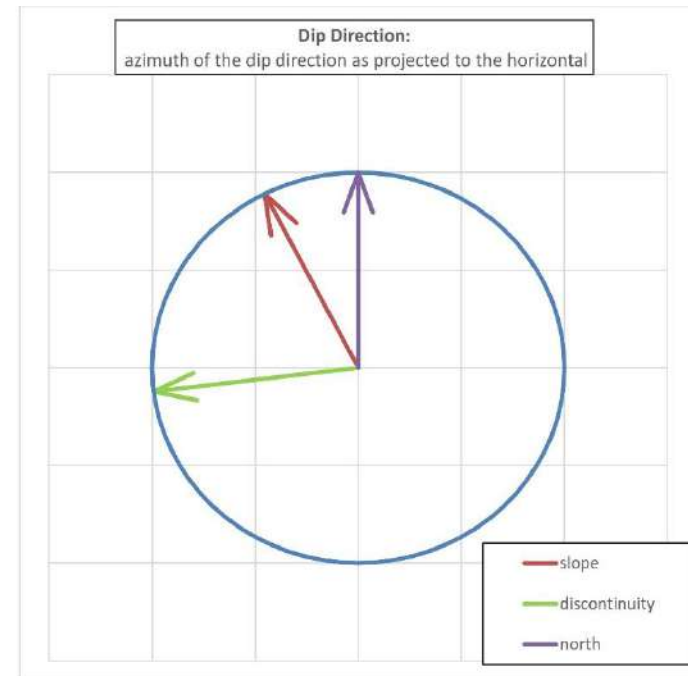
Auxiliar angles (degrees)	A	70°
	B	36°
	C	-20°
Failure Type	Wedge/Planar	

Authors → Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F ₁	0.15	0.16
F ₂	0.85	0.81
F ₃	-60.00	-59.05
F ₁ x F ₂ x F ₃	-8	-8

Excavation method	Blasting or mechanical	
F ₄	0	

	Discrete	Continuous
SMR	29	29
Class	IV	IV

	Discrete	Continuous
Description	Bad	Bad
Stability	Unstable	Unstable
Failures	Planar or big wedges	Planar or big wedges
Suport	Important/corrective	Important/corrective



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 27 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

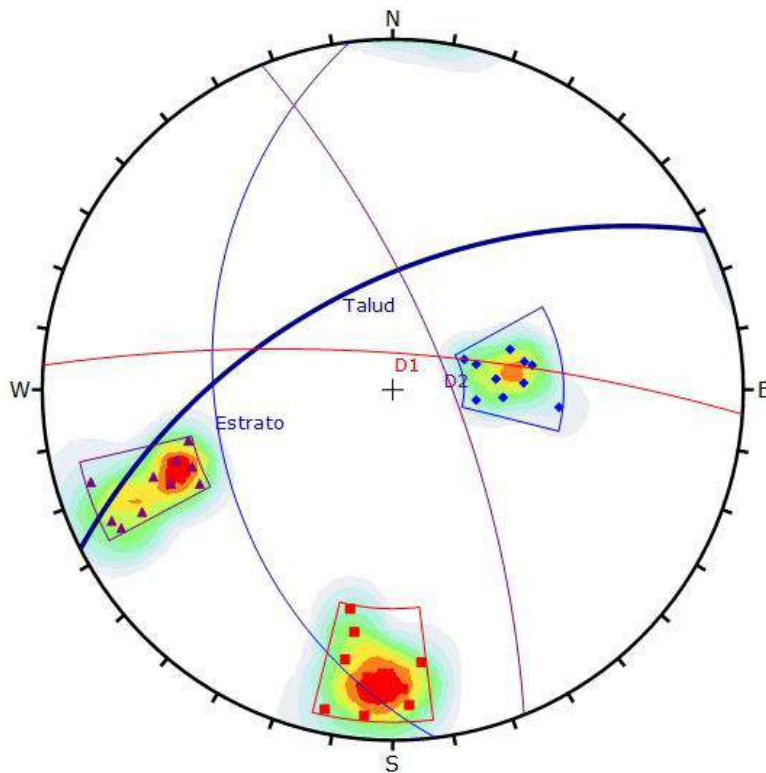


Figura 27: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 05 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo con 11.95 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo cuña con 8.67 % de probabilidad (Tabla 34).

Tabla 34: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	0.00 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	8.67 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	11.95 %

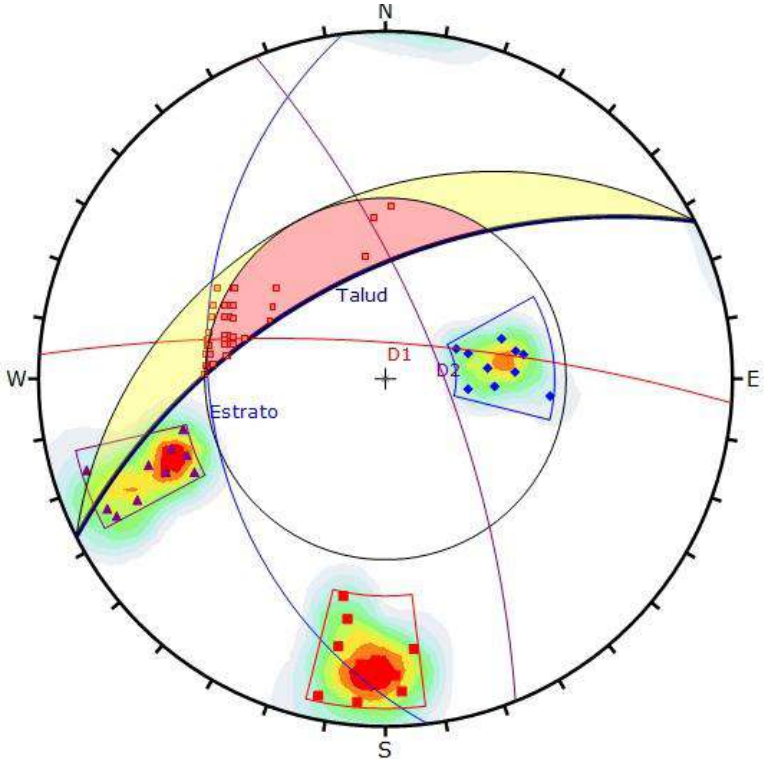


Figura 28: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.

Estación Geomecánica 06:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-06 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 770328, N: 9 172770, COTA: 2738

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Rambrán, litológicamente encontramos alternancia de areniscas rojizas con limolitas y arcillitas perteneciente a la Formación Carhuaz, los estratos en este punto se encuentran moderadamente fracturados y casi verticales, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 70° y su altura supera los 12 m, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 39 y corresponde a una roca de tipo IV de mala calidad. En la tabla # 35, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.

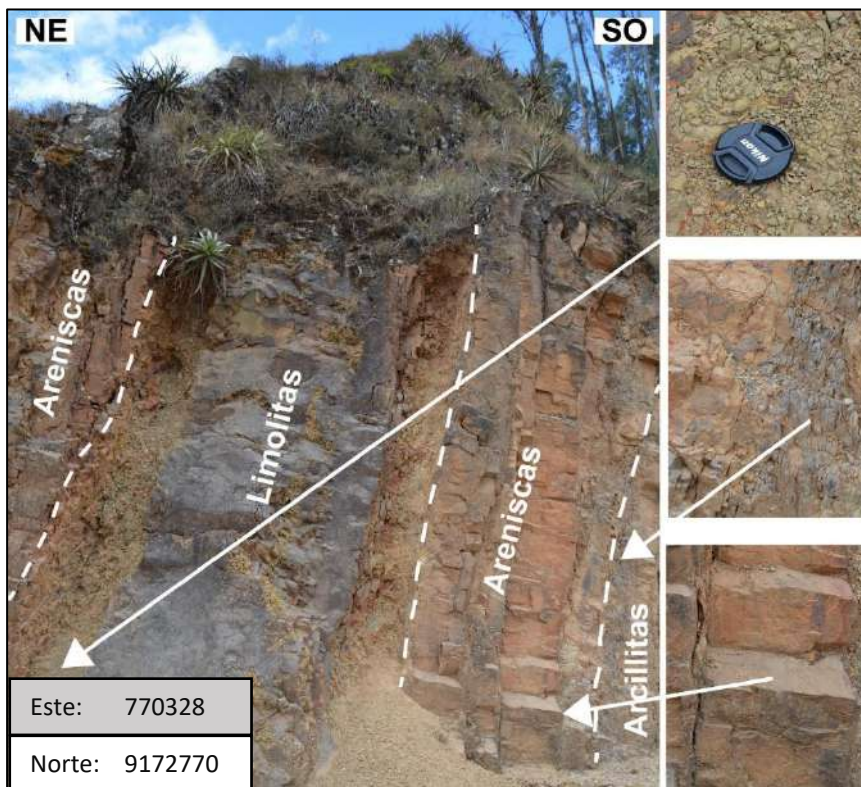


Foto 32: Se observa un afloramiento de la Formación Carhuaz, correspondiente a la estación geomecánica 06, en el sector Rambrán (progresiva Km 01+420).

Tabla 35: Valoración del macizo rocoso, estación 06, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		50-25	4
RQD (%)		25-50	6
Espaciado medio (m)		0,06-0.2	8
Persistencia (m)		3-10	2
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Mod. Alterada	3
Agua Freática		Ligeramente Húmeda	10
RMR_b =		39	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Mala	IV	10 horas con 2.5 m de vano	15-25

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 272 N






Buzamiento estimado del talud en estudio: 76

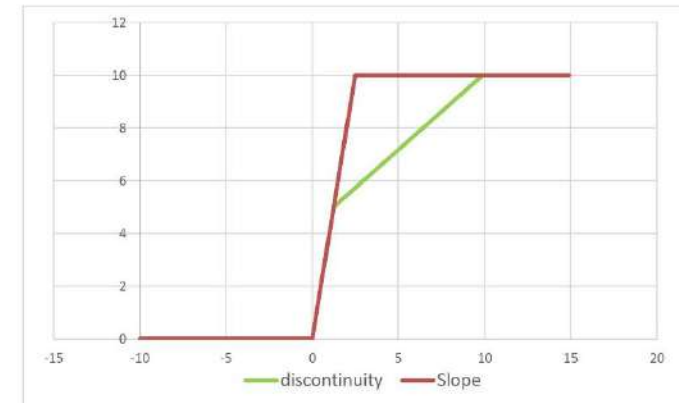
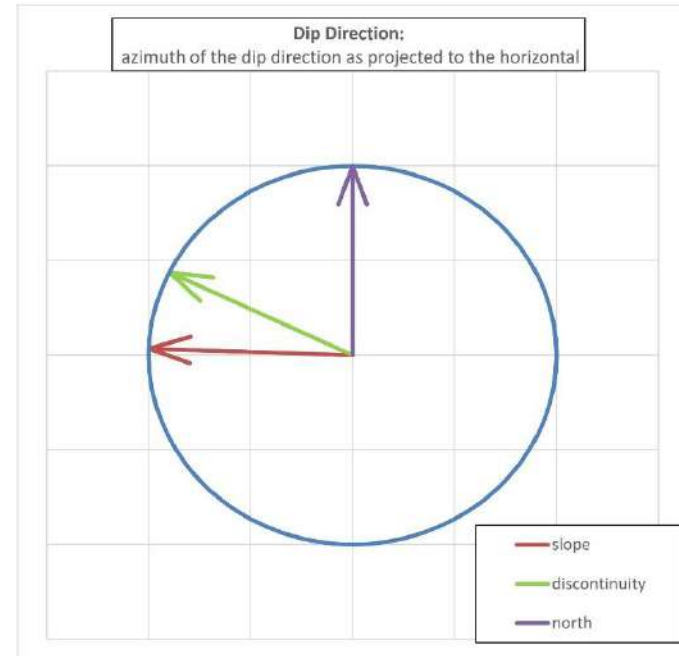
Con la ayuda de una hoja de cálculo formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 296

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 30

Tabla 36: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 06

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
Date	10 de junio de 2020		
Author	Eduard Gálvez Mejía		
Company	Universidad Nacional de Cajamarca		
FAMILIA 03			
Basic RMR	39		
Slope	α_s	272°	
	β_s	76°	
Discontinuity	α_j	296°	
	β_j	30°	
Auxiliar angles (degrees)	A	24°	
	B	30°	
	C	-46°	
Failure Type	Wedge/Planar		
Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values	
F_1	0.40	0.43	
F_2	0.40	0.59	
F_3	-60.00	-59.58	
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-10	-15	
Excavation method	Blasting or mechanical		
F_4	0		
	Discrete	Continuous	
SMR	29	24	
Class	IV	IV	
	Discrete	Continuous	
Description	Bad	Bad	
Stability	Unstable	Unstable	
Failures	Planar or big wedges	Planar or big wedges	
Support	Important/corrective	Important/corrective	



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 29 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

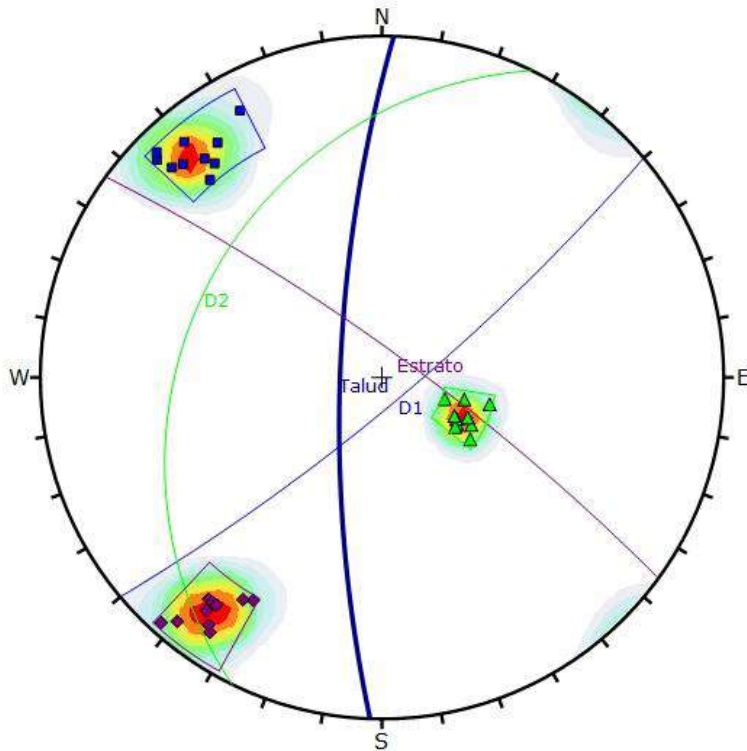


Figura 29: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 06 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo con 28.00 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo cuña con 19.31 % de probabilidad y la rotura tipo planar con 6.67 % de probabilidad (Tabla 37).

Tabla 37: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	6.67 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	19.31 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	28.00 %

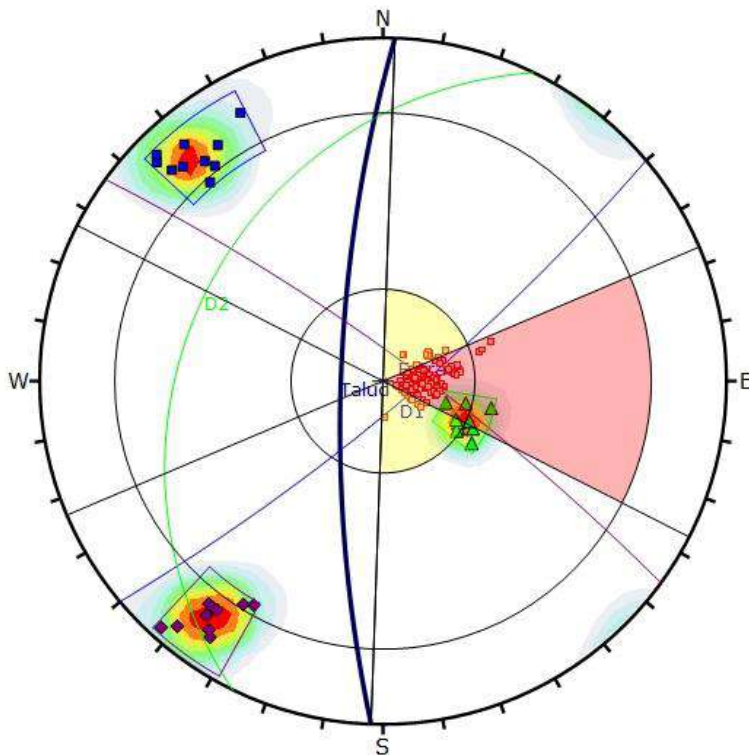


Figura 30: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.

Estación Geomecánica 07:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-07 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 770140, N: 9 171971, COTA: 2764

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Rambrán, litológicamente encontramos areniscas calcáreas la Formación Inca, los estratos en este punto se encuentran moderadamente fracturados y casi verticales, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 45° y su altura supera los 5 metros, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 62 y corresponde a una roca de tipo II de buena calidad. En la tabla # 38, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.



Foto 33: Se observa un afloramiento de la Formación Inca, correspondiente a la estación geomecánica 07, en el sector Rambrán (progresiva Km 00+550).

Tabla 38: Valoración del macizo rocoso, estación 07, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		100-50	7
RQD (%)		50-75	13
Espaciado medio (m)		0.2-0,6	10
Persistencia (m)		1-3	4
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Dura < 5mm	4
Alteraciones		Lig. Alterada	5
Agua Freática		Seca	15
RMR_b =		62	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	35-45

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{básico} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 288 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 36

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 297

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 20

Tabla 39: SMR para la familia 03. estación Geomecánica 07

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	11 de abril de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	

FAMILIA 03	
Basic RMR	62

Slope	α_s	288°
	β_s	36°
Discontinuity	α_j	297°
	β_j	20°

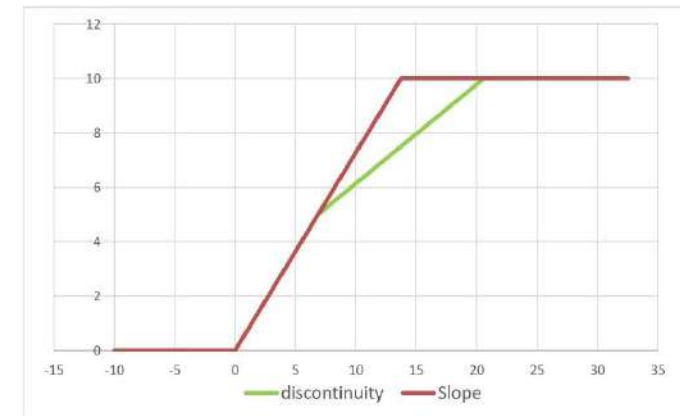
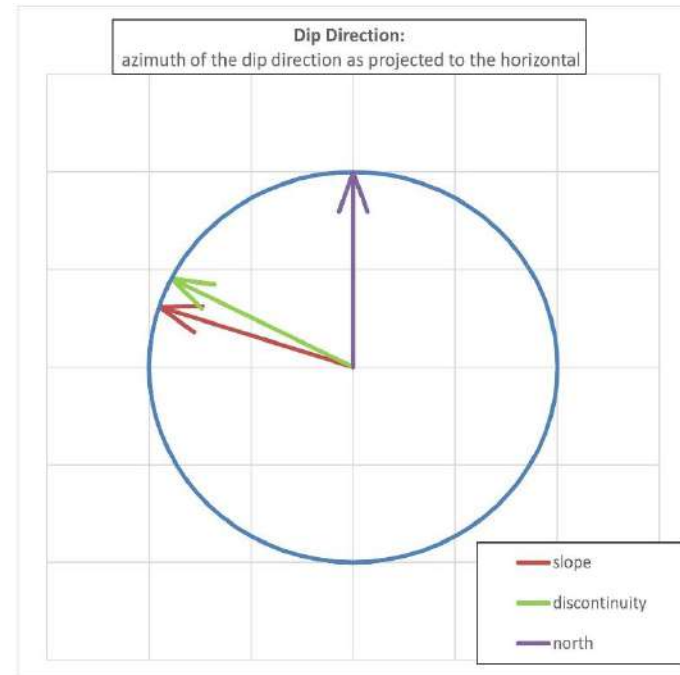
Auxiliar angles (degrees)	A	9°
	B	20°
	C	-16°
Failure Type	Wedge/Planar	

Authors → Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F_1	0.85	0.87
F_2	0.15	0.27
F_3	-60.00	-58.81
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-8	-14

Excavation method	Blasting or mechanical	
F_4	0	

	Discrete	Continuous
SMR	54	48
Class	III	III

	Discrete	Continuous
Description	Normal	Normal
Stability	Partially stable	Partially stable
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
Support	Systematic	Systematic



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 31 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

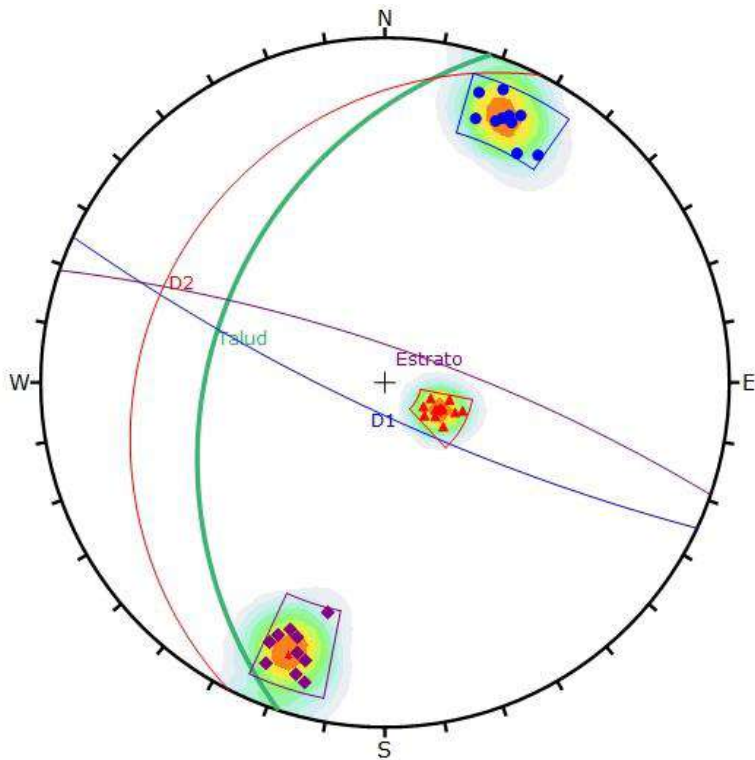


Figura 31: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 07 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña con 8.00 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo planar con 6.67 % y rotura tipo volteo directo con 2.76 % de probabilidad (Tabla 40).

Tabla 40: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	6.67 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	8.00 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.76 %

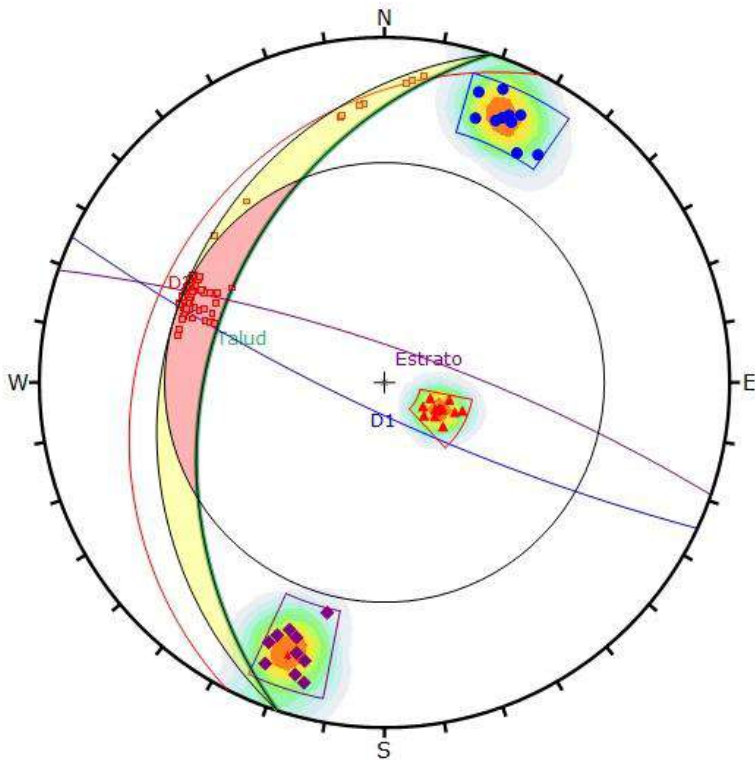


Figura 32: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

Estación Geomecánica 08:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-08 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 770139, N: 9 172029, COTA: 2756

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Rambrán, litológicamente encontramos areniscas blancas de grano medio a grueso de la Formación Farrat, los estratos en este punto se encuentran ligeramente fracturados, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 60° y su altura supera los 30 metros, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 65 y corresponde a una roca de tipo II de buena calidad. En la tabla # 41, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.



Foto 34: Se observa un afloramiento de la Formación Farrat, correspondiente a la estación geomecánica 08, en el sector Rambrán (progresiva Km 00+600).

Tabla 41: Valoración del macizo rocoso, estación 08, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		250-100	12
RQD (%)		50-75	13
Espaciado medio (m)		0,2-0.6	10
Persistencia (m)		<1	6
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Mod. Alterada	3
Agua Freática		Seca	15
RMR_b =		65	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	35-45

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 260 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 68

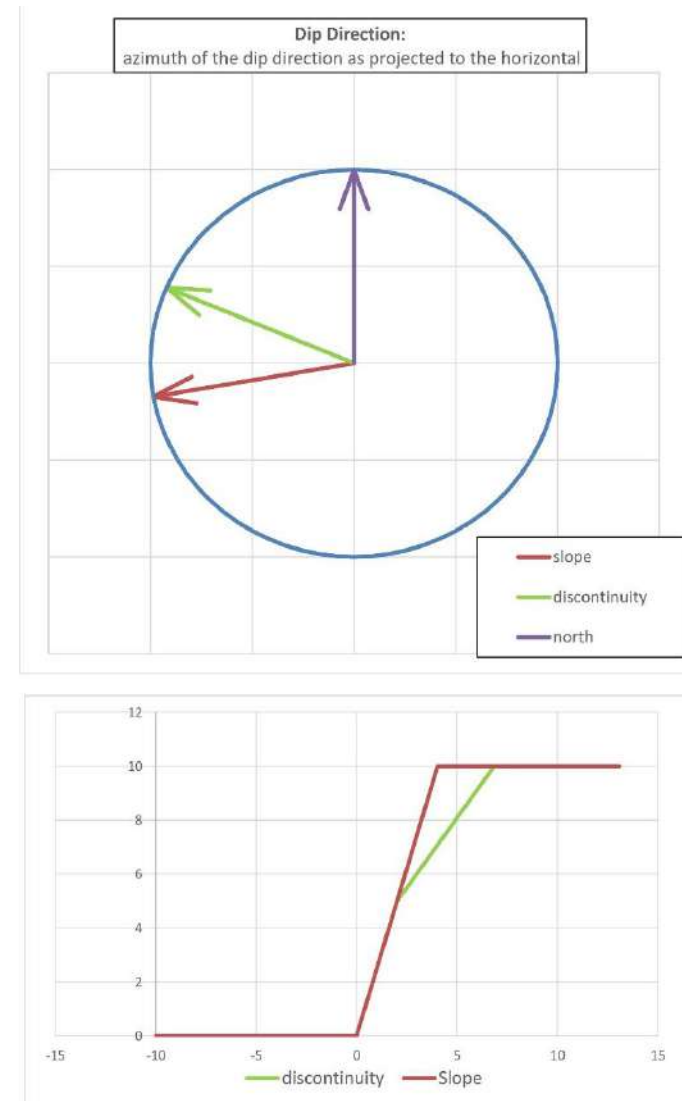
Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 293

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 46

Tabla 42: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 08

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
Date	11 de abril de 2020		
Author	Eduard Gálvez Mejía		
Company	Universidad Nacional de Cajamarca		
FAMILIA 02			
Basic RMR	65		
Slope	α_s	260°	
	β_s	68°	
Discontinuity	α_j	293°	
	β_j	46°	
Auxiliar angles (degrees)	A	33°	
	B	46°	
	C	-22°	
Failure Type	Wedge/Planar		
Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values	
F_1	0.15	0.29	
F_2	1.00	0.92	
F_3	-60.00	-59.13	
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-9	-16	
Excavation method	Blasting or mechanical		
F_4	0		
	Discrete	Continuous	
SMR	56	49	
Class	III	III	
	Discrete	Continuous	
Description	Normal	Normal	
Stability	Partially stable	Partially stable	
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges	
Support	Systematic	Systematic	



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 33 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

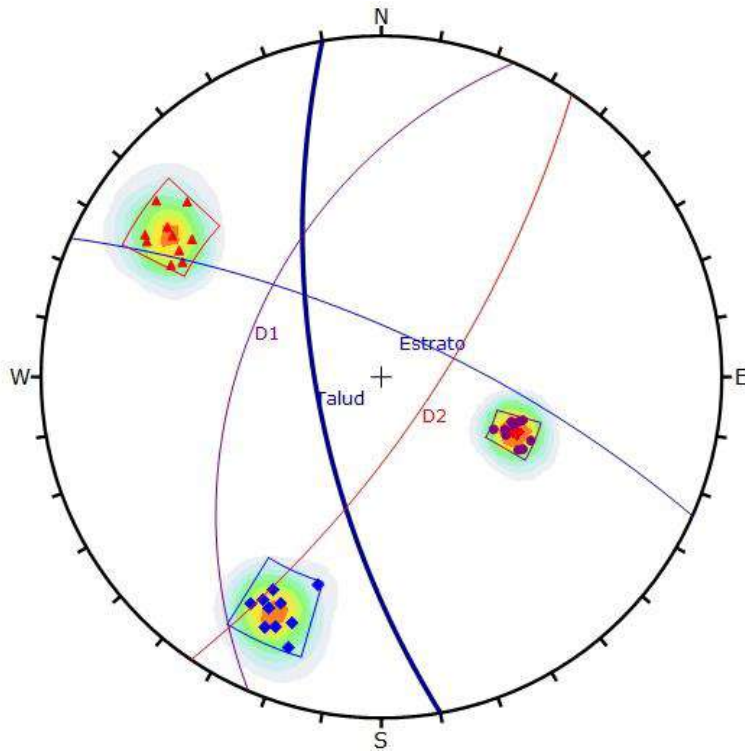


Figura 33: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 08 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña 28.51 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo volteo directo con 28.51 % de probabilidad (Tabla 43).

Tabla 43: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	0.00 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	28.51 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	28.51 %

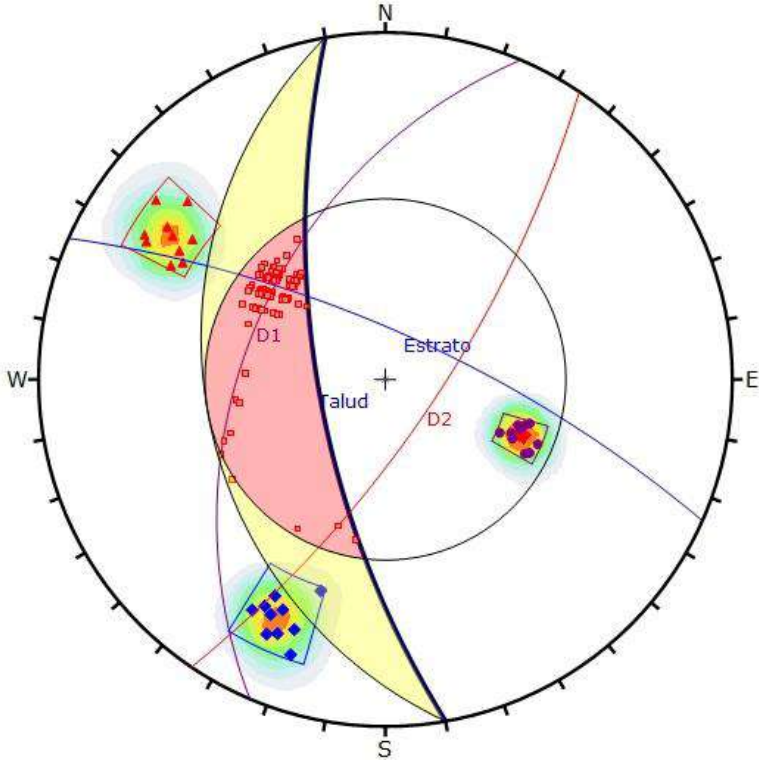


Figura 34: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

Estación Geomecánica 09:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-09 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 770875, N: 9 172792, COTA: 2742

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Llimbe, litológicamente hay intercalación de areniscas con arcillitas y limolitas de la Formación Carhuaz, los estratos en este punto se encuentran muy fracturados y sub horizontales, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 45° y su altura supera los 25 m, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 37 y corresponde a una roca de tipo IV de mala calidad. En la tabla # 44, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.



Foto 35: Se observa un afloramiento de la Formación Carhuaz, correspondiente a la estación geomecánica 09, en el sector Rambrán (progresiva Km 02+120).

Tabla 44: Valoración del macizo rocoso, estación 09, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		50-25	4
RQD (%)		25-50	6
Espaciado medio (m)		0.06-0.2	8
Persistencia (m)		3-10	2
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Muy Alterada	1
Agua Freática		Lig. Húmeda	10
RMR_b =		37	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Mala	IV	10 horas con 2.5 m de vano	15-25

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 52 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 78

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 31

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 51

Tabla 45: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 09

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	11 de junio de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	
FAMILIA 02		
Basic RMR	37	

Slope	α_s	52°	
	β_s	78°	
Discontinuity	α_j	31°	
	β_j	51°	

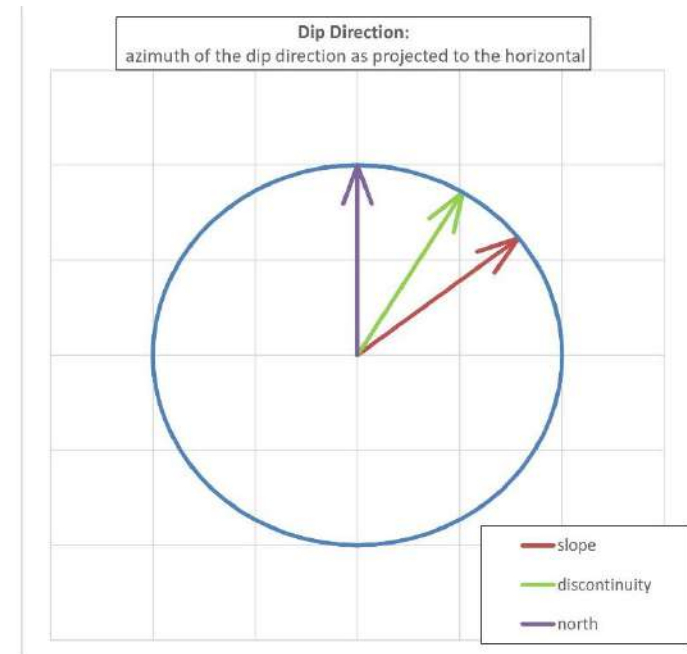
Auxiliar angles (degrees)	A	21°
	B	51°
	C	-27°
Failure Type	Wedge/Planar	

Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F ₁	0.40	0.51
F ₂	1.00	0.95
F ₃	-60.00	-59.29
F ₁ x F ₂ x F ₃	-24	-29

Excavation method	Blasting or mechanical	
F ₄	0	

	Discrete	Continuous
SMR	13	8
Class	V	V

	Discrete	Continuous
Description	Very bad	Very bad
Stability	Completely unstable	Completely unstable
Failures	Big planar or soil-like	Big planar or soil-like
Support	Reexcavation	Reexcavation



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 35 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

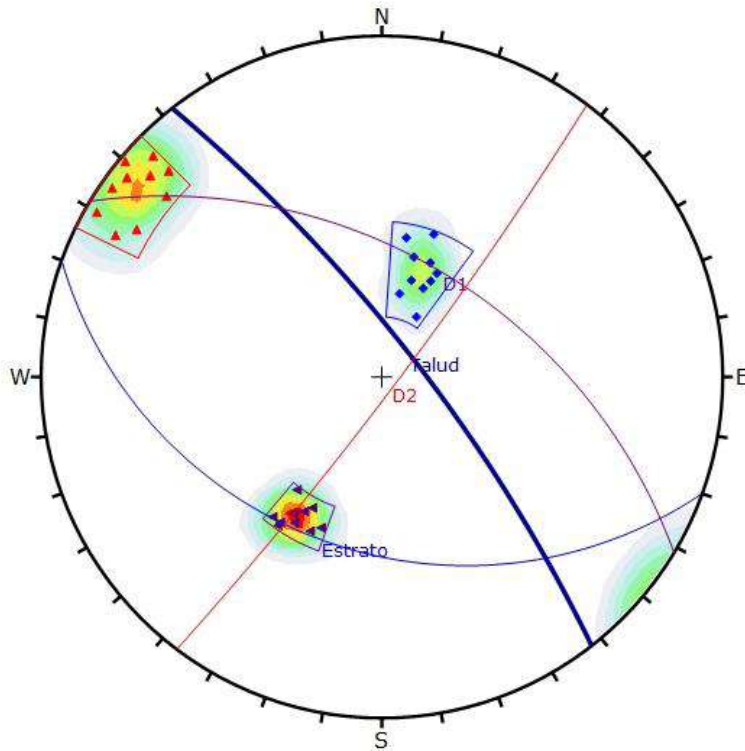


Figura 35: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 09 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña con 32.41 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo planar con 26.67 % y rotura volteo directo con 22.99 % de probabilidad (Tabla 46).

Tabla 46: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	26.67 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	32.41 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	22.99 %

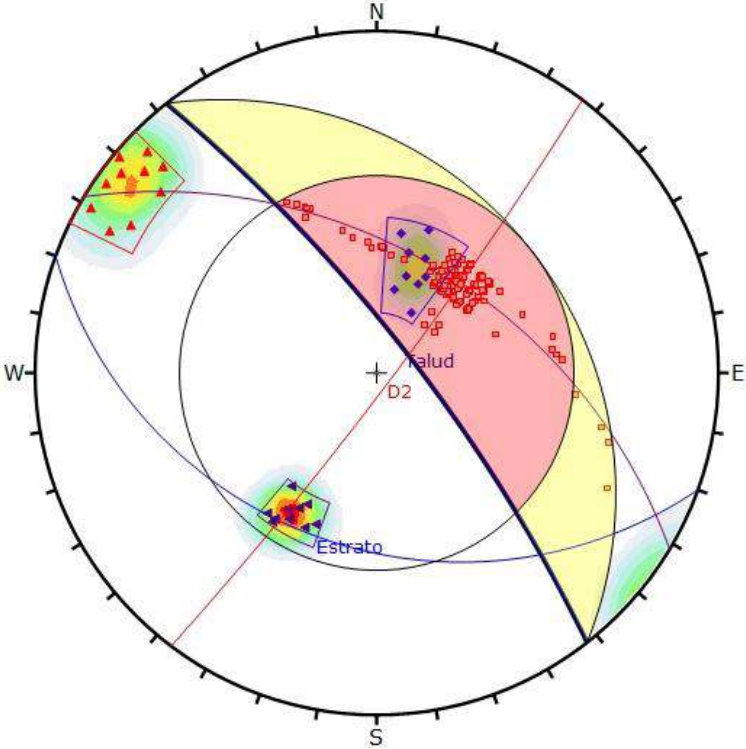


Figura 36: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

Estación Geomecánica 10:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-10 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 770875, N: 9 172792, COTA: 2742

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Llimbe, litológicamente encontramos areniscas de la Formación Chimú, los estratos en este punto se encuentran moderadamente fracturados, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 30° y su altura supera los 10 m, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 37 y corresponde a una roca de tipo IV de mala calidad. En la tabla # 47, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.

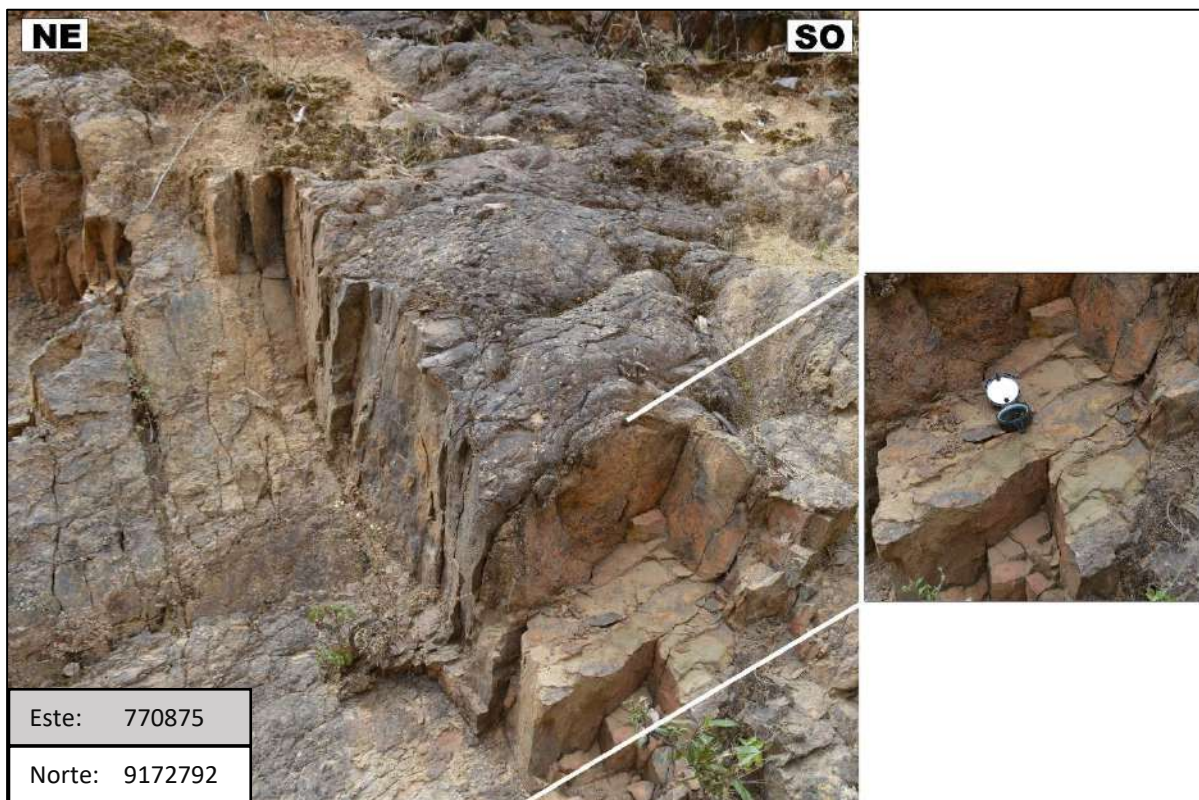


Foto 36: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 10, en el sector Llimbe (progresiva Km 02+800).

Tabla 47: Valoración del macizo rocoso, estación 10, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		50-25	4
RQD (%)		25-50	6
Espaciado medio (m)		0.06-0.2	8
Persistencia (m)		3-10	2
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Muy Alterada	1
Agua Freática		Lig. Húmeda	10
RMR_b =		37	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Mala	IV	10 horas con 2.5 m de vano	15-25

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 275 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 30

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 153

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 86

Tabla 48: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 10.

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA
Date	11 de junio de 2020
Author	Eduard Gálvez Mejía
Company	Universidad Nacional de Cajamarca

FAMILIA 03	
Basic RMR	37

Slope	α_s	275°
	β_s	30°
Discontinuity	α_j	153°
	β_j	86°

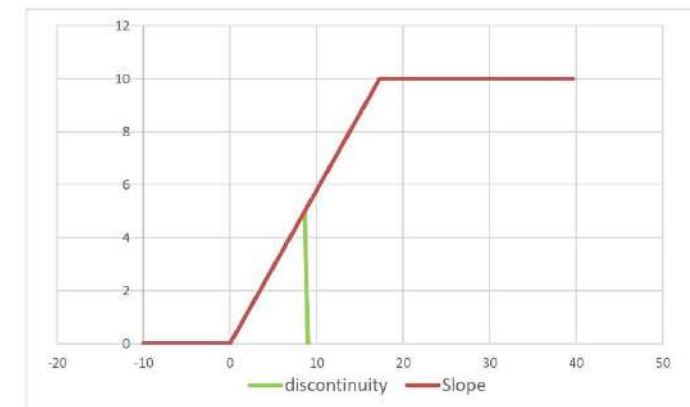
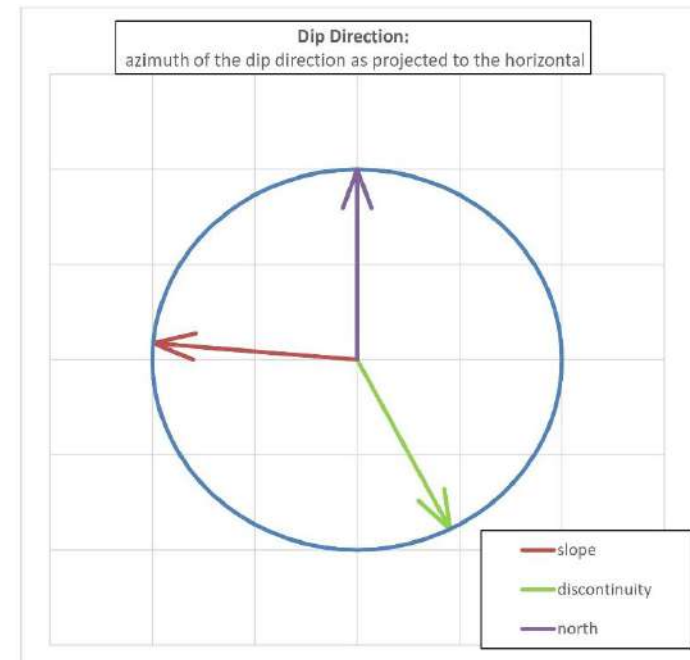
Auxiliar angles (degrees)	A	58°
	B	86°
	C	116°
Failure Type	Toppling	

Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F_1	0.15	0.18
F_2	1.00	1.00
F_3	-6.00	-2.15
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-1	0

Excavation method	Blasting or mechanical	
F_4	0	

	Discrete	Continuous
SMR	36	37
Class	IV	IV

	Discrete	Continuous
Description	Bad	Bad
Stability	Unstable	Unstable
Failures	Planar or big wedges	Planar or big wedges
Support	Important/corrective	Important/corrective



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 37 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

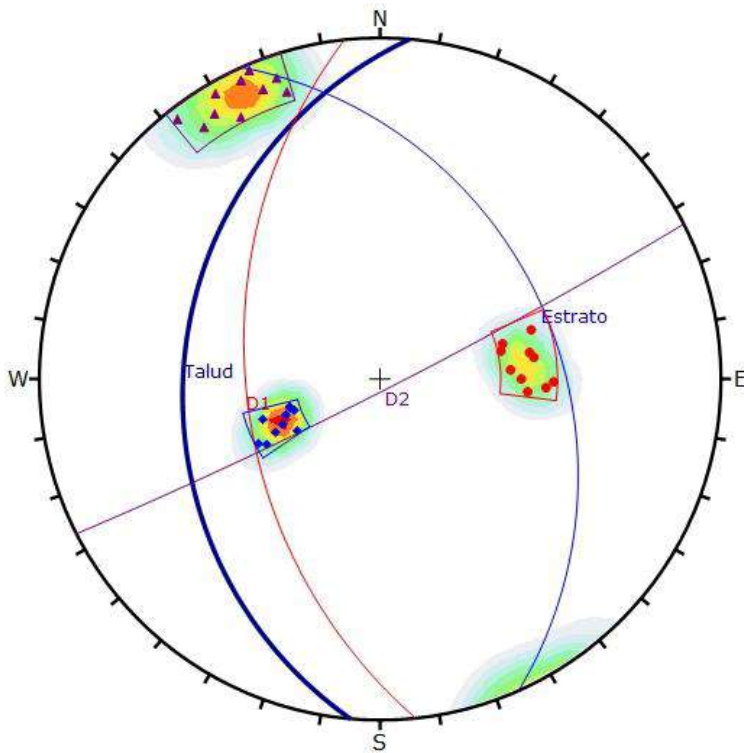


Figura 37: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 10 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo con 2.30 % de probabilidad de plano de deslizamiento (Tabla 49).

Tabla 49: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	0.00 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	0.00 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.30 %

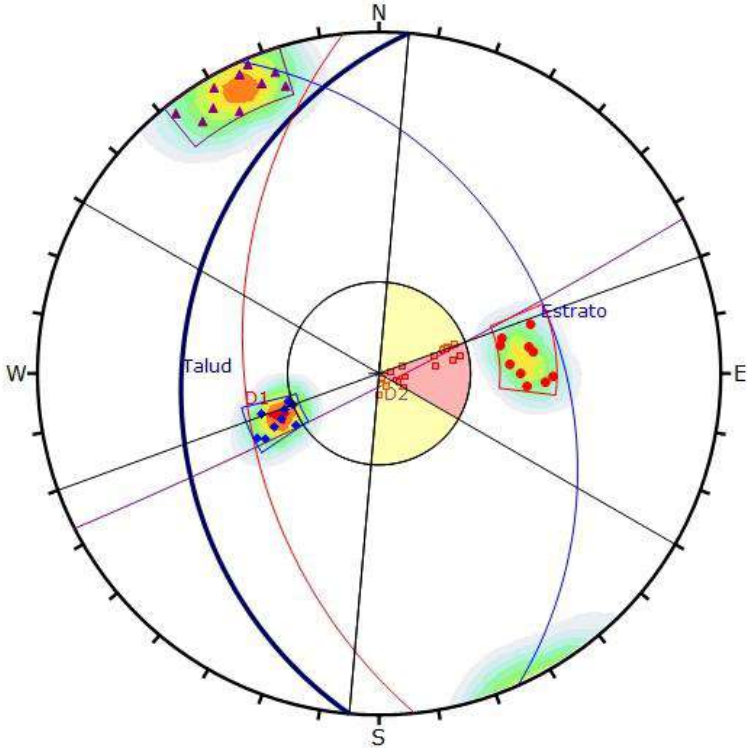


Figura 38: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo volteo directo.

Estación Geomecánica 11:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-11 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 772149, N: 9 173415, COTA: 2456

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Casipe, litológicamente encontramos areniscas de la Formación Chimú, los estratos en este punto se encuentran moderadamente fracturados, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 45° y su altura supera los 20 m, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 69 y corresponde a una roca de tipo II de buena calidad. En la tabla # 50, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.

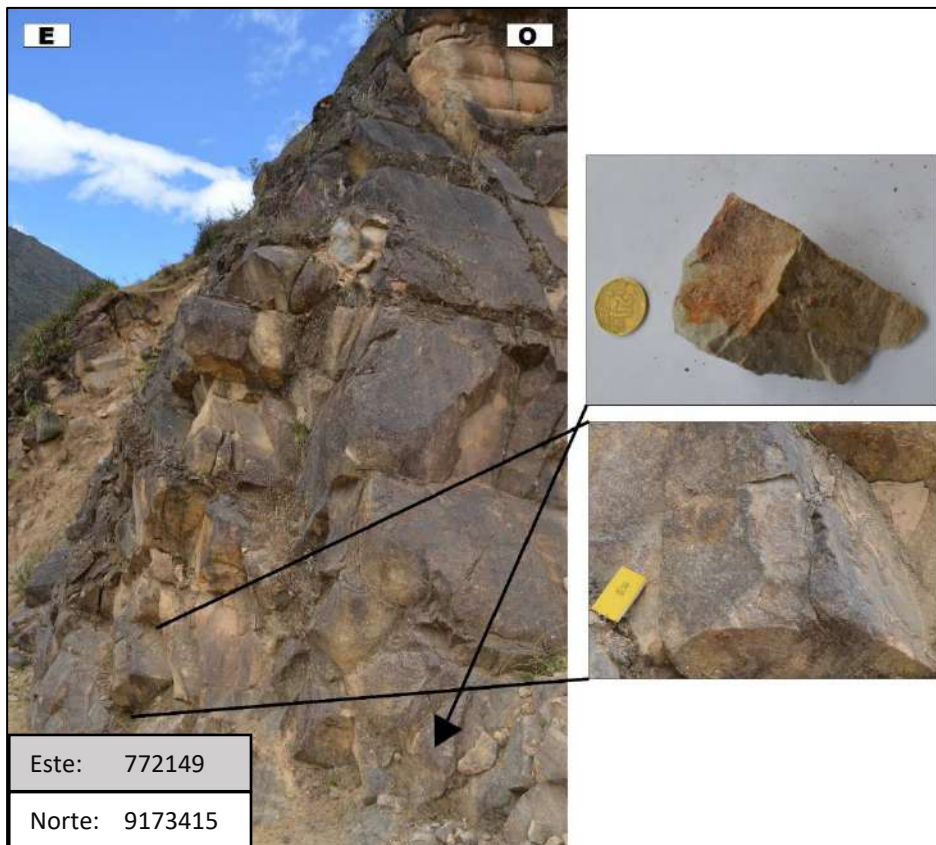


Foto 37: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 11, en el sector Casipe (progresiva Km 06+150).

Tabla 50: Valoración del macizo rocoso, estación 11, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		250-100	12
RQD (%)		75-90	17
Espaciado medio (m)		0.2-0.6	10
Persistencia (m)		1-3	4
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig.Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Lig. Alterada	5
Agua Freática		Lig. Seca	15
RMR_b =		69	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Buena	II	6 meses con 8 m de vano	35-45

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 11 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 68

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 293

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 47

Tabla 51: SMR para la familia 02, estación Geomecánica 11

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	11 de junio de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	

FAMILIA 02	
Basic RMR	69

Slope	α_s	11°
	β_s	68°
Discontinuity	α_j	293°
	β_j	47°

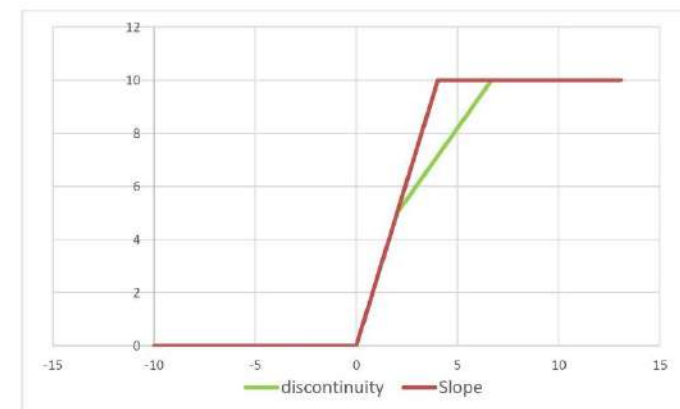
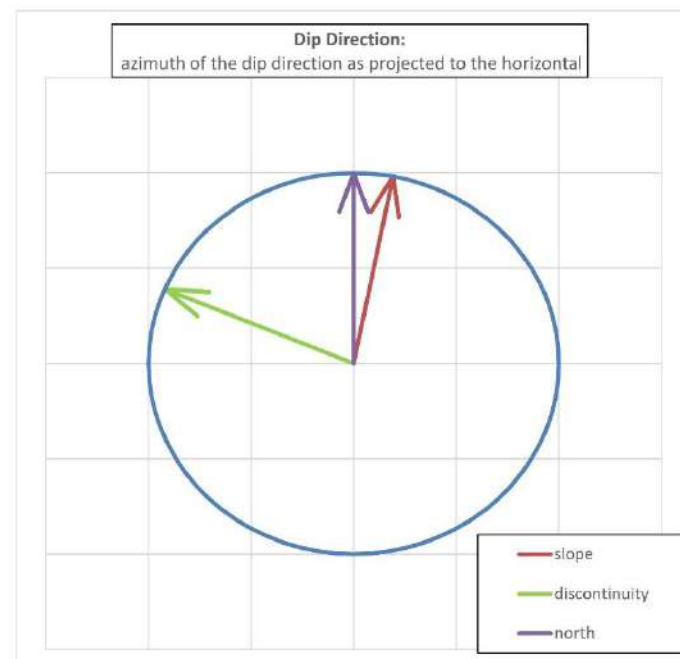
Auxiliar angles (degrees)	A	78°
	B	47°
	C	-21°
Failure Type	Wedge/Planar	

Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F_1	0.15	0.16
F_2	1.00	0.93
F_3	-60.00	-59.09
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-9	-9

Excavation method	Blasting or mechanical	
F_4	0	

	Discrete	Continuous
SMR	60	60
Class	III	III

	Discrete	Continuous
Description	Normal	Normal
Stability	Partially stable	Partially stable
Failures	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
Support	Systematic	Systematic



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 39 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

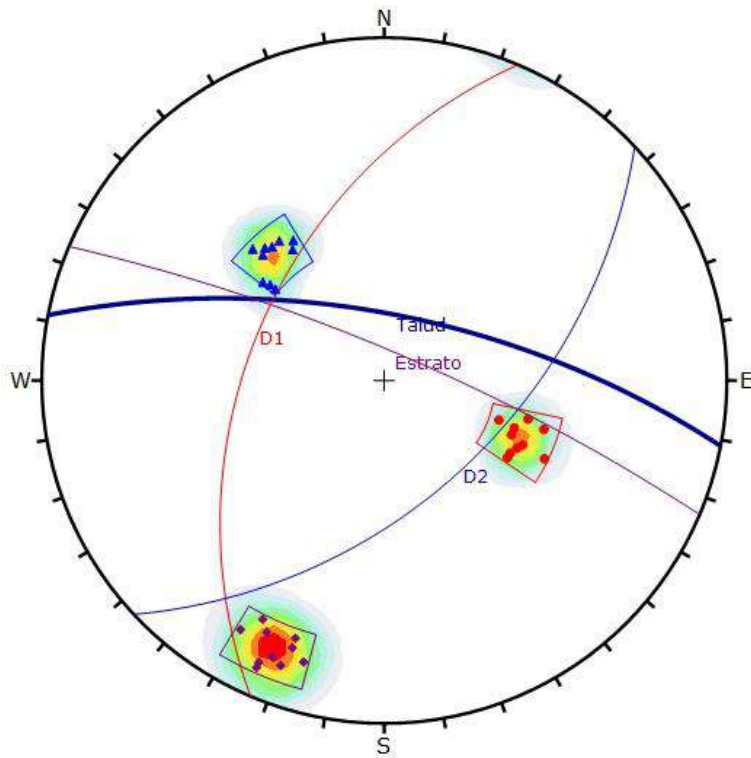


Figura 39: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 11 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña con 9.43 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo volteo directo con un 2.99 % de probabilidad (Tabla 52).

Tabla 52: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	0.00 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	9.43 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.99 %

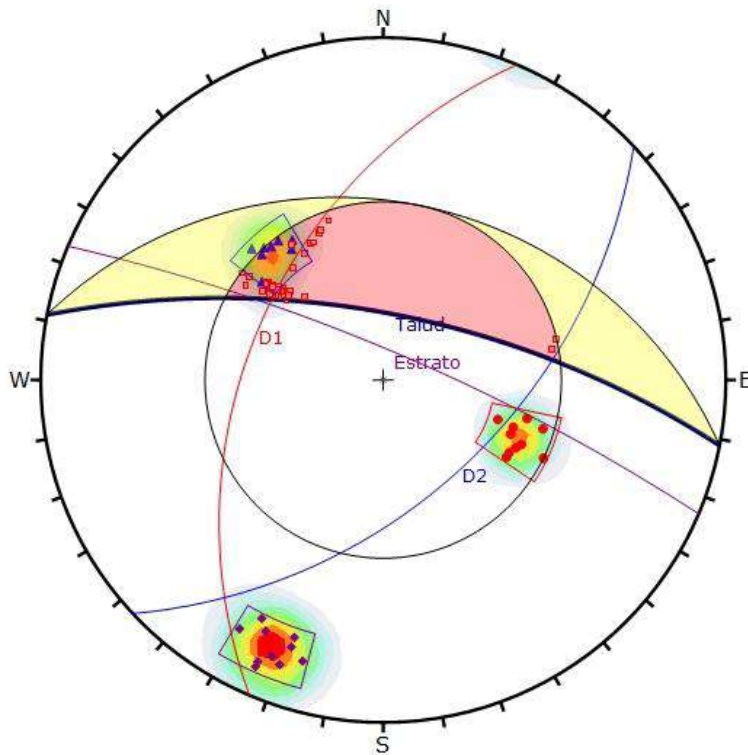


Figura 40: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

Estación Geomecánica 12:

Se realizó un registro geológico-geotécnico de detalle denominado Est-12 y el detalle del registro estructural de las discontinuidades se encuentra en el Anexo 01 “estaciones geomecánicas”

Esta estación tiene como coordenadas: E: 772493, N: 9 173687, COTA: 2434

El talud está ubicado en la margen izquierda de la carretera Cospán – Campodén, en el sector Las Lúcumas, litológicamente encontramos areniscas de la Formación Chimú, los estratos en este punto se encuentran moderadamente fracturados, el talud aquí presenta una inclinación mayor a 45° y su altura supera los 25 m, aquí se determinó 3 familias de discontinuidades, el RMR para esta estación fue de 44 y corresponde a una roca de tipo III de mediana calidad. En la tabla # 53, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.



Foto 38: Se observa un afloramiento de la Formación Chimú, correspondiente a la estación geomecánica 12, en el sector Las Lúcumas (progresiva Km 07+050).

Tabla 53: Valoración del macizo rocoso, estación 12, la tabla resume las características de las familias de discontinuidades las cuales nos permiten calcular el RMR.

CÁLCULO DEL RMR BÁSICO (RMR _b)		Clasificación	Valoración
Funciones continuas según.			
Resistencia a compresión simple (MPa)		100-50	7
RQD (%)		25-50	6
Espaciado medio (m)		0.2-0.6	10
Persistencia (m)		3-10	2
Abertura (mm)		1-5	1
Rugosidad		Lig. Rugosa	3
Relleno		Rellena Blanda < 5mm	2
Alteraciones		Mod. Alterada	3
Agua Freática		Lig. Húmeda	10
RMR_b =		44	
Clasificación RMR			
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	25-35

Determinación de SMR.

Se determinará con la siguiente expresión para realizar el ajuste por orientación de discontinuidades.

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Dirección estimada del talud en estudio: 245 N

Buzamiento estimado del talud en estudio: 68

Con la ayuda de una hoja de cálculo en formato excel, desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Alicante-España y teniendo como datos de entrada: RMR básico, dirección y buzamiento estimado del talud y la discontinuidad en estudio, estos datos sirvieron para calcular los factores de corrección f_1 , f_2 , f_3 , f_4 y determinar el SMR final.

Dirección de buzamiento de la discontinuidad en estudio: 214

Buzamiento de la discontinuidad en estudio: 58

Tabla 54: SMR para la familia 03, estación Geomecánica 12

Project name	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA	
Date	11 de junio de 2020	
Author	Eduard Gálvez Mejía	
Company	Universidad Nacional de Cajamarca	

FAMILIA 03		
Basic RMR	44	< █ █ █ >

Slope	α_s	245°	< █ █ █ >
	β_s	68°	< █ █ █ >
Discontinuity	α_j	214°	< █ █ █ >
	β_j	58°	< █ █ █ >

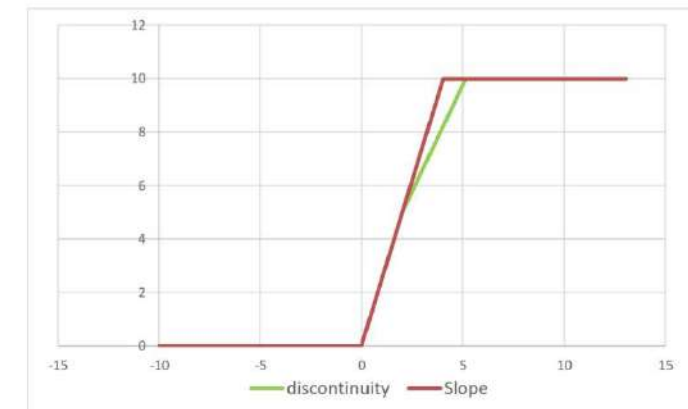
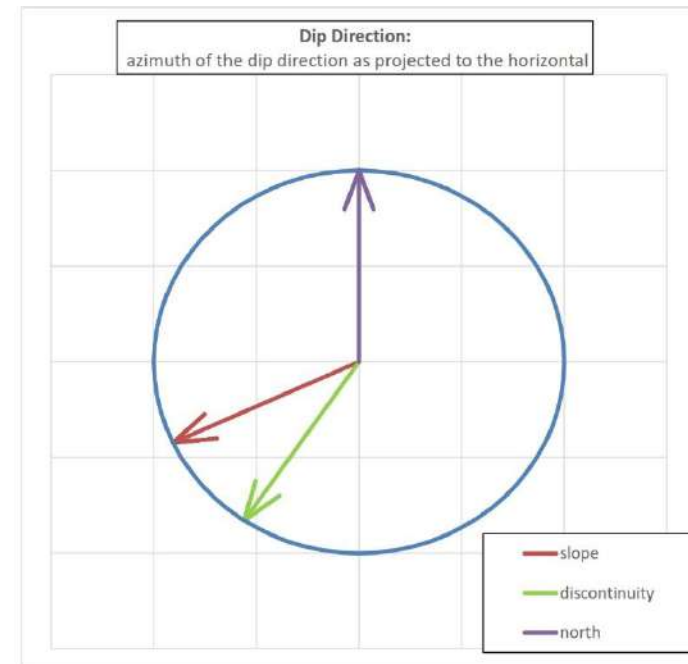
Auxiliar angles (degrees)	A	31°
	B	58°
	C	-10°
Failure Type	Wedge/Planar	

Authors→ Coefficients ↓	Romana (1993) Discrete values	Tomás et al (2007) Continuous values
F_1	0.15	0.31
F_2	1.00	0.96
F_3	-60.00	-58.10
$F_1 \times F_2 \times F_3$	-9	-18

Excavation method	Blasting or mechanical	
F_4	0	

	Discrete	Continuous
SMR	35	26
Class	IV	IV

	Discrete	Continuous
Description	Bad	Bad
Stability	Unstable	Unstable
Failures	Planar or big wedges	Planar or big wedges
Support	Important/corrective	Important/corrective



Fuente: Modificado de Riquelme, Tomás y Abellán, 2014

Análisis Cinemático en Dips.

Para el análisis de las discontinuidades se tomaron un total de 30 datos estructurales entre las familias reconocidas en esta estación, según los datos obtenidos en la caracterización geomecánica del talud en la etapa de campo, se observan 3 familias de discontinuidades. En la figura 41 se muestra la dispersión de estas familias, en la cual se observa que la nube de datos se agrupa en dirección de 3 orientaciones preferenciales.

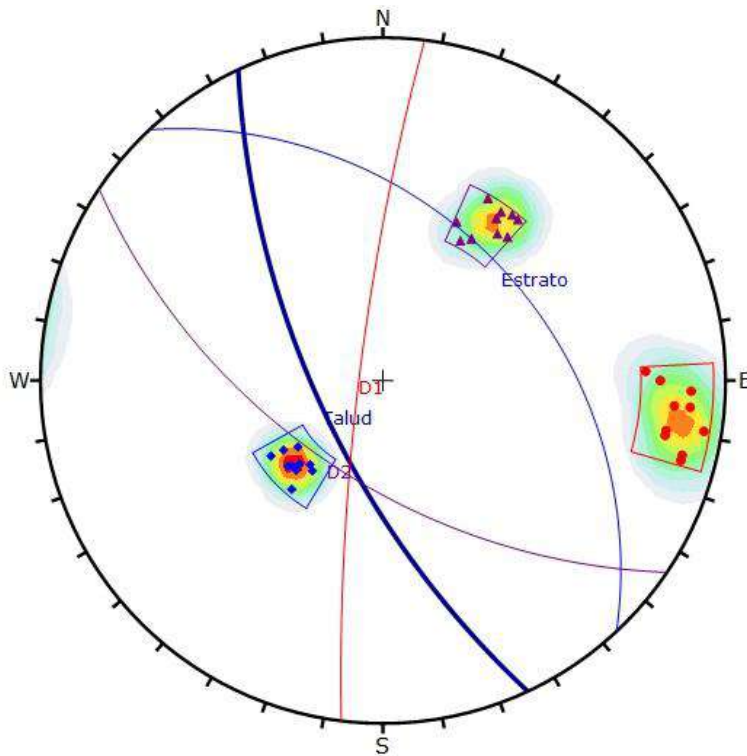


Figura 41: Densidad de familias, diagrama de polos y dirección del talud mostrados en Dips 6.0.

Teniendo como resultado la probabilidad de plano de deslizamiento (PPD) en porcentajes, se identifica así el modo de ruptura e inestabilidad del talud. El talud de la estación geomecánica 12 tendrá una mayor tendencia a fallar por ruptura tipo cuña con 22.99 % de probabilidad de plano de deslizamiento, considerando también la rotura tipo planar con 6.67 % y la rotura tipo volteo directo 2.30 % de probabilidad (Tabla 55).

Tabla 55: Resultado de la probabilidad de plano de deslizamiento en porcentajes.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO	
TIPO DE ROTURA	PPD (%)
Análisis cinemático por rotura planar.	6.67 %
Análisis cinemático por rotura en cuña.	22.99 %
Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.30 %

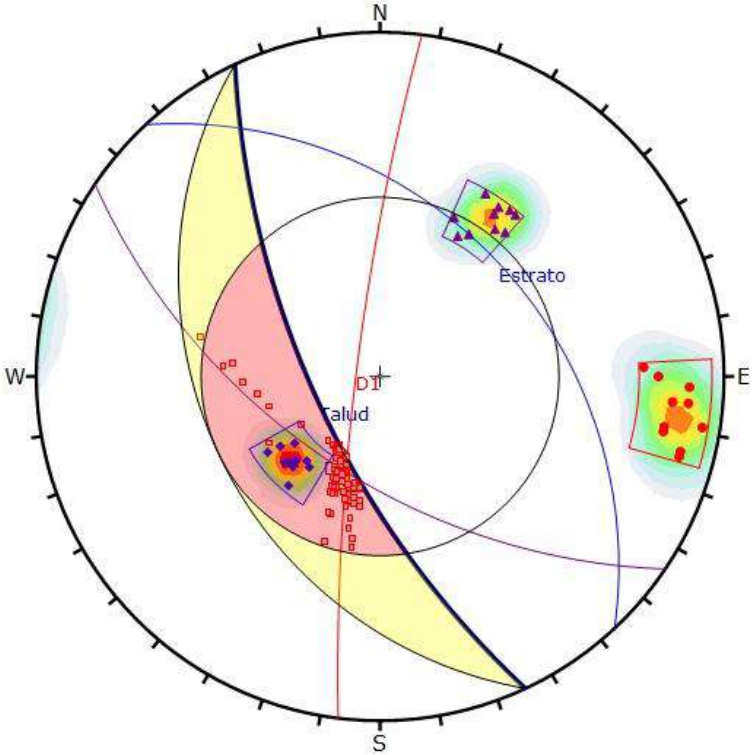


Figura 42: Análisis de proyección estereográfica respecto al talud, se observa una tendencia a fallar por ruptura tipo cuña.

4.2.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON SLIDE

Para determinar el comportamiento geotécnico de algunos taludes de la carretera Rambrán – Unión Casipe, se realizó un análisis con el software Slide 6.0 para determinar el factor de seguridad de cada uno de ellos, se trabajó con 05 taludes potencialmente inestables en todo el tramo, para lo cual se realizó el respectivo análisis de suelos para determinar el ángulo de fricción (ϕ), peso unitario (KN/m^3) y cohesión (KPa), estos datos nos sirvió para trabajar en el Software Slide 6.0 y así tener un análisis más real de cada talud estudiado.

Para definir las condiciones sísmicas se tomó como referencia el Reglamento Nacional De Edificaciones – 2006, con su Modificatoria según DS 003 – 2016 –Vivienda, en su capítulo II de Peligro Sísmico. Según esta norma el territorio nacional se considera dividido en 04 zonas, como se muestra en el mapa adjunto (Figura 43). La zonificación sísmica se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica.



Figura 43: Mapa de zonas sísmicas del Perú. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016).

A cada zona se le asigna un factor Z según se indica en la tabla adjunta (Tabla 56). Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

El tramo de la carretera Rambrán – Unión Casipe se encuentran en la zona sísmica 3, vulnerable ante un evento sísmico de escala media, esto en función al tipo de roca que constituye el subsuelo en todo el tramo.

Tabla 56: Factores de zonificación sísmica.

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Para el análisis con el software Slide v.6, se tuvo en consideración lo siguiente:

Los métodos de dovelas utilizados para determinar el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado y Spencer, el número de dovelas por superficie de análisis fue de 25, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones, el método de búsqueda de la falla crítica fue de "Auto Refine Search" y el tipo de superficie de rotura fue el circular.

Se realizó el análisis de taludes en base a 3 posibles escenarios: Análisis en condiciones naturales, con saturación parcial y en condiciones pseudoestáticas (sismicidad máxima).

4.2.2.1 Talud 01 - Progresivas Km 1+280 – Km 1+330

El talud está ubicado en el margen izquierdo de la carretera Cospán- Rambrán, en la foto observamos un depósito coluvial el cual está compuesto principalmente por gravas finas y bloques angulares de composición arenosa, presentan un color marrón, estos bloques están sostenidos por una matriz de composición areno-limosa (SM), este depósito se encuentra suprayaciendo parcialmente a la Formación Carhuaz.



Foto 39: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 1+280 – Km 1+330

Análisis Slide v.6

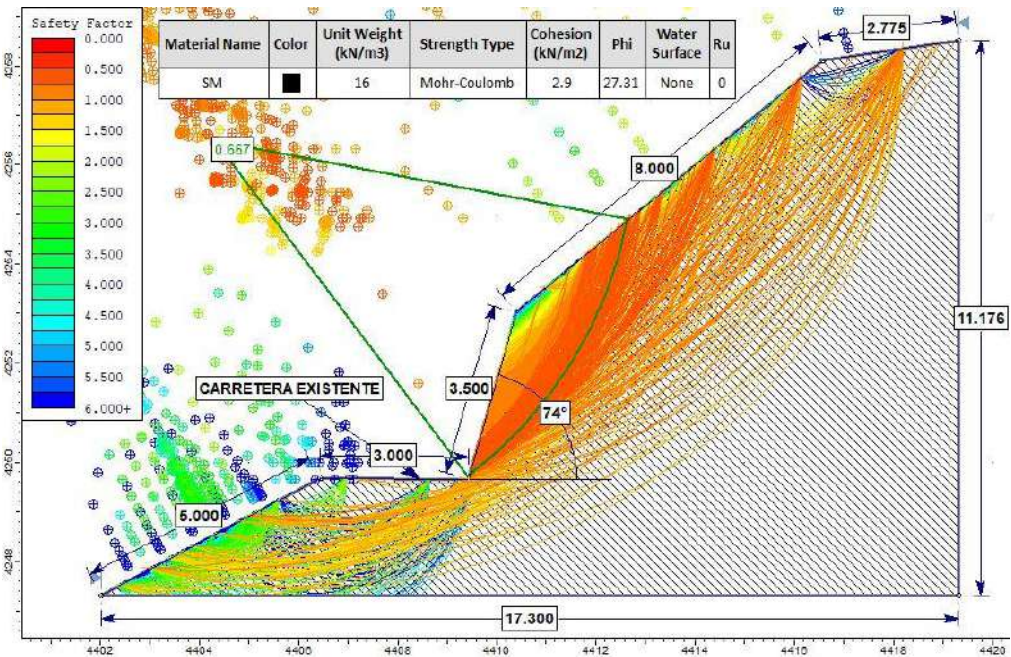


Figura 44: Análisis Slide en condiciones naturales.

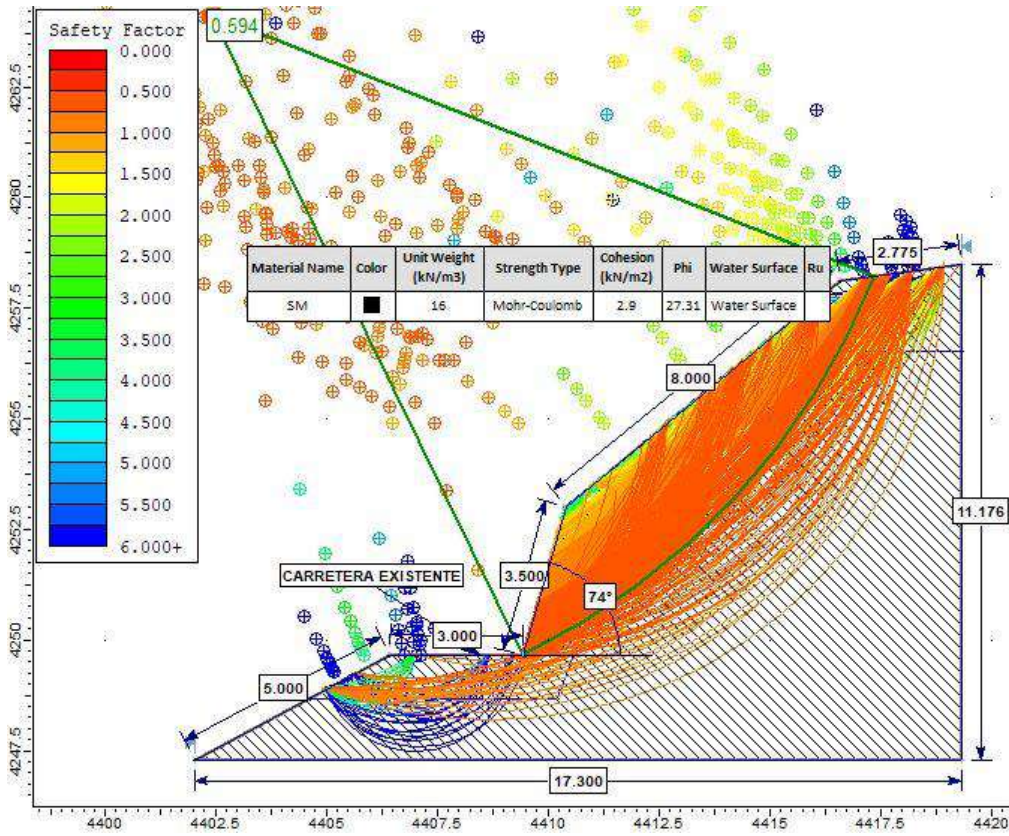


Figura 45: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.

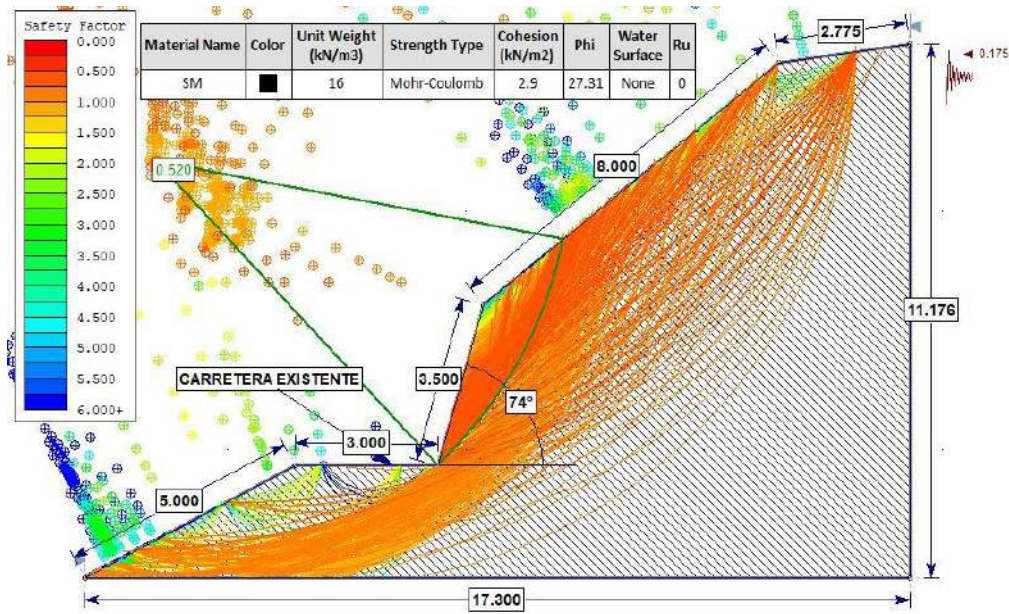


Figura 46: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.

4.2.2.2 Talud 02 - Progresivas Km 2+100 – Km 2+130

El talud está ubicado en el margen izquierdo de la carretera Cospán- Rambrán, en la foto observamos un depósito coluvial el cual está compuesto principalmente por gravas finas y bloques angulares de composición heterogénea, presentan un color amarillento, estos bloques están sostenidos por una matriz de composición areno-limosa (SM), este depósito se encuentra suprayaciendo parcialmente a la Formación Carhuaz. Además existen infiltraciones de agua en la plataforma de la carretera, la cual ayuda a generar inestabilidad en los taludes.

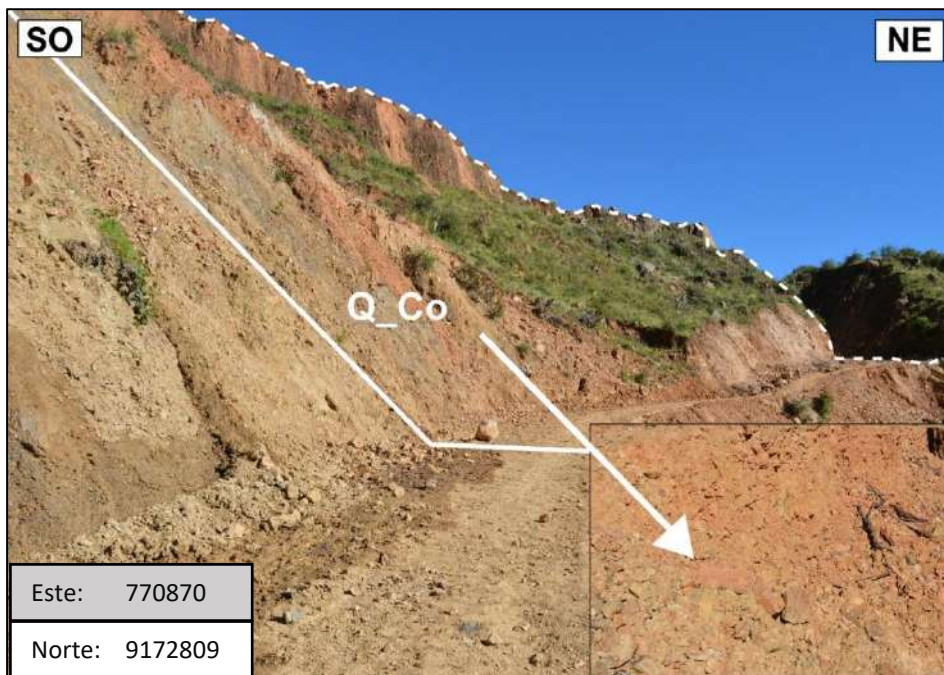


Foto 40: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 2+100 – Km 2+130

Análisis Slide v.6

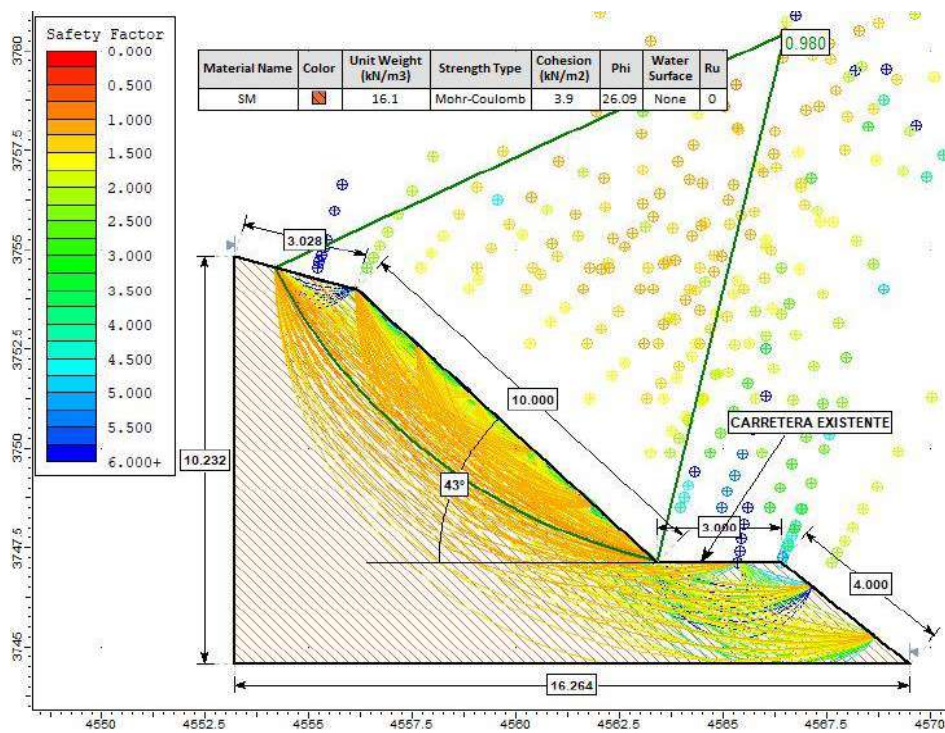


Figura 47: Análisis Slide en condiciones naturales.

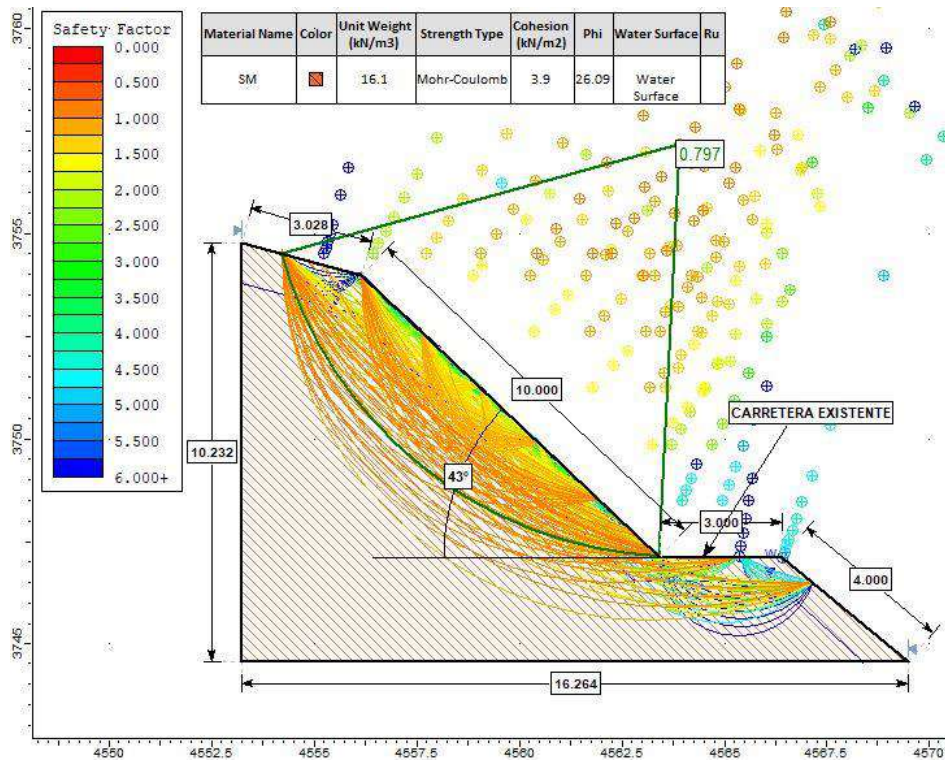


Figura 48: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.

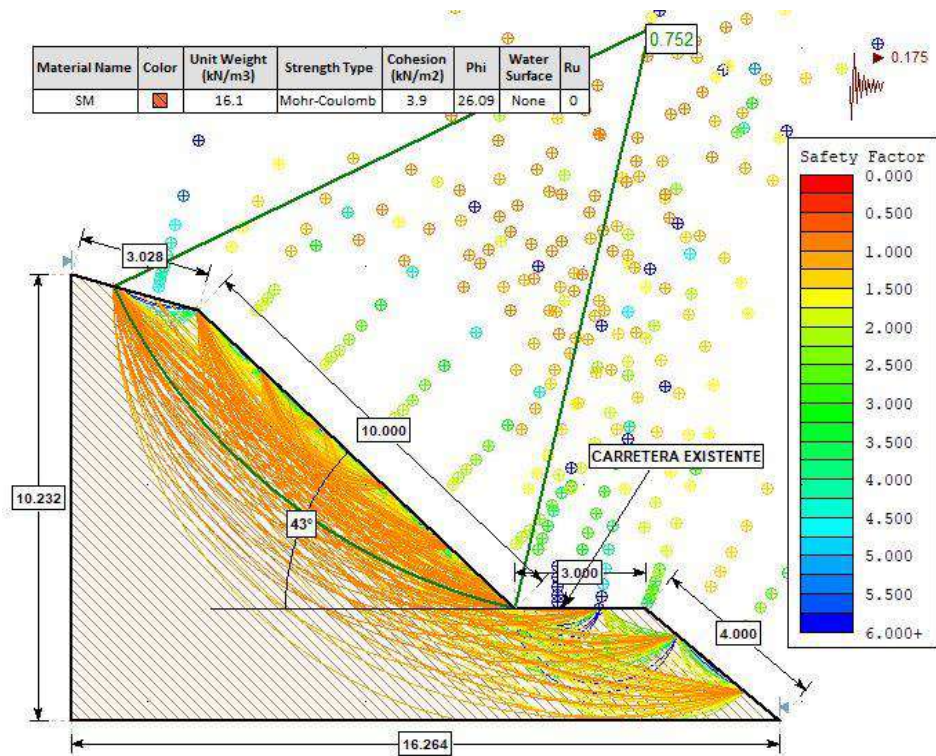


Figura 49: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.

4.2.2.3 Talud 03 - Progresivas Km 6+500 – Km 6+520

El talud está ubicado en el margen izquierdo de la carretera Cospán- Rambrán, en la foto observamos un depósito coluvial el cual está compuesto principalmente por gravas finas y bloques angulares de composición heterogénea, presentan un color amarillento con tonalidades grises, estos bloques están sostenidos por una matriz de composición arenolimososa (SM).

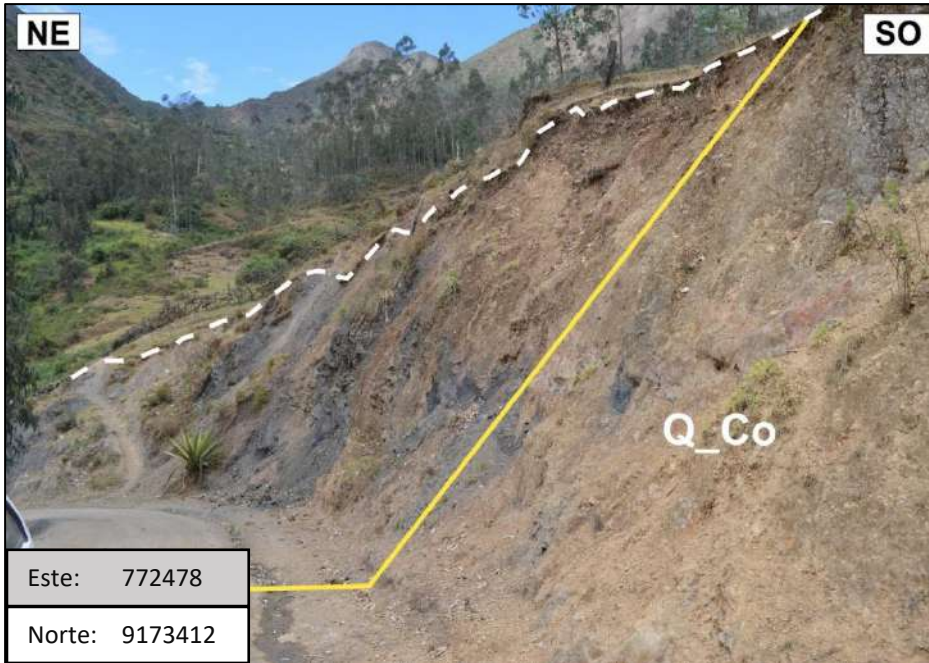


Foto 41: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 6+500 – Km 6+520

Análisis Slide v.6

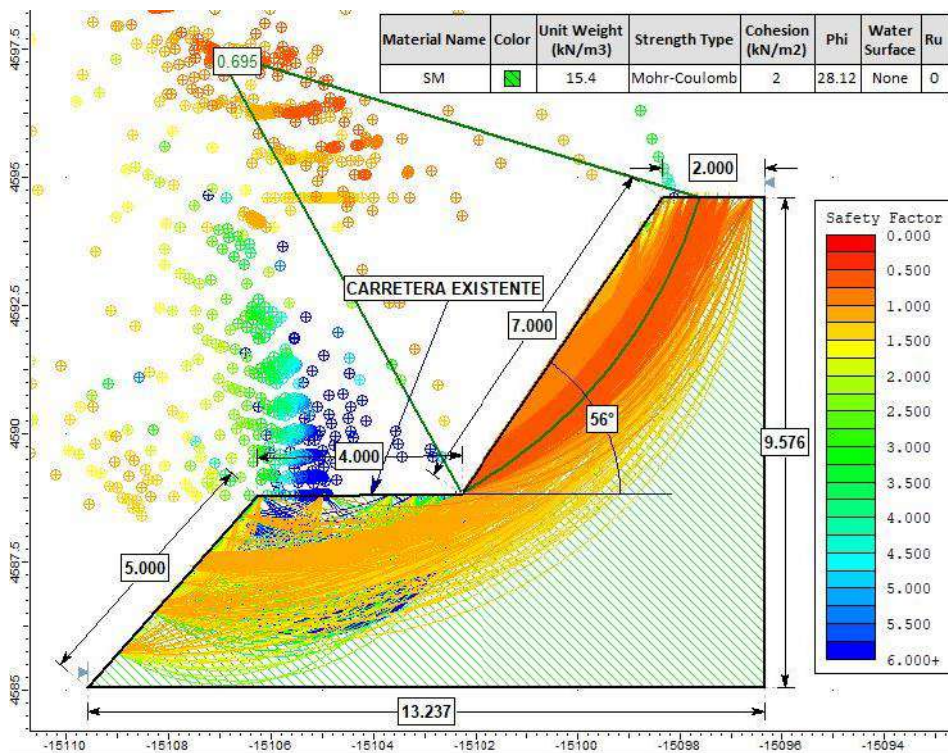


Figura 50: Análisis Slide en condiciones naturales.

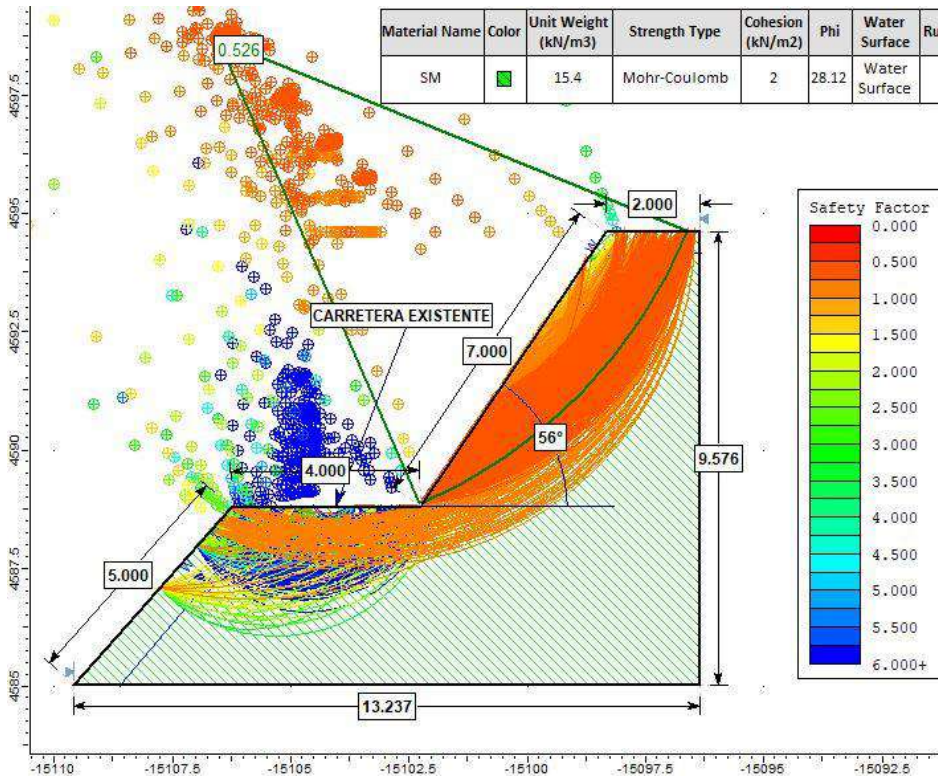


Figura 51: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.

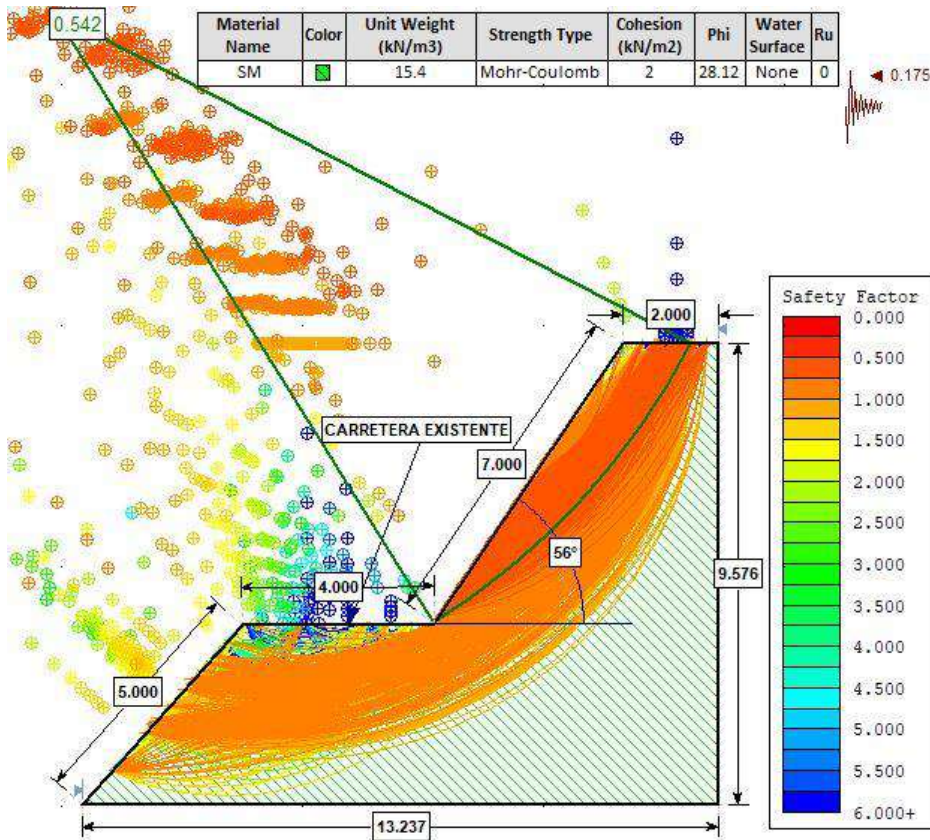


Figura 52: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.

4.2.2.4 Talud 04 - Progresivas Km 6+750 – Km 6+800

El talud está ubicado en el margen izquierdo de la carretera Cospán- Rambrán, en la foto observamos un depósito coluvial el cual está compuesto principalmente por gravas finas y bloques angulares de composición arenosa, presentan un color gris, estos bloques están sostenidos por una matriz de composición areno-limosa (SM). Además existen infiltraciones de agua en la plataforma de la carretera, la cual ayuda a generar inestabilidad en los taludes.

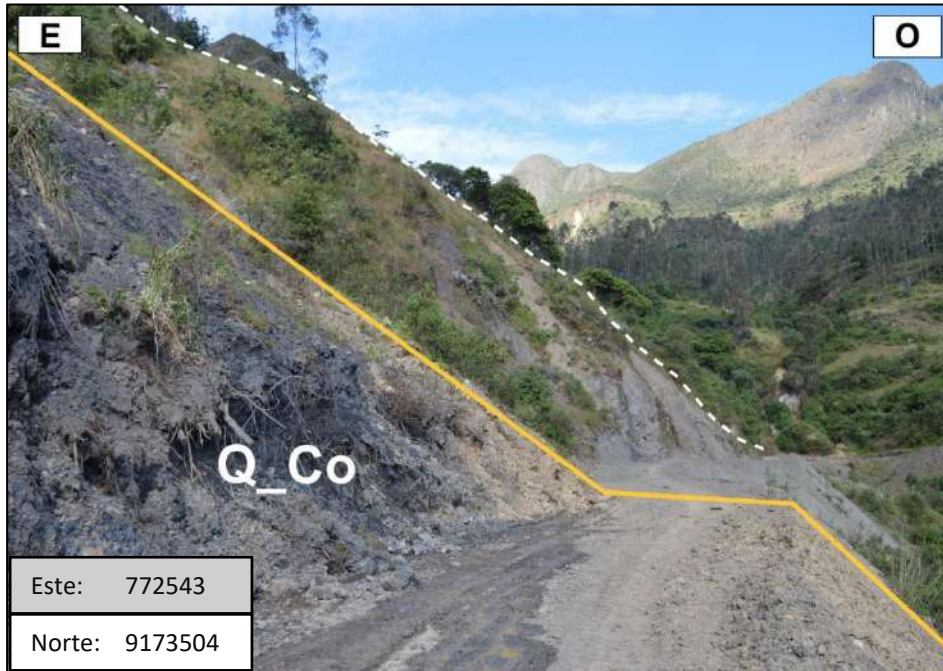


Foto 42: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 6+750 – Km 6+800

Análisis Slide v.6

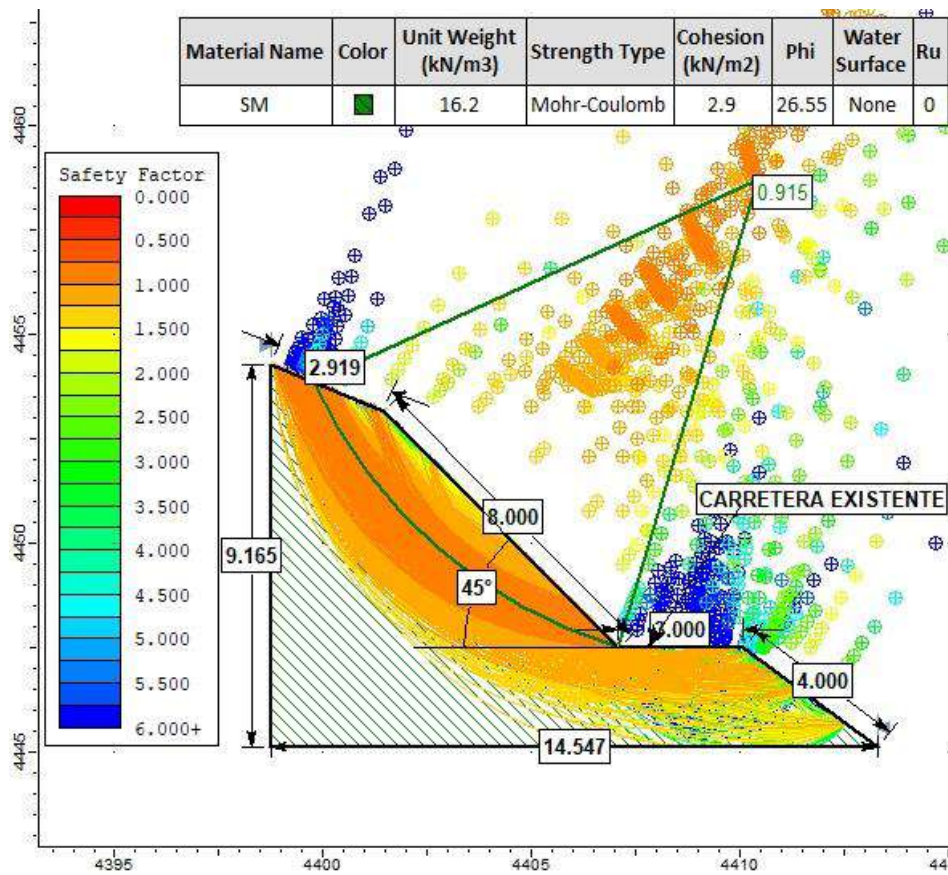


Figura 53: Análisis Slide en condiciones naturales.

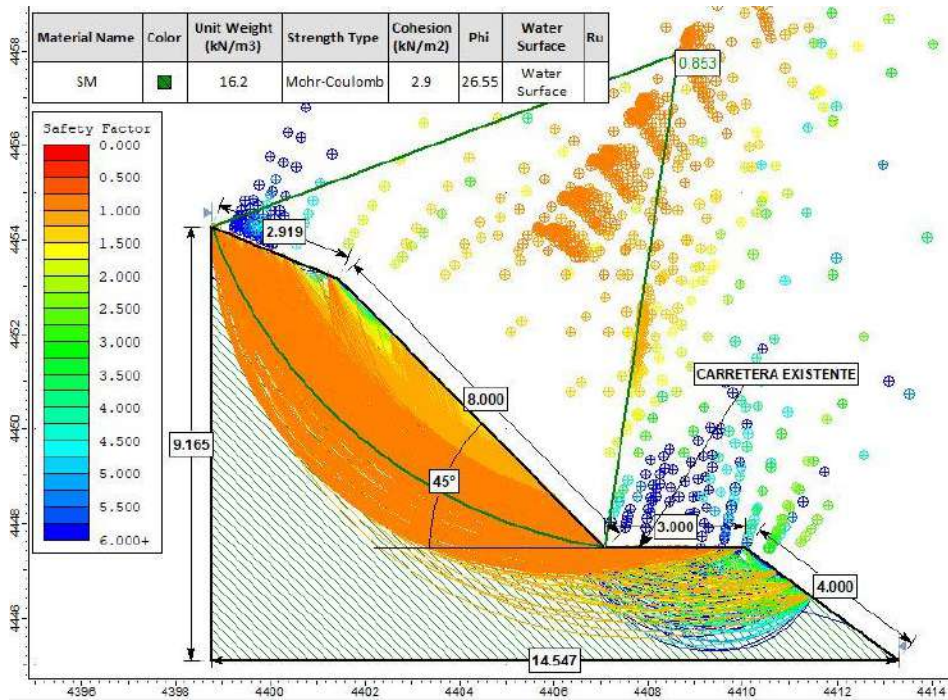


Figura 54: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.

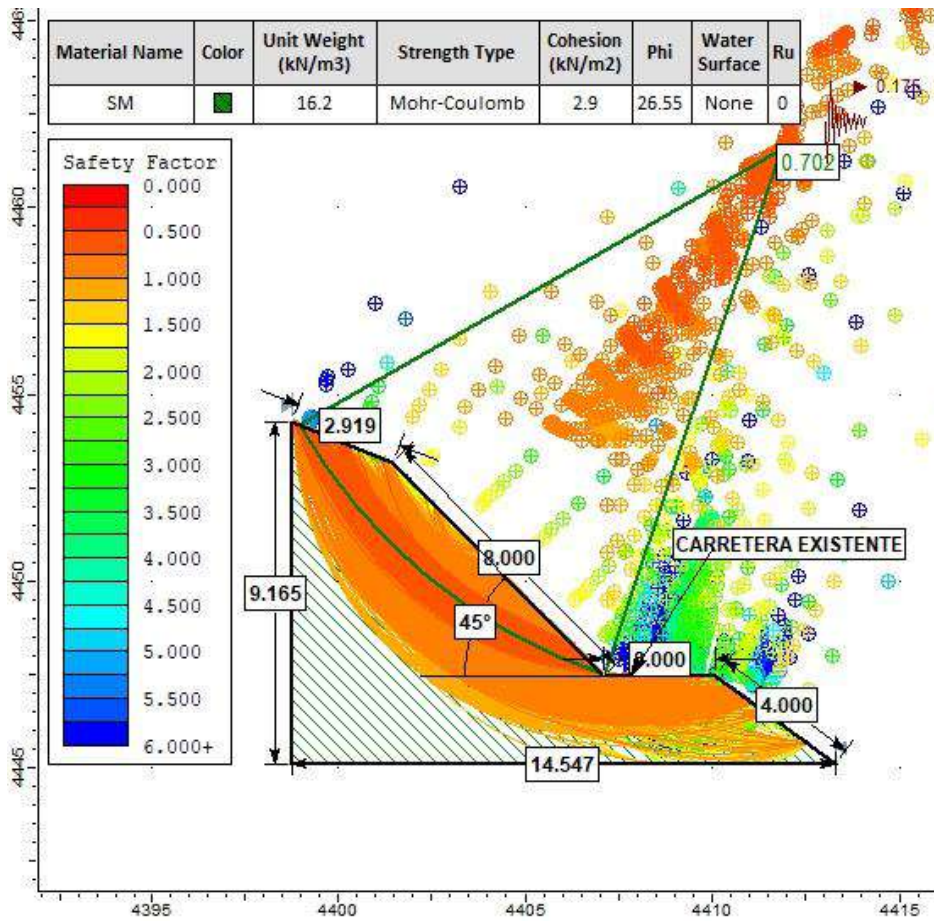


Figura 55: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.

4.2.2.5 Talud 05 - Progresivas Km 9+620 – Km 9+660

El talud está ubicado en el margen izquierdo de la carretera Cospán- Rambrán, en la foto observamos un depósito cuaternario el cual está compuesto principalmente por gravas finas y bloques angulosos de composición arenosa, presentan un color amarillento, estos bloques están sostenidos por una matriz de composición areno-limosa (SM). Además se observa la presencia de pequeños derrumbes en el talud produciendo inestabilidad en estos.

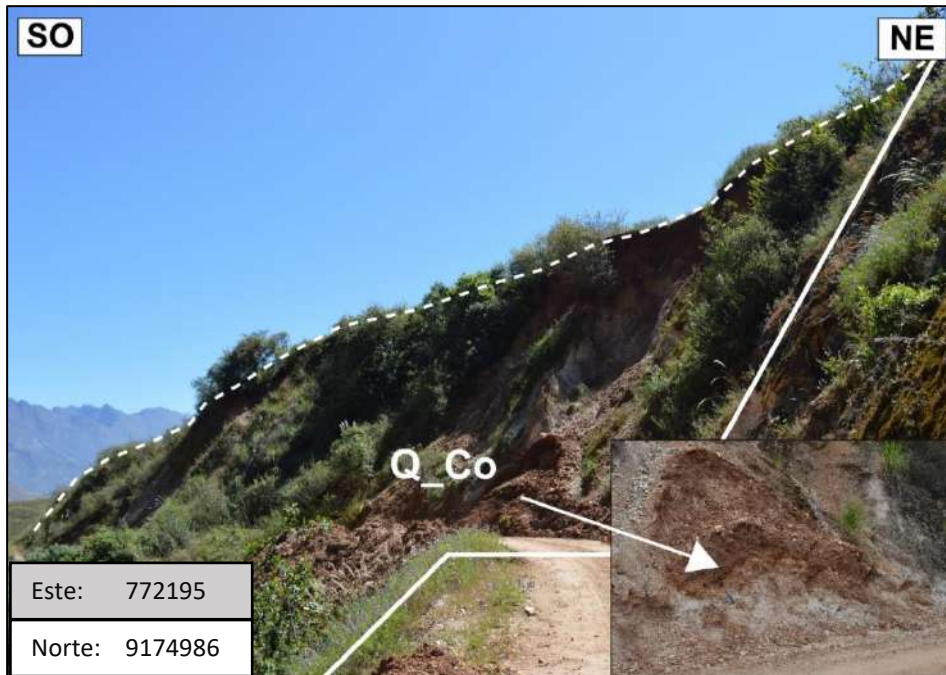


Foto 43: Talud inestable sobre un depósito Coluvial en las progresivas Km 9+620 – Km 9+660.

Análisis Slide v.6

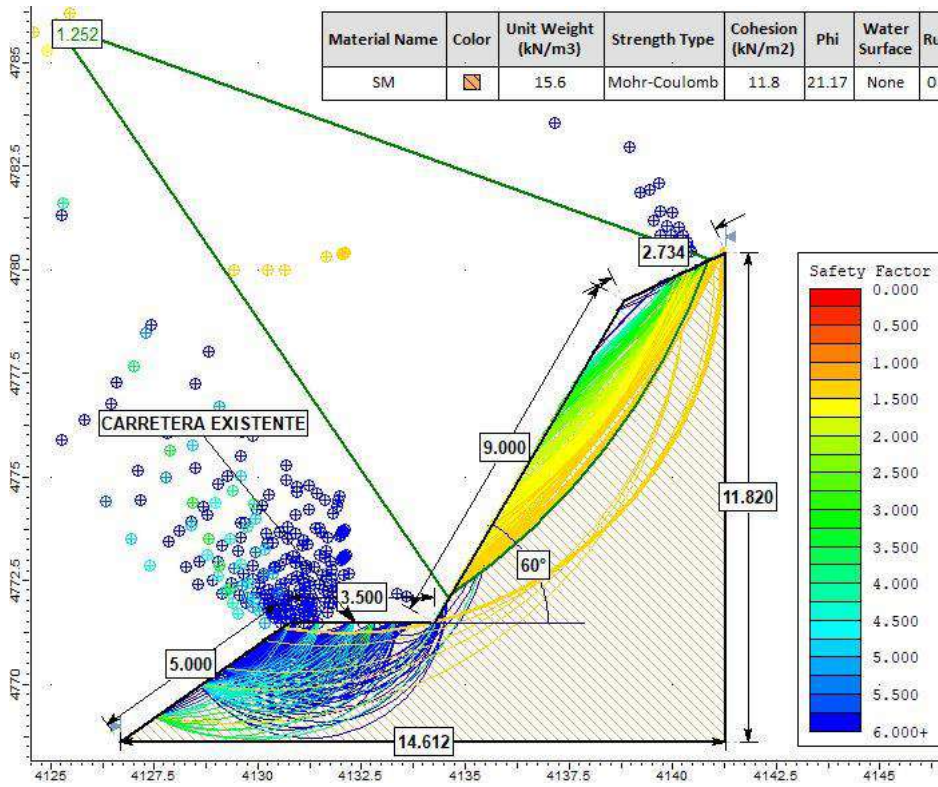


Figura 56: Análisis Slide en condiciones naturales.

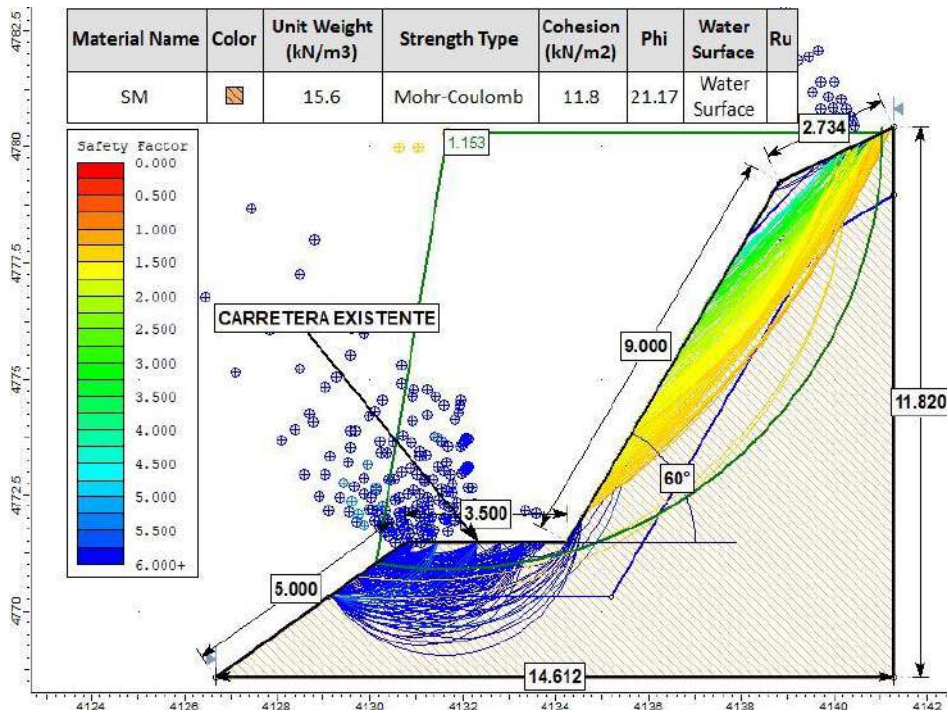


Figura 57: Análisis Slide en condiciones de saturación parcial.

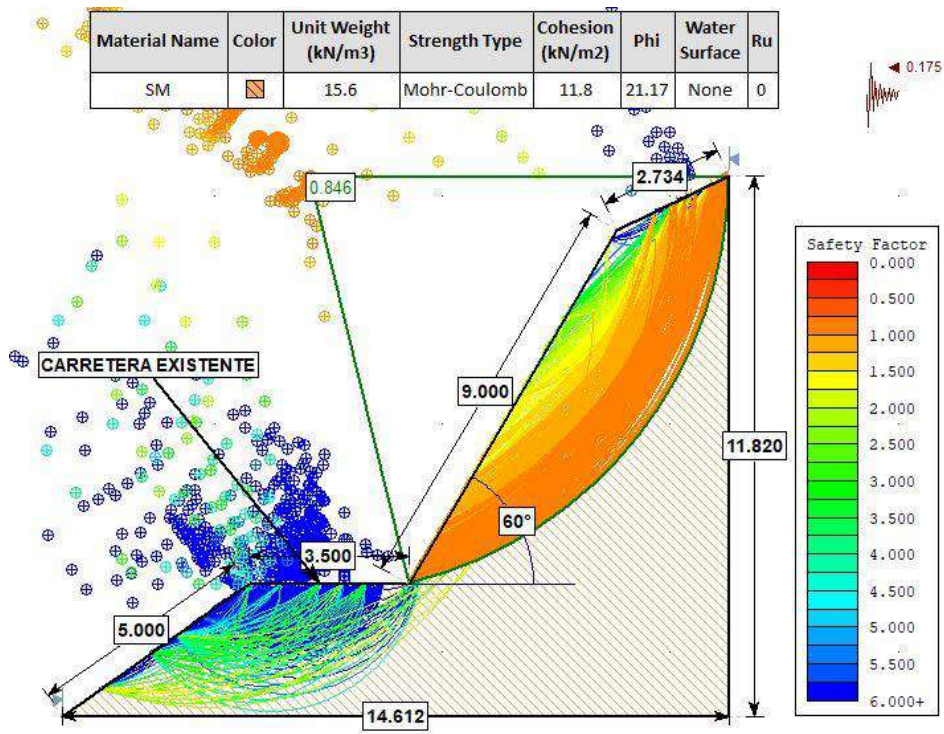


Figura 58: Análisis Slide en condiciones de sismicidad.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Se han identificado algunos taludes críticos en el corte de carretera, ubicados entre las comunidades de Rambrán y Unión Casipe Km 0+000 – Km 10+ 10+463, algunos de estos tienen un comportamiento inestable, en este tramo se ha identificado también fenómenos de remoción en masa, especialmente en época de altas precipitaciones, entre los meses de enero y mayo. Litológicamente el tramo en estudio abarca el Grupo Goyllarisquiza, Formación Inca y Formación Chulec.

Se realizó 12 estaciones geomecánicas las cuales sirvieron para determinar parámetros como: RMR, SMR, RQD y GSI mediante el análisis geomecánico del macizo rocoso; según la caracterización geomecánica RMR89 nos dio como resultado diferentes valores de RMR Y SMR en los diversos taludes analizados, estos valores obtenidos están condicionados por diferentes factores como pueden ser: Litología, grado de fracturación, grado de meteorización, condición de cada una de las discontinuidades, presencia de agua, etc. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 57: Resumen que muestra las propiedades geomecánicas de las estaciones analizadas.

ESTACIÓN	RQD	RMR	CALIDAD	CLASE	SMR	CLASE	DESCRIPCIÓN
01	65	48	Media	III	48	III	Normal
02	79	67	Buena	II	57	III	Normal
03	74	62	Buena	II	53	III	Normal
04	78	48	Media	III	46	III	Normal
05	29	37	Mala	IV	29	IV	Mala
06	48	39	Mala	IV	29	IV	Mala
07	64	62	Buena	II	54	III	Normal
08	72	65	Buena	II	56	III	Normal
09	41	37	Mala	IV	13	V	Muy Mala
10	36	37	Mala	IV	36	IV	Mala
11	77	69	Buena	II	60	II	Normal
12	34	44	Media	III	35	IV	Mala

4.3.1. Análisis Cinemático de Taludes con Dips (v5.1)

El Dips (v5.1) es un software diseñado para el análisis interactivo de orientación basado en los datos geológicos. Permite el trazado, análisis y presentación de datos estructurales utilizando técnicas de proyección estereográfica. Para determinar las zonas de riesgo de falla de los taludes, se analizaron las familias de discontinuidades mediante cuatro posibles escenarios de rotura: Rotura planar, rotura en cuña, volteo flexural y volteo directo.

El análisis muestra la probabilidad de ocurrencia de desprendimientos de cuña, deslizamientos planares, volteo directo y muy baja probabilidad de volcamiento flexural.

Tabla 58: Análisis cinemático de taludes.

ESTACIÓN	ESCENARIO DE ROTURA	PROBABILIDAD (%)
01	Análisis cinemático por rotura planar	2.78 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	5.99 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	1.43 %
02	Análisis cinemático por rotura planar	0.00 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	0.00 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	13.33 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	26.67 %
03	Análisis cinemático por rotura planar	7.41 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	28.93 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.28 %
04	Análisis cinemático por rotura planar	0.00 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	0.53 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	14.26 %
05	Análisis cinemático por rotura planar	0.00 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	8.67 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	11.95 %
06	Análisis cinemático por rotura planar	6.67 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	19.31 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	28.00 %
07	Análisis cinemático por rotura planar	6.67 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	8.00 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.76 %
08	Análisis cinemático por rotura planar	0.00 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	28.51 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	28.51 %
09	Análisis cinemático por rotura planar	26.67 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	32.41 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	22.99 %
10	Análisis cinemático por rotura planar	0.00 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	0.00 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.30 %
11	Análisis cinemático por rotura planar	0.00 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	9.43 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.99 %
12	Análisis cinemático por rotura planar	6.67 %
	Análisis cinemático por rotura en cuña	22.99 %
	Análisis cinemático de rotura por volteo flexural	0.00 %
	Análisis cinemático de ruptura por volteo directo	2.30 %

4.3.2. Análisis con el Software Slide 6.0.

El Slide 6.0 es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Incluye análisis de elementos finitos de las filtraciones de aguas subterráneas, análisis de sensibilidad y probabilístico.

El programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta algunas propiedades del suelo (cohesión, ángulo de fricción y peso unitario), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua).

Los parámetros de los materiales que componen los taludes requeridos en el análisis de estabilidad, son los siguientes:

- Peso específico (γ) KN/m³.
- Cohesión (c) KN/m².
- Angulo de fricción interna (ϕ) en grados.

Estos parámetros han sido obtenidos mediante ensayos de laboratorio, los cuales presentamos a continuación:

Tabla 59: Resumen de datos utilizados en el análisis de taludes.

Nº Talud	Progresiva	Material	Peso Unitario (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Ángulo de fricción (ϕ)
TALUD 01	Km 1+280 – Km 1+330	Arena Limosa (SM)	16	2.9	27.31
TALUD 02	Km 2+100 - Km 2+130	Arena Limosa (SM)	16.1	3.9	26.09
TALUD 03	Km 6+500 – Km 6+520	Arena Limosa (SM)	15.4	2.0	28.12
TALUD 04	Km 6+750 – Km 6+800	Arena Limosa (SM)	16.2	2.9	26.55
TALUD 05	Km 9+620 – Km 9+660	Arena Limosa (SM)	15.6	11.8	21.17

Con los datos proporcionados por laboratorio se realizó los respectivos análisis de estabilidad para los taludes inestables, calculando el factor de seguridad mediante 2 métodos: Spencer y Bisshop Simplificado.

Luego del análisis de los 5 taludes se pudo conocer que 4 de estos presentan inestabilidad ya que tienen un factor de seguridad menor a 1, solo uno de estos taludes tiene un comportamiento estable.

Tabla 60: Resumen de los factores de seguridad de los 5 taludes.

Nº Tramo	Progresiva	FS (Condiciones Naturales)	FS (Saturación Parcial)	FS (condiciones pseudoestáticas)	Grado de Inestabilidad
TALUD 01	Km 1+280 - Km 1+330	0.667	0.594	0.520	INESTABLE
TALUD 02	Km 2+100 – Km 2+130	0.980	0.797	0.752	INESTABLE
TALUD 03	Km 6+500 – Km 6+520	0.695	0.526	0.542	INESTABLE
TALUD 04	Km 6+750 – Km 6+800	0.915	0.853	0.702	INESTABLE
TALUD 05	Km 9+620 – Km 9+660	1.252	1.153	0.846	ESTABLE

A continuación se presenta la tabla que corresponde al análisis de los 5 taludes calculados con el software Slide 6.0, mediante el método de búsqueda de la falla crítica “Auto Refine Search” y el tipo de superficie de rotura fue el circular. Se calculó los factores de seguridad teniendo en cuenta 3 posibles escenarios: Análisis en condiciones naturales, con saturación parcial y en condiciones pseudoestáticas (sismicidad máxima).

Tabla 61: Resumen de los factores de seguridad de los 5 taludes.

Nº Tramo	Progresiva	Método de Análisis	FS (Condiciones Naturales)	FS (Saturación Parcial)	FS (condiciones pseudoestáticas)
TALUD 01	Km 1+280 – Km 1+330	Spencer	0.667	0.594	0.520
		Bishop Simplificado	0.656	0.597	0.524
TALUD 02	Km 2+100 - Km 2+130	Spencer	0.980	0.797	0.752
		Bishop Simplificado	0.987	0.801	0.756
TALUD 03	Km 6+500 – Km 6+520	Spencer	0.695	0.526	0.542
		Bishop Simplificado	0.703	0.525	0.546
TALUD 04	Km 6+750 – Km 6+800	Spencer	0.915	0.853	0.702
		Bishop Simplificado	0.921	0.855	0.704
TALUD 05	Km 9+620 – Km 9+660	Spencer	1.252	1.153	0.846
		Bishop Simplificado	0.998	0.792	0.837

4.3.3. Calibración de Cohesión Mediante Análisis de Sensibilidad.

Se ha realizado la calibración de la cohesión para los taludes 1, 2, 3,4 ya que en estos tenemos un factor de seguridad menor a 1, en el caso del talud 5 no se realizó calibración en la cohesión ya que aquí tenemos un talud con un factor de seguridad mayor a 1 (estable), esto se realizó mediante un análisis de sensibilidad con el software Slide v.6.0 para determinar cuál es la cohesión mínima requerida en los taludes para que estos sean estables, obteniéndose los siguientes resultados:

TALUD 01: Para el talud 01, según los resultados de laboratorio tenemos una cohesión de 2.9 KN/m², por lo tanto se realizó la calibración de la cohesión y para que este talud sea estable necesita una cohesión mínima de 6.881 KN/m², este valor se muestra en la tabla “62” y en la figura “59”.

Tabla 62: Valor calibrado de la cohesión para el talud 01.

Progresiva	Material	Valor de cohesión calibrado (KN/m ²)
Km 1+280 – Km 1+330	Arena Limosa (SM)	6.881

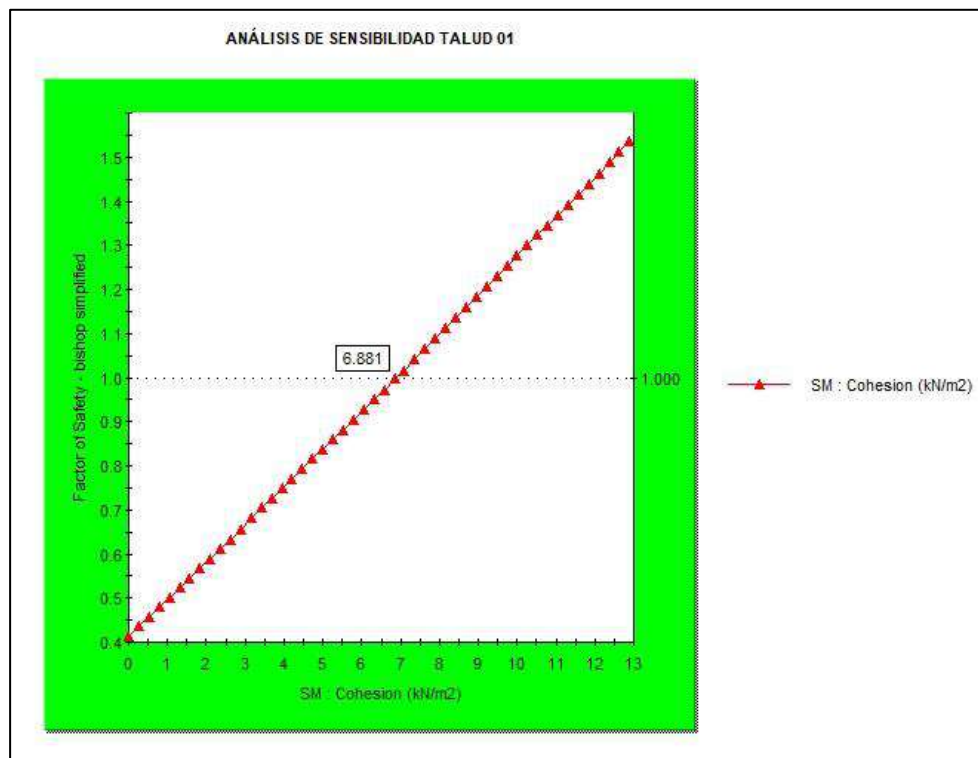


Figura 59: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 01 para que este sea estable.

TALUD 02: Para el talud 02 según los resultados de laboratorio tenemos una cohesión de 3.9 KN/m², por lo tanto se realizó la calibración de la cohesión y para que este talud sea estable necesita una cohesión mínima de 4.07 KN/m², este valor se muestra en la tabla “63” y en la figura “60”.

Tabla 63: Valor calibrado de la cohesión para el talud 02.

Progresiva	Material	Valor de cohesión calibrado (KN/m ²)
Km 2+100 – Km 2+130	Arena Limosa (SM)	4.07

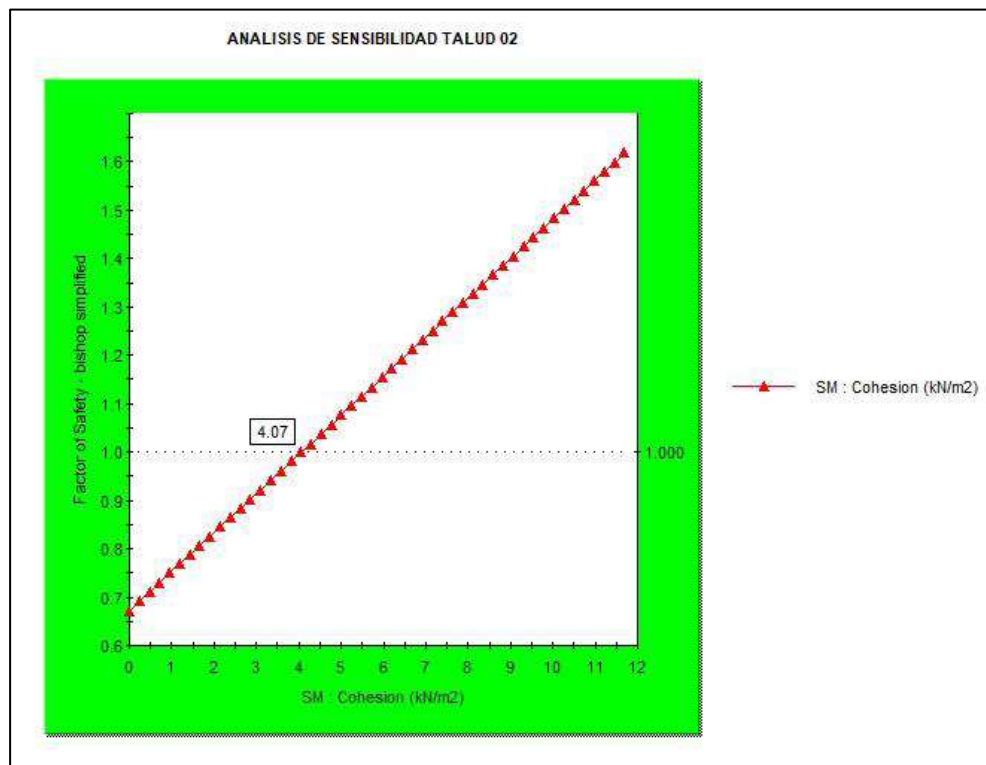


Figura 60: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 02 para que este sea estable.

TALUD 03: Para el talud 03 según los resultados de laboratorio tenemos una cohesión de 2.0 KN/m², por lo tanto se realizó la calibración de la cohesión y para que este talud sea estable necesita una cohesión mínima de 4.738 KN/m², este valor se muestra en la tabla “64” y en la figura “61”.

Tabla 64: Valor calibrado de la cohesión para el talud 03.

Progresiva	Material	Valor de cohesión calibrado (KN/m ²)
Km 6+500 – Km 6+520	Arena Limosa (SM)	4.738

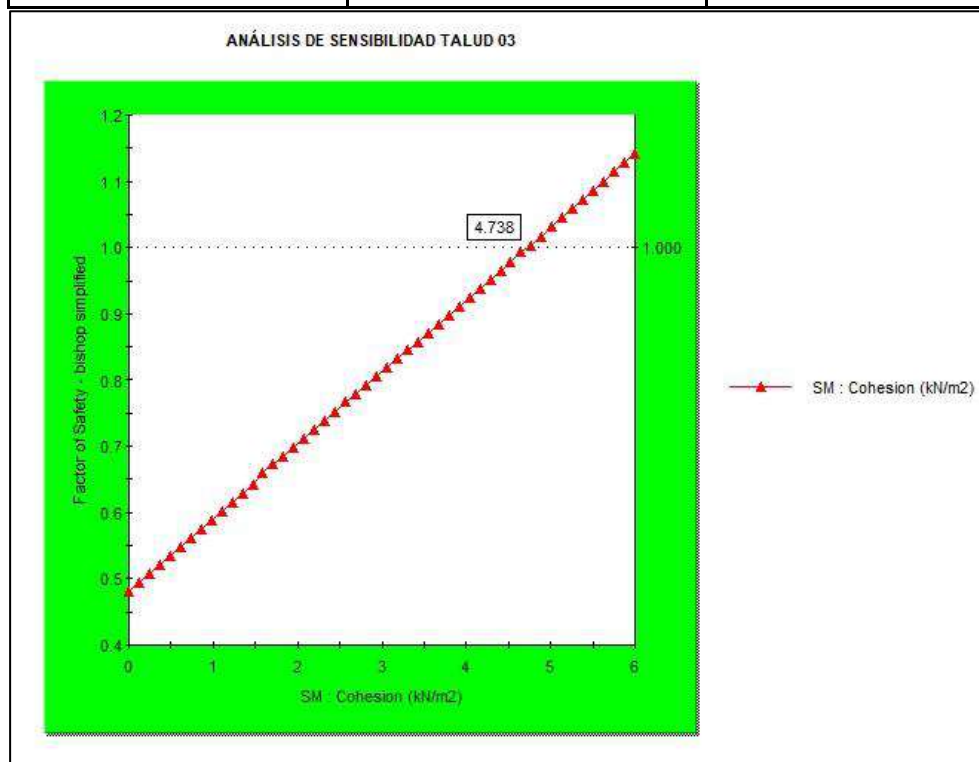


Figura 61: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 03 para que este sea estable.

TALUD 04: Para el talud 04 según los resultados de laboratorio tenemos una cohesión de 2.9 KN/m², por lo tanto se realizó la calibración de la cohesión y para que este talud sea estable necesita una cohesión mínima de 3.723 KN/m², este valor se muestra en la tabla “65” y en la figura “62”.

Tabla 65: Valor calibrado de la cohesión para el talud 04.

Progresiva	Material	Valor de cohesión calibrado (KN/m ²)
Km 6+750 – Km 6+800	Arena Limosa (SM)	3.723

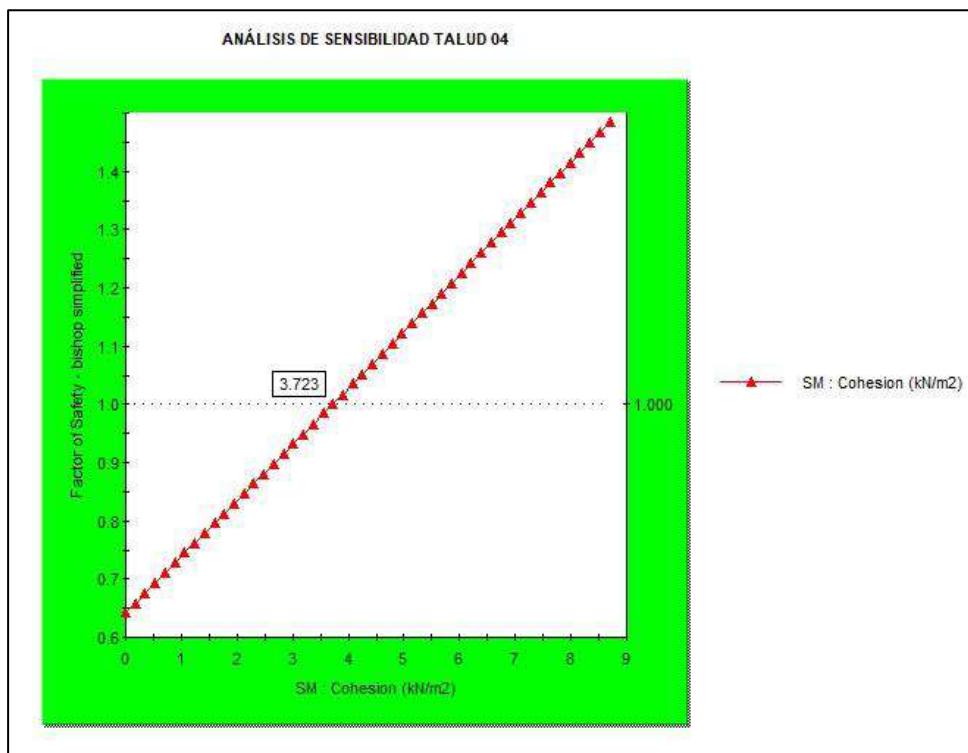


Figura 62: Análisis de sensibilidad para determinar la cohesión mínima requerida en el talud 04 para que este sea estable.

4.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para solucionar la inestabilidad de los taludes analizados se ha optado por la estabilización mediante el uso de gaviones tipo caja en algunos casos y en otros casos ha sido necesario bajar el ángulo de corte de talud, los métodos empleados algunos se muestran a continuación:

Talud 01 - Progresivas Km 1+280 – Km 1+330

SOLUCIÓN 01: Se recomienda construir gaviones de cuatro camadas a lo largo de todo este tramo para estabilizar el talud. En este caso la estructura está parcialmente sumergida y para este análisis las características mecánicas de los gaviones han sido asumidas, además el análisis de estabilidad en condiciones naturales realizado mediante el software Slide v.6 nos muestra que el factor de seguridad aumenta de 0.667 a 1.089 y por lo tanto cumple con la condición de equilibrio límite. Asimismo se ha realizado el análisis de estabilidad en condiciones pseudoestáticas, aquí el factor de seguridad aumenta de 0.520 a 0.830, lo cual nos indica que el talud en condiciones pseudoestáticas y con un refuerzo de gavión no cumple con las condiciones de equilibrio límite.

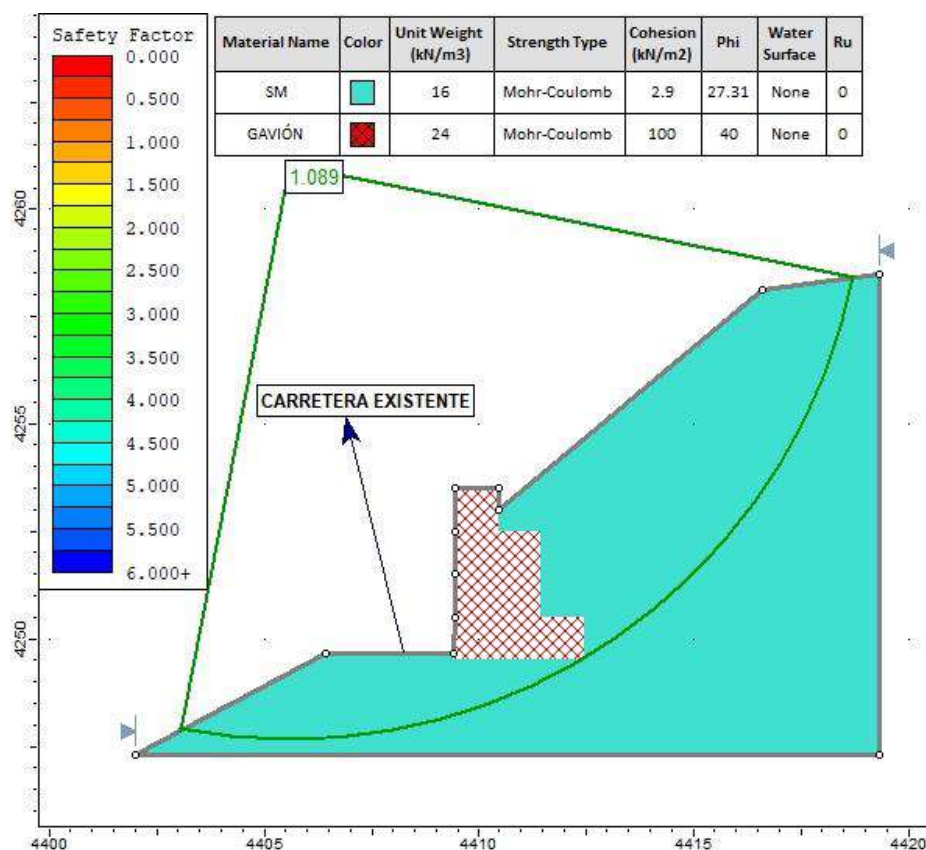


Figura 63: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 4 camadas.

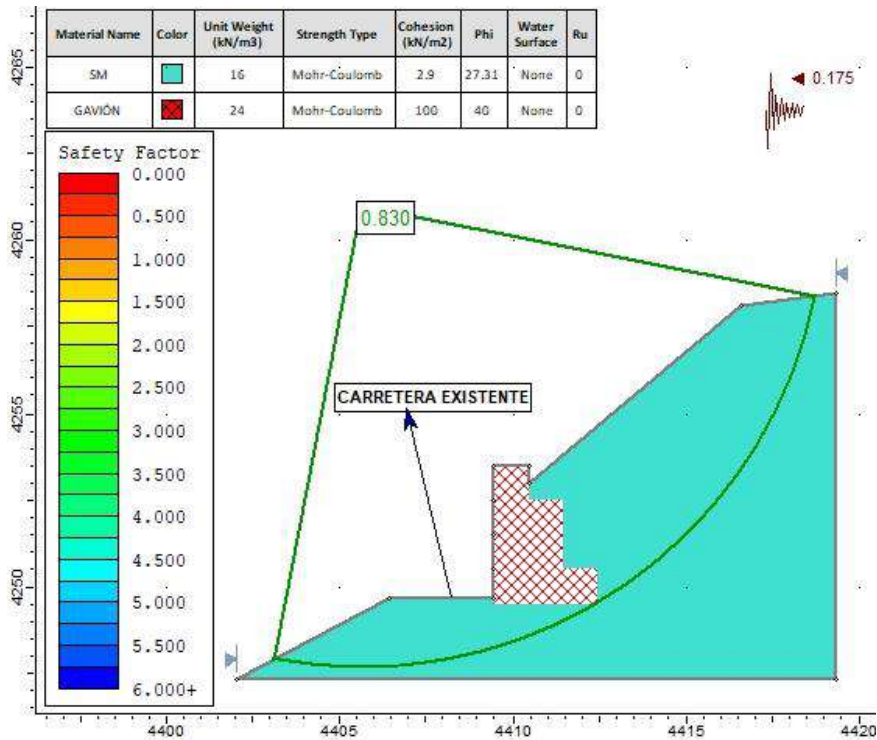


Figura 64: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 4 camadas.

SOLUCIÓN 02:

Hacer banquetas y bajar el ángulo de talud, para esto se realizará bancos de 4m de altura con un ángulo de 45° por 2m de ancho de banco como se muestra en los siguientes análisis.

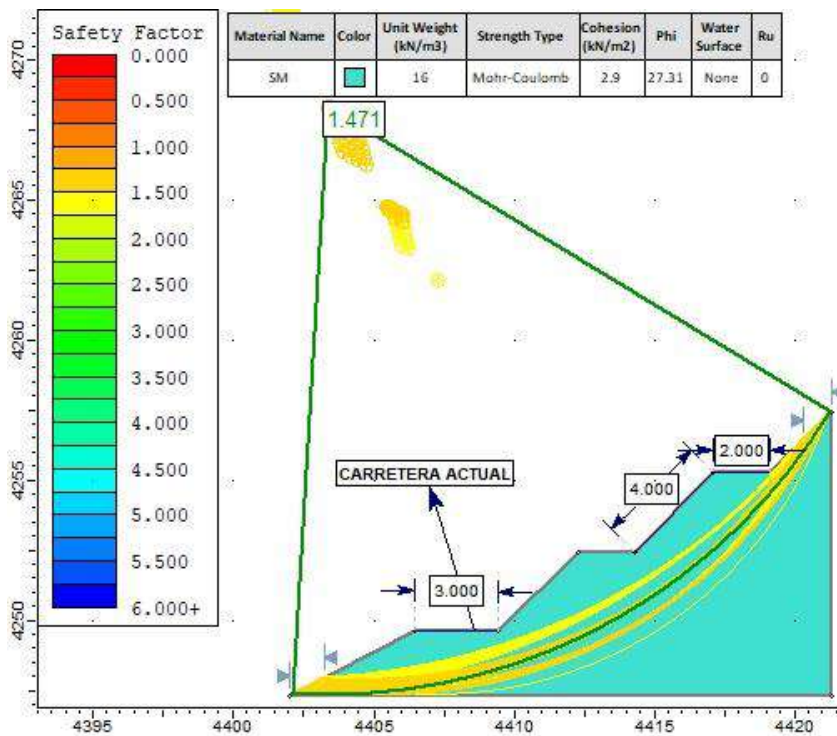


Figura 65: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, bajando el ángulo a 45°.

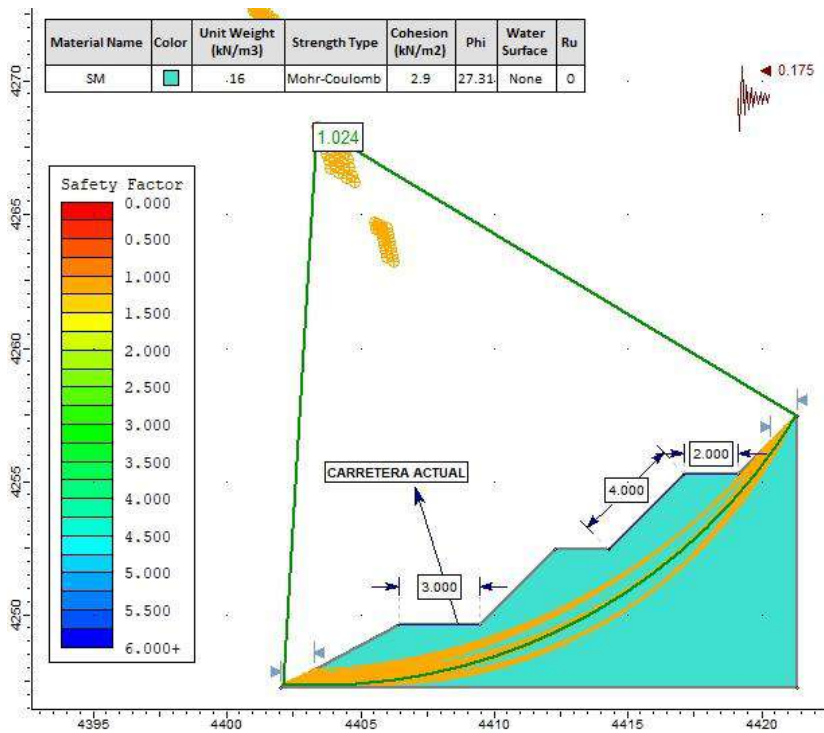


Figura 66: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, bajando el ángulo a 45°.

Talud 02 - Progresivas Km 2+100 - Km 2+130

SOLUCIÓN 01: Se recomienda construir gaviones de tres capas a lo largo de todo este tramo para estabilizar el talud. Para este análisis las características mecánicas de los gaviones han sido asumidas, además el análisis de estabilidad en condiciones naturales realizado mediante el software Slide v.6 nos muestra que el factor de seguridad aumenta de 0.980 a 1.126 y por lo tanto cumple con la condición de equilibrio límite. Asimismo se ha realizado el análisis de estabilidad en condiciones pseudoestáticas, aquí el factor de seguridad aumenta de 0.752 a 0.828, lo cual nos indica que el talud en condiciones pseudoestáticas y con un refuerzo de gavión no cumple con las condiciones de equilibrio límite.

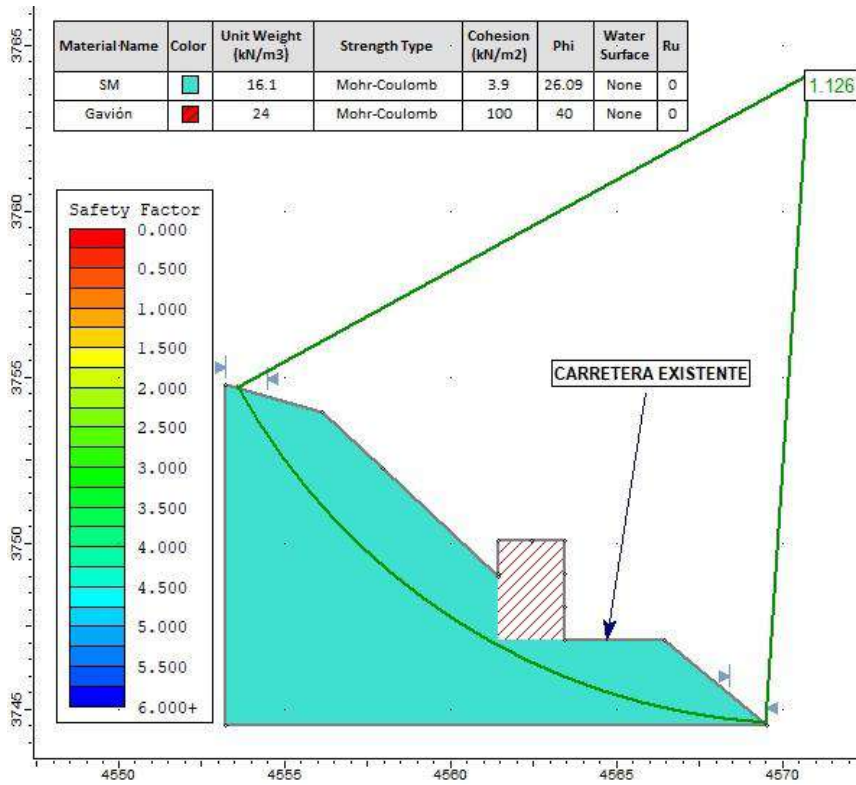


Figura 67: Se muestra el an3lisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gabi3n de 3 camadas.

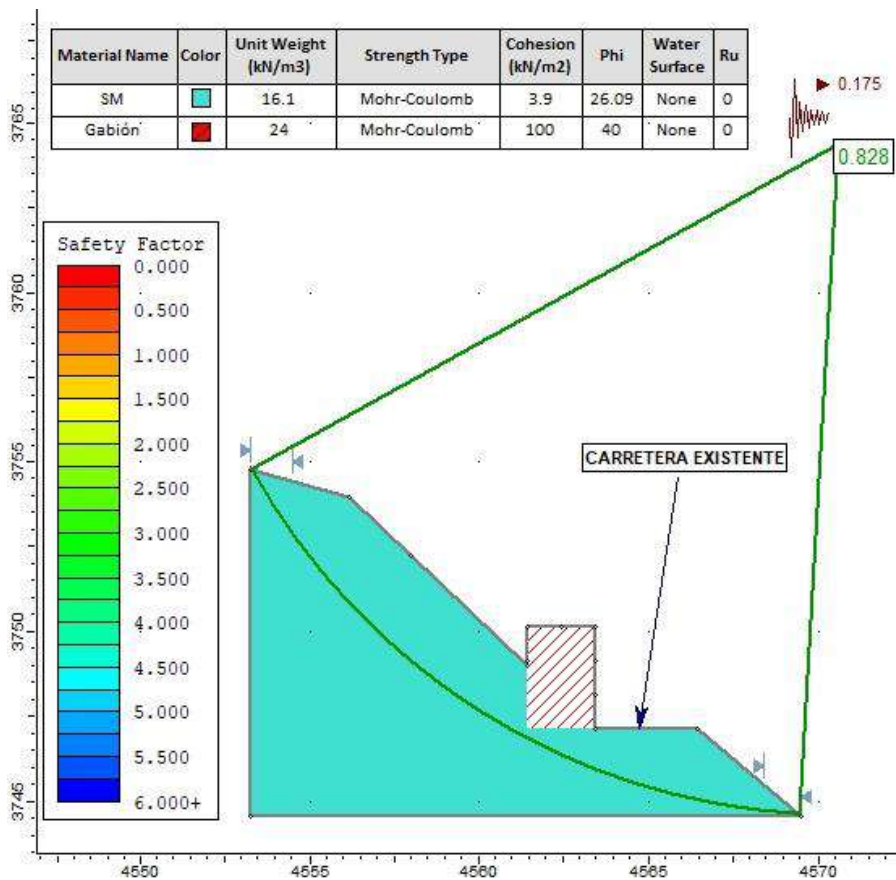


Figura 68: Se muestra el an3lisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gabi3n de 3 camadas.

SOLUCIÓN 02:

Mantener el ángulo inicial de 43° y hacer bancos de 4m de altura por 2m ancho de banco como se muestra en los siguientes análisis.

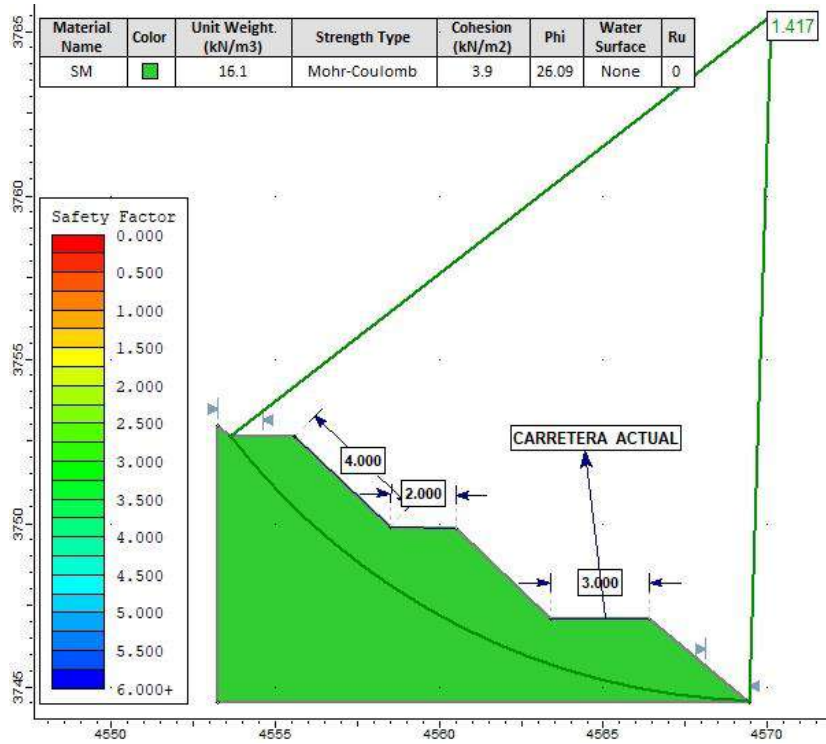


Figura 69: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, manteniendo el ángulo de 43° y realizando banquetas.

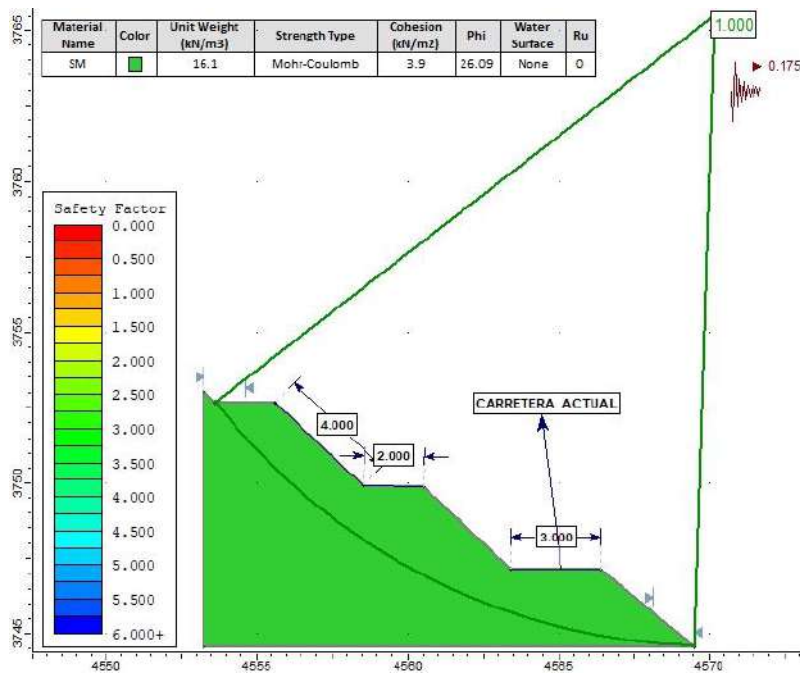


Figura 70: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, manteniendo el ángulo de 43° y realizando banquetas.

Talud 03 - Progresivas Km 6+500 – Km 6+520

SOLUCIÓN 01: Se recomienda construir gaviones de dos camadas a lo largo de todo este tramo para estabilizar el talud. Para este análisis las características mecánicas de los gaviones han sido asumidas, además el análisis de estabilidad en condiciones naturales realizado mediante el software Slide v.6 nos muestra que el factor de seguridad aumenta de 0.695 a 1.021 y por lo tanto cumple con la condición de equilibrio límite. Asimismo se ha realizado el análisis de estabilidad en condiciones pseudoestáticas, aquí el factor de seguridad aumenta de 0.542 a 0.777, lo cual nos indica que el talud en condiciones pseudoestáticas y con un refuerzo de gavión no cumple con las condiciones de equilibrio límite.

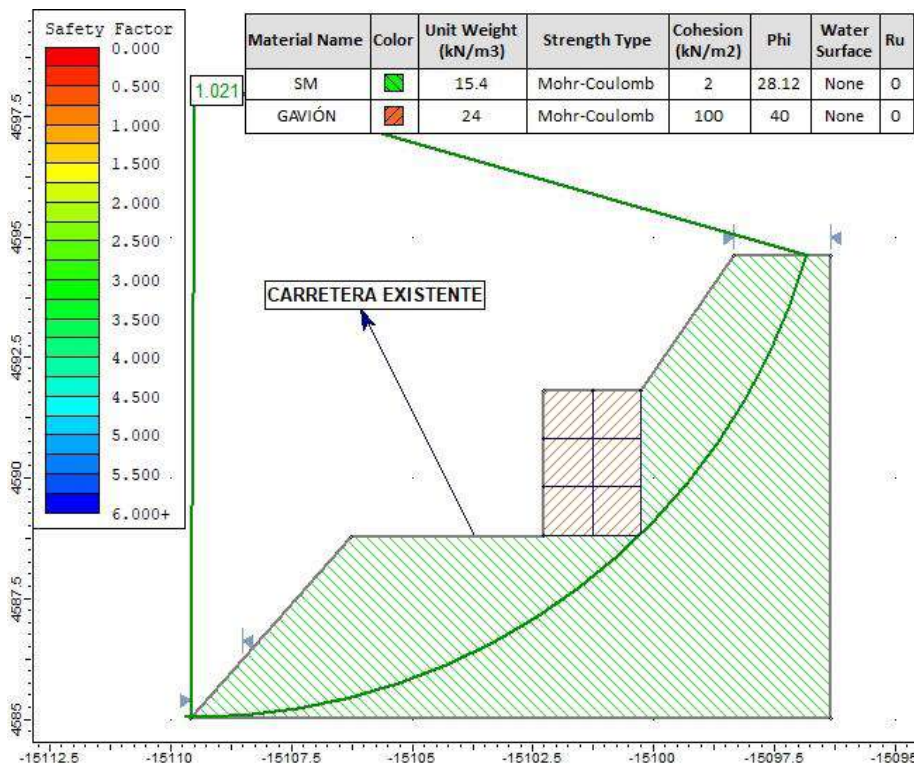


Figura 71: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.

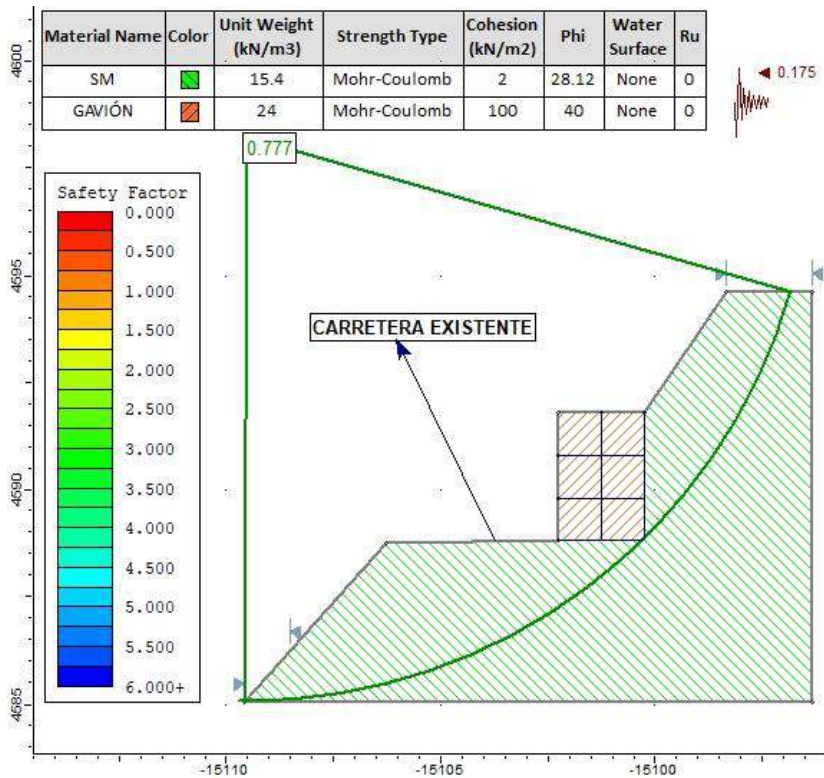


Figura 72: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.

SOLUCIÓN 02:

Hacer banquetas y bajar el ángulo de talud, para esto se realizará bancos de 3m de altura con un ángulo de 40° por 2m de ancho de banco como se muestra en los siguientes análisis.

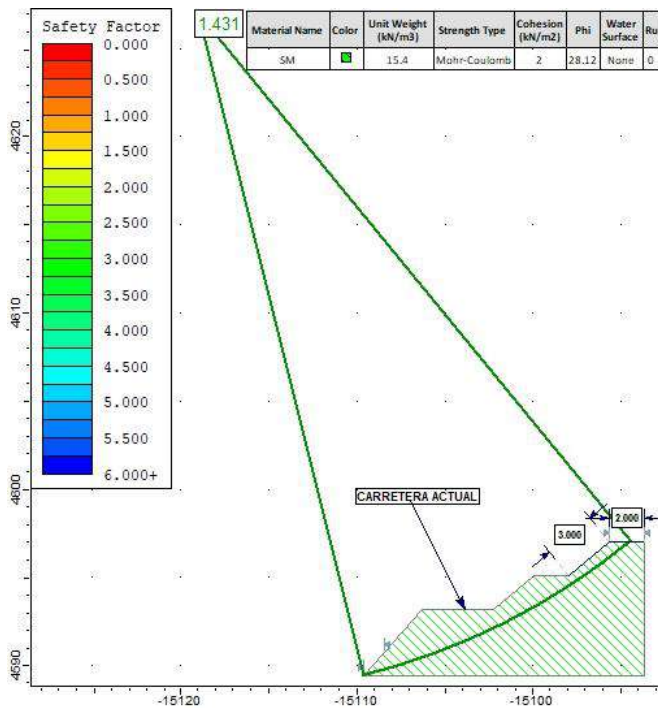


Figura 73: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, bajando el ángulo a 40° y realizando banquetas.

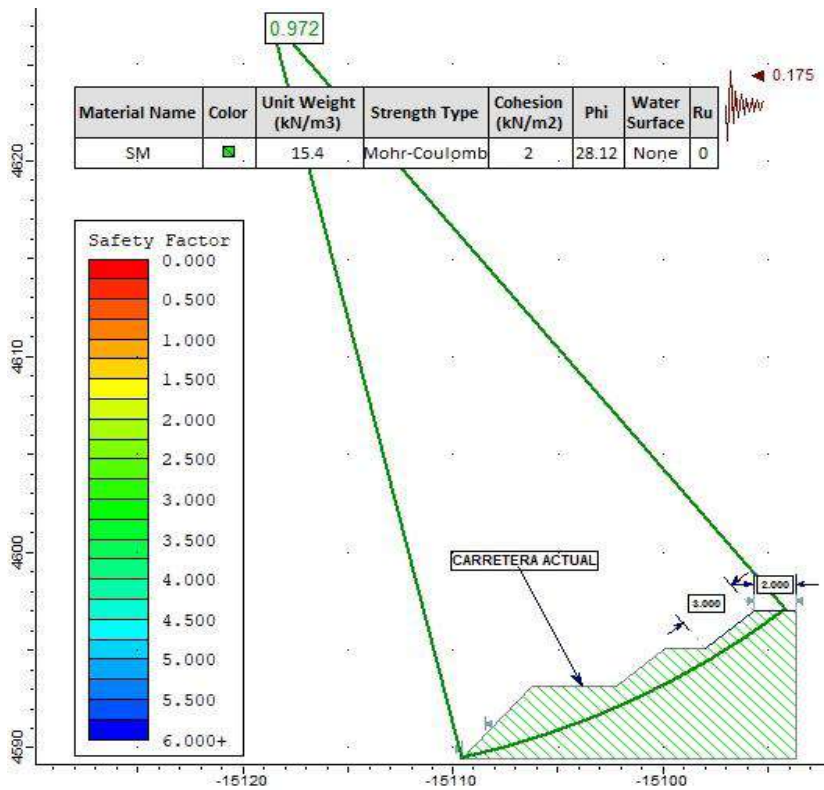


Figura 74: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, bajando el ángulo a 40° y realizando banquetas.

Talud 04 - Progresivas Km 6+750 – Km 6+800

SOLUCIÓN 01: Se recomienda construir gaviones de tres capas a lo largo de todo este tramo para estabilizar el talud. Para este análisis las características mecánicas de los gaviones han sido asumidas, además el análisis de estabilidad en condiciones naturales realizado mediante el software Slide v.6 nos muestra que el factor de seguridad aumenta de 0.915 a 1.192 y por lo tanto cumple con la condición de equilibrio límite. Asimismo se ha realizado el análisis de estabilidad en condiciones pseudoestáticas, aquí el factor de seguridad aumenta de 0.702 a 0.886, lo cual nos indica que el talud en condiciones pseudoestáticas y con un refuerzo de gavión no cumple con las condiciones de equilibrio límite.

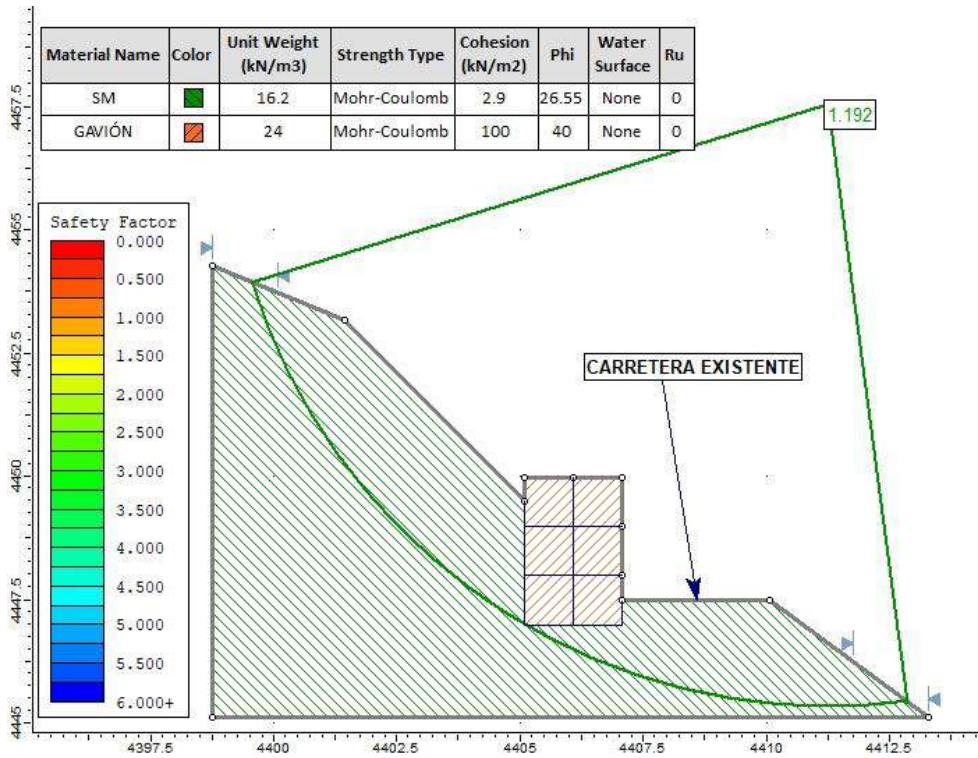


Figura 75: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.

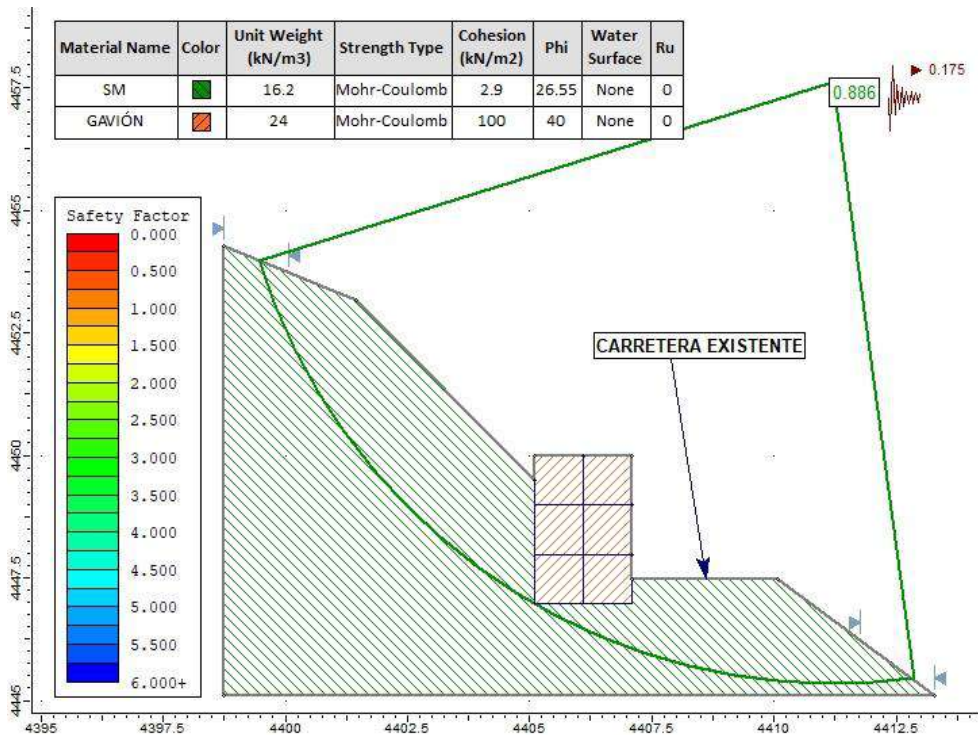


Figura 76: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, usando como refuerzo un gavión de 3 camadas.

SOLUCIÓN 02:

Mantener el ángulo de talud y realizar banquetas, para esto se realizará bancos de 3m de altura con un ángulo de 45° por 2m de ancho de banco como se muestra en los siguientes análisis.

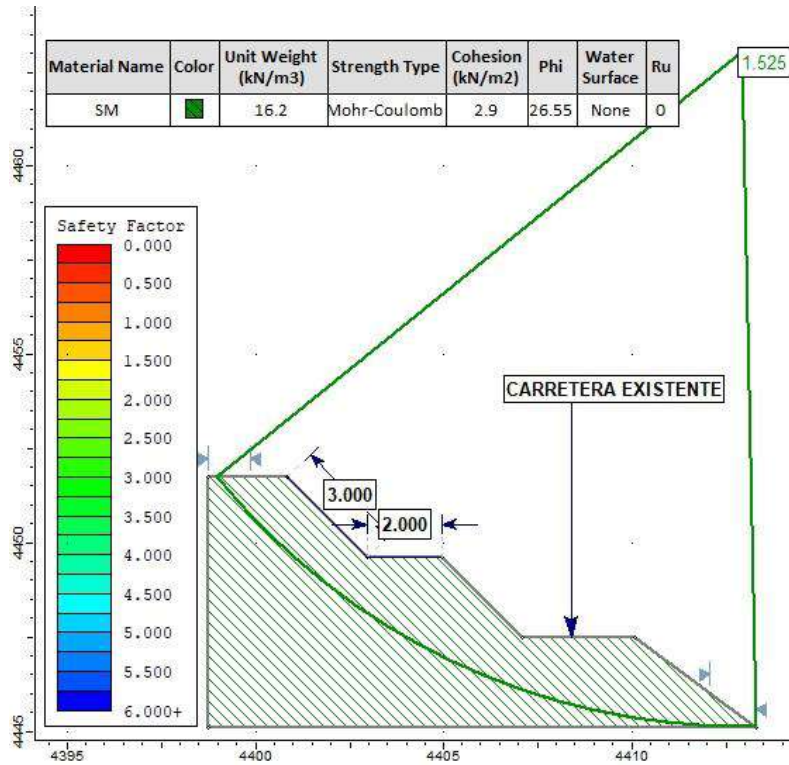


Figura 77: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones naturales, manteniendo el ángulo inicial de 45° y realizando banquetas.

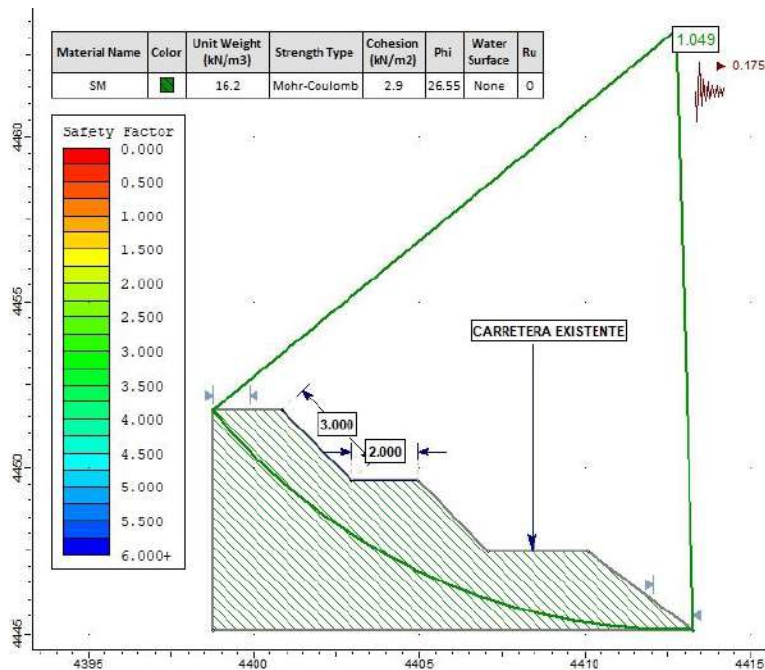


Figura 78: Se muestra el análisis slide V.6 en condiciones de sismicidad, bajando el ángulo a 40° y realizando banquetas.

4.5 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Mediante la investigación se contrastó la hipótesis, la cual afirma que el tramo de la carretera entre las Comunidades de Rambrán y Unión Casipe- Distrito de Cospán, tiene zonas críticas o inestables propensas a los fenómenos naturales, las cuales están influenciadas por factores litológicos, estructurales y la gran cantidad de precipitaciones que durante el invierno oscilan alrededor de 700mm por año (Senamhi, 2018), provocando así la inestabilidad en los taludes durante éstas épocas del año. El tramo de la carretera está compuesto por una litología muy heterogénea, con la presencia de areniscas, limolitas, arcillitas y calizas pertenecientes a las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chúlec, así como los depósitos coluviales, fluviales y aluviales, los cuales son más susceptibles a los fenómenos naturales (lluvias), durante el invierno hay sobresaturación de agua en los taludes del tramo dando origen a diferentes fenómenos de remoción de en masa.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

En el tramo afloran rocas de la Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chulec, además depósitos cuaternarios coluviales, fluviales y aluviales.

Los fenómenos de remoción en masa que se encuentran mayormente asociados a depósitos coluviales, fluviales y aluviales, los cuales se encuentran suprayaciendo algunas formaciones, estos fenómenos deben su origen a la presencia de fuertes precipitaciones 700 mm/año (Senamhi, 2018) en épocas de invierno, sobre todo en los meses de diciembre-mayo, donde las precipitaciones aumentan, produciendo una sobresaturación de los suelos.

Los principales fenómenos observados son: Deslizamientos (rotacionales y traslacionales), caída de rocas, avalancha de rocas, reptación de suelos, derrumbes, flujo de detritos, erosión de laderas.

La caracterización geomecánica RMR de las 12 estaciones geomecánicas analizadas muestra que afloramientos de la Formación Chimú, Formación Farrat, Formación Inca tienen una clasificación RMR que son del tipo II y III, lo cual corresponde a rocas de mediana a buena calidad. En el caso de afloramientos analizados en las Formaciones Santa y Carhuaz, estas tienen una clasificación del tipo IV, lo cual corresponde a rocas de mala calidad.

En el análisis SMR realizado en las 12 estaciones geomecánicas nos muestra un panorama similar, ya que este constituye un ajuste de los valores obtenidos con la clasificación RMR.

El análisis cinemático realizado con el software Dip (v5.1) con la finalidad de determinar las zonas de riesgo de falla de los taludes mediante cuatro escenarios de ruptura, se determinó que de las 12 estaciones geomecánicas la probabilidad de riesgo de falla más alta es aquella representada por la del tipo cuña con un 13.7 %, seguido de rotura tipo volteo directo con 12.20 %, rotura tipo planar con 4.74% y la rotura tipo volteo flexural con solo 1.1 % de probabilidad.

En el análisis de los 5 taludes sobre depósitos coluviales se pudo conocer que 4 de estos presentan inestabilidad ya que tienen un factor de seguridad menor a 1, estos son los taludes denominados 1, 2, 3 y 4, solo uno de estos taludes tiene un comportamiento estable (talud 5). Se calculó los Factores de Seguridad en condiciones naturales, saturación parcial y pseudoestáticas, como se muestra en la Tabla N° 74.

Se ha realizado un análisis para estabilizar los taludes más críticos 1, 2, 3 y 4, para lo cual se realizó una simulación con el software Slide V.6, proponiendo estabilización mediante la construcción de muros de gaviones y construcción de banquetas bajando el ángulo de corte de talud, se pudo concluir que el método más adecuado en todos los tramos es la construcción de banquetas bajando el ángulo de corte de talud, ya que la construcción de muros de gaviones resulta más costosa y poco efectiva si la finalidad es obtener un factor de seguridad que cumpla con las condiciones de equilibrio límite.

5.2 RECOMENDACIONES.

Las instituciones interesadas (Ingemmet, Municipalidad distrital de Cospán y autoridades locales) deben realizar un monitoreo permanente de todo el tramo sobre todo en la época de mayores precipitaciones (Diciembre - Mayo), con la finalidad de conocer el comportamiento geotécnico durante estas épocas.

En caso se requiera profundizar la investigación se deben realizar ensayos más puntuales (Triaxiales) en los tramos donde hay afloramientos rocosos con la finalidad de conocer sus propiedades geomecánicas.

La entidad encargada del mantenimiento del tramo (Municipalidad distrital de Cospán) debe estabilizar los depósitos coluviales, mediante la compactación y construcción de banquetas bajando el ángulo de corte de talud.

La población aledaña debe reforestar las laderas con plantas nativas, con la finalidad de disminuir la erosión.

Ingemmet debe capacitar a la población para que sepa identificar y actuar ante los peligros geológicos en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, I. 2014. "Desprendimiento de rocas en laderas una guía para la evaluación del riesgo en vías". Tesis de Maestría en Ingeniería Universidad EAFIT. Medellín-Colombia. 199 p.
- Castillo, D. 2017. "Análisis de la estabilidad de macizos rocosos mediante el uso de SIG y su aplicación al sector Lucarqui (Loja, Ecuador)". Tesis de Maestría Universidad Técnica Particular de Loja. Loja – Ecuador. 98p.
- Dorrío, J. 2002. "Caracterización geomecánica de taludes en roca ubicados en la carretera panamericana en el tramo Caracas - San Antonio de los Altos". Tesis de pregrado Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela. 140p.
- Gavilanes, H., & Andrade, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles. Quito-Ecuador: AIME.
- Gemma. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas 1ra. Edición. Toronto, Canadá: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid-España. Editorial, Pearson Educación S. A.
- Hock, E. y Bray, J. 1981. Rock slopes engineering: Institution of Mining and Metallurgy. Londres.
- Hudson, J. & Harrison, J. 1997 Engineering rock mechanics an introduction to the principles. Pergamon.
- Mendoza, A. 2016. "Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina antapaccay". Tesis de pregrado Pontificia Universidad Católica del Perú. 78p.
- Paredes, R. 2016. "Evaluación Geológico-Geodinámica de la Carretera de Ingreso a la Central Hidroeléctrica Potrero-San Marcos". Tesis de pregrado Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú. 184p.
- Pimentel, F. 2011. "Retroanálisis para la determinación de los coeficientes de restitución de gneis y depósitos de talud". Instituto de geociencias, Universidad Federal de Río de Janeiro. 48p.
- Reyes L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, y Cajabamba Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).


- Riquelme, Tomás y Abellán 2014.” SMRTool beta1.10 – a calculator for computing Slope Mass Rating (SMR) “. Department of Civil Engineering of the University of Alicante, Spain.
- Romana, M., Serón J, & Montalar.E. 2001. La clasificación geomecánica SMR: aplicación, experiencias y validación. Madrid,España.
- Suárez, J. 2007. Deslizamientos - Análisis Geotécnico. Colombia: U. Industrial de Santander.
- Tarback, E & Lutgens, F. 2005. Ciencias de la Tierra. Madrid-España. Editorial, Pearson Educación S.A.
- Zavala, B., & Barrantes, R. 2007. Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la región Cajamarca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.
- Zavala, B., & Rosado, M. 2011. Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. 2005. Rock Slope Engineering : Civil and Mining. Nueva York: Spon Press. 4th ed.

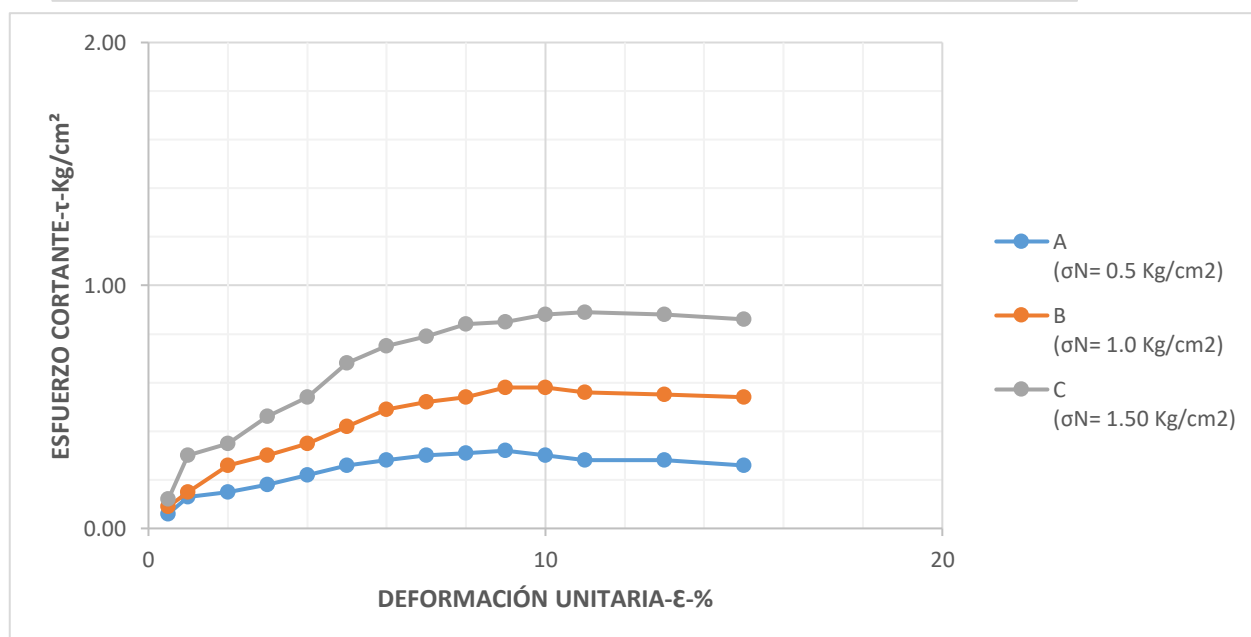
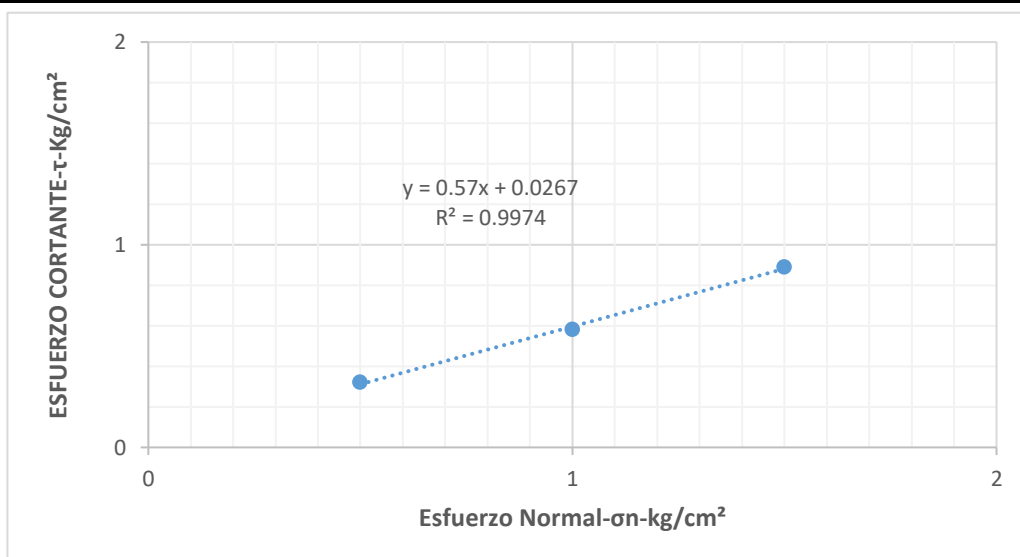
ANEXOS

A. ANÁLISIS DE LABORATORIO DE SUELOS.

B. PLANOS

- PLANO DE UBICACIÓN 01.
- PLANO GEOMORFOLÓGICO 02.
- PLANO GEOLÓGICO 03.
- PLANO GEOTÉCNICO RMR 04.
- PLANO GEOTÉCNICO SMR 05.
- PLANO DE PELIGROS 06.

SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JAVIER ESCALONA HERNÁNDEZ
		Fecha	10/10/2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-1		
Ángulo de Fricción Interna de Suelo :		28.12 °	 CARLOS ARMANDO CHERRES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services EIRL.
Cohesión Aparente del Suelo :		0.02 kg/cm²	
Densidad Seca Promedion(Yd<N° 4) :		1.57 gr/cm³	
Humedad Natural(%):		3.91%	



SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JEH
		Fecha	San Isidro, 10 de octubre de 2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-1		

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	A	B	C
Lado(cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura(cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.570	1.570	1.570
Humedad Inicial (%)	:	3.91	3.91	3.91
Esfuerzo Normal (Kg/cm³)	:	0.50	1.00	1.50

A ($\sigma_N = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$)		B ($\sigma_N = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$)		C ($\sigma_N = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$)	
Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria(E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
0.5	0.06	0.5	0.09	0.5	0.12
1.0	0.13	1.0	0.15	1.0	0.30
2.0	0.15	2.0	0.26	2.0	0.35
3.0	0.18	3.0	0.30	3.0	0.46
4.0	0.22	4.0	0.35	4.0	0.54
5.0	0.26	5.0	0.42	5.0	0.68
6.0	0.28	6.0	0.49	6.0	0.75
7.0	0.30	7.0	0.52	7.0	0.79
8.0	0.31	8.0	0.54	8.0	0.84
9.0	0.32	9.0	0.58	9.0	0.85
10.0	0.30	10.0	0.58	10.0	0.88
11.0	0.28	11.0	0.56	11.0	0.89
13.0	0.28	13.0	0.55	13.0	0.88
15.0	0.26	15.0	0.54	15.0	0.86

Ángulo de Fricción Interna del Suelo (°)

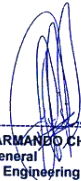
28.12

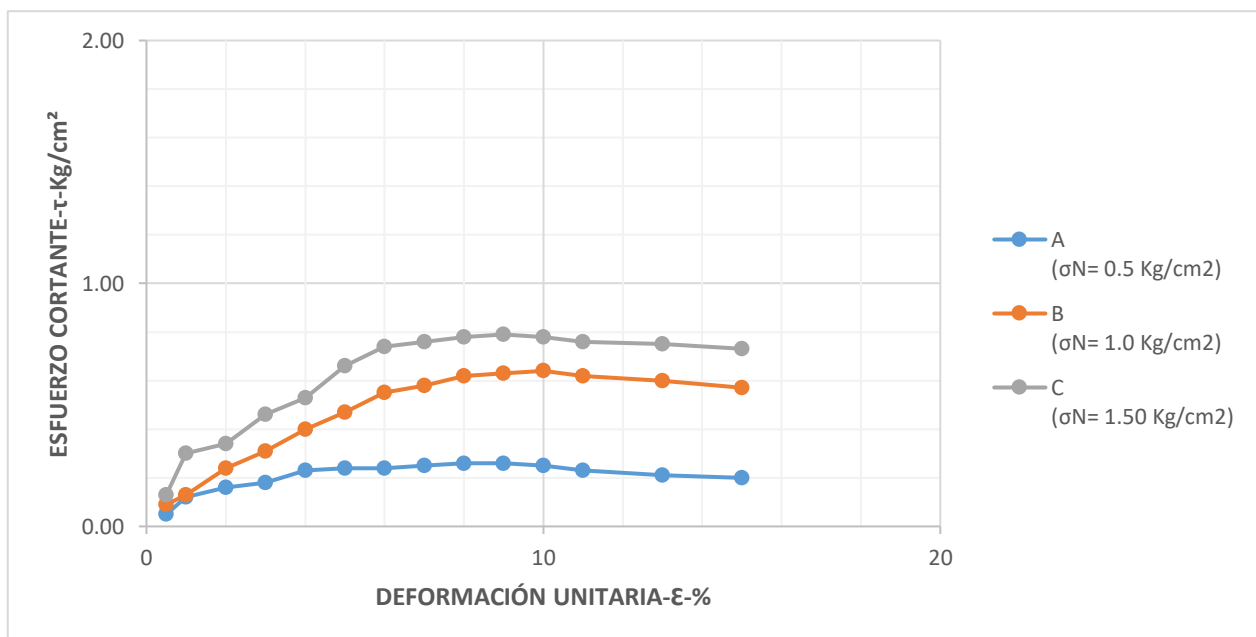
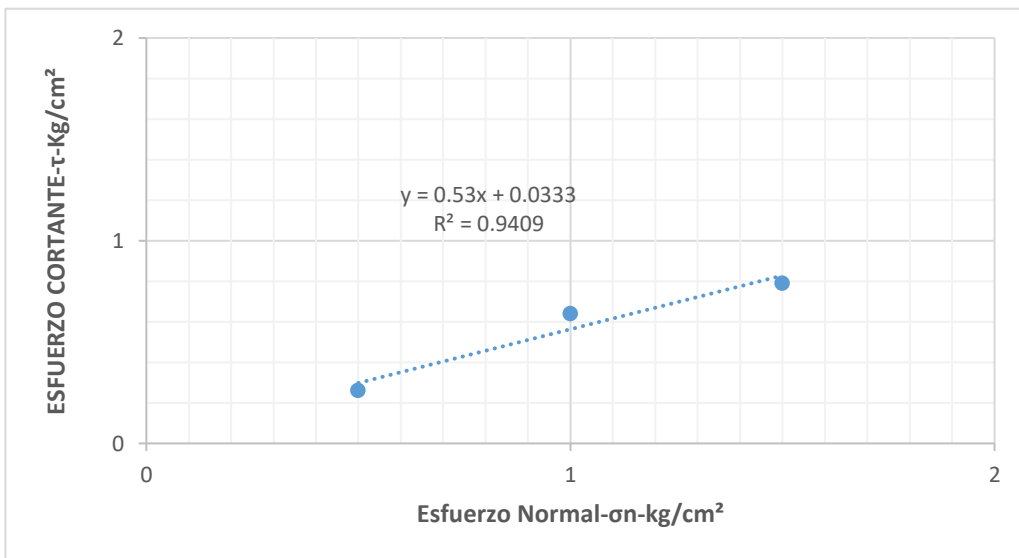
Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²)

0.02



 CARLOS ARMANDO CHERES Y.
 Gerente General
 GeoRocks Engineering Services EIRL.

SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JAVIER ESCALONA HERNÁNDEZ
		Fecha	10/10/2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-2		
Ángulo de Fricción Interna de Suelo :		27.31 °	 CARLOS ARMANDO CHERES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services EIRL.
Cohesión Aparente del Suelo :		0.03 kg/cm²	
Densidad Seca Promedion(Yd<N° 4) :		1.63 gr/cm³	
Humedad Natural(%):		5.18%	




SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JEH
		Fecha	San Isidro, 10 de octubre de 2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-2		


ENSAYO DE CORTE DIRECTO

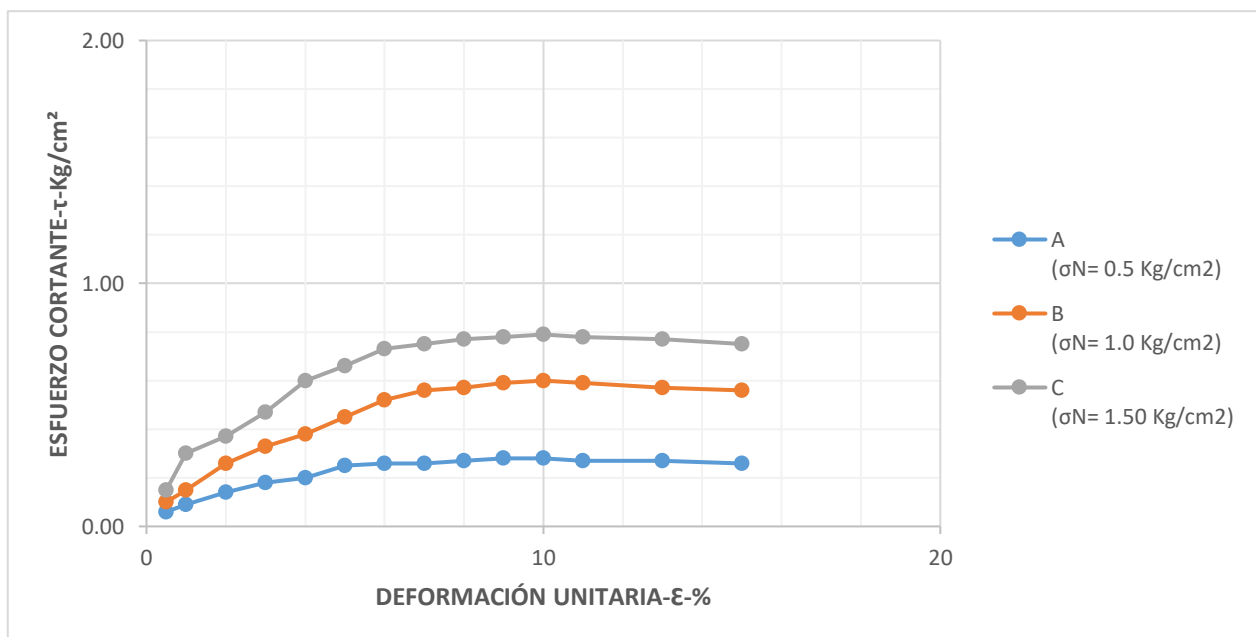
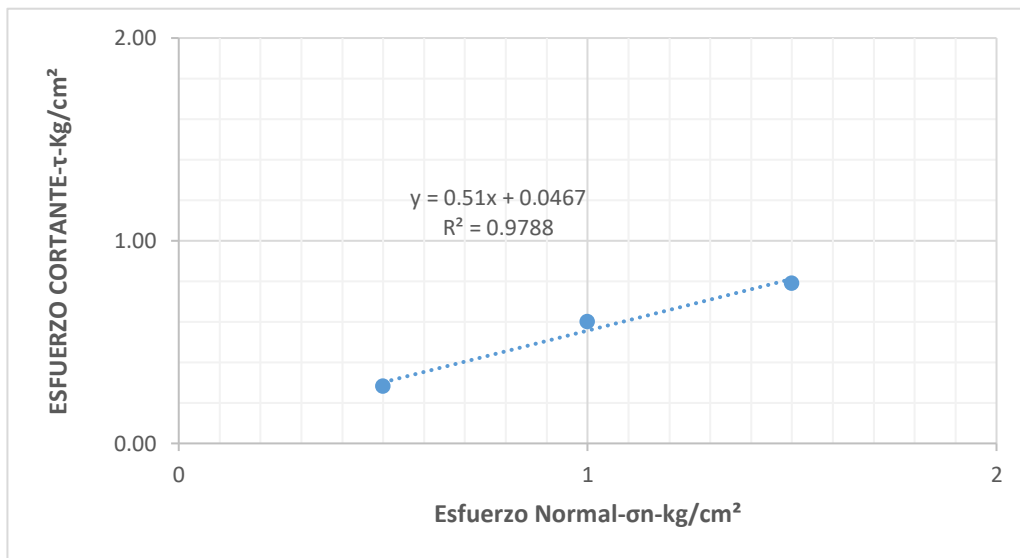
Especimen	:	A	B	C
Lado(cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura(cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.630	1.630	1.630
Humedad Inicial (%)	:	5.18	5.18	5.18
Esfuerzo Normal (Kg/cm³)	:	0.50	1.00	1.50

A ($\sigma_N = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$)		B ($\sigma_N = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$)		C ($\sigma_N = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$)	
Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria(E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
0.5	0.05	0.5	0.09	0.5	0.13
1.0	0.12	1.0	0.13	1.0	0.30
2.0	0.16	2.0	0.24	2.0	0.34
3.0	0.18	3.0	0.31	3.0	0.46
4.0	0.23	4.0	0.40	4.0	0.53
5.0	0.24	5.0	0.47	5.0	0.66
6.0	0.24	6.0	0.55	6.0	0.74
7.0	0.25	7.0	0.58	7.0	0.76
8.0	0.26	8.0	0.62	8.0	0.78
9.0	0.26	9.0	0.63	9.0	0.79
10.0	0.25	10.0	0.64	10.0	0.78
11.0	0.23	11.0	0.62	11.0	0.76
13.0	0.21	13.0	0.60	13.0	0.75
15.0	0.20	15.0	0.57	15.0	0.73

Ángulo de Fricción Interna del Suelo (°)
27.31
Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²)
0.03


CARLOS ARMANDO CHERES Y.
Gerente General
GeoRocks Engineering Services EIRL.

SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JAVIER ESCALONA HERNÁNDEZ
		Fecha	10/10/2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-3		
Ángulo de Fricción Interna de Suelo :		26.09 °	 CARLOS ARMANDO CHERRES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services EIRL.
Cohesión Aparente del Suelo :		0.04 kg/cm²	
Densidad Seca Promedion(Yd<N° 4) :		1.64 gr/cm³	
Humedad Natural(%):		5.78%	



SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JEH
		Fecha	San Isidro, 10 de octubre de 2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-3		

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	A	B	C
Lado(cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura(cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.640	1.640	1.640
Humedad Inicial (%)	:	5.78	5.78	5.78
Esfuerzo Normal (Kg/cm³)	:	0.50	1.00	1.50


A ($\sigma_N = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$)		B ($\sigma_N = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$)		C ($\sigma_N = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$)	
Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria(E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
0.5	0.06	0.5	0.10	0.5	0.15
1.0	0.09	1.0	0.15	1.0	0.30
2.0	0.14	2.0	0.26	2.0	0.37
3.0	0.18	3.0	0.33	3.0	0.47
4.0	0.20	4.0	0.38	4.0	0.60
5.0	0.25	5.0	0.45	5.0	0.66
6.0	0.26	6.0	0.52	6.0	0.73
7.0	0.26	7.0	0.56	7.0	0.75
8.0	0.27	8.0	0.57	8.0	0.77
9.0	0.28	9.0	0.59	9.0	0.78
10.0	0.28	10.0	0.60	10.0	0.79
11.0	0.27	11.0	0.59	11.0	0.78
13.0	0.27	13.0	0.57	13.0	0.77
15.0	0.26	15.0	0.56	15.0	0.75

Ángulo de Fricción Interna del Suelo (°)


26.09

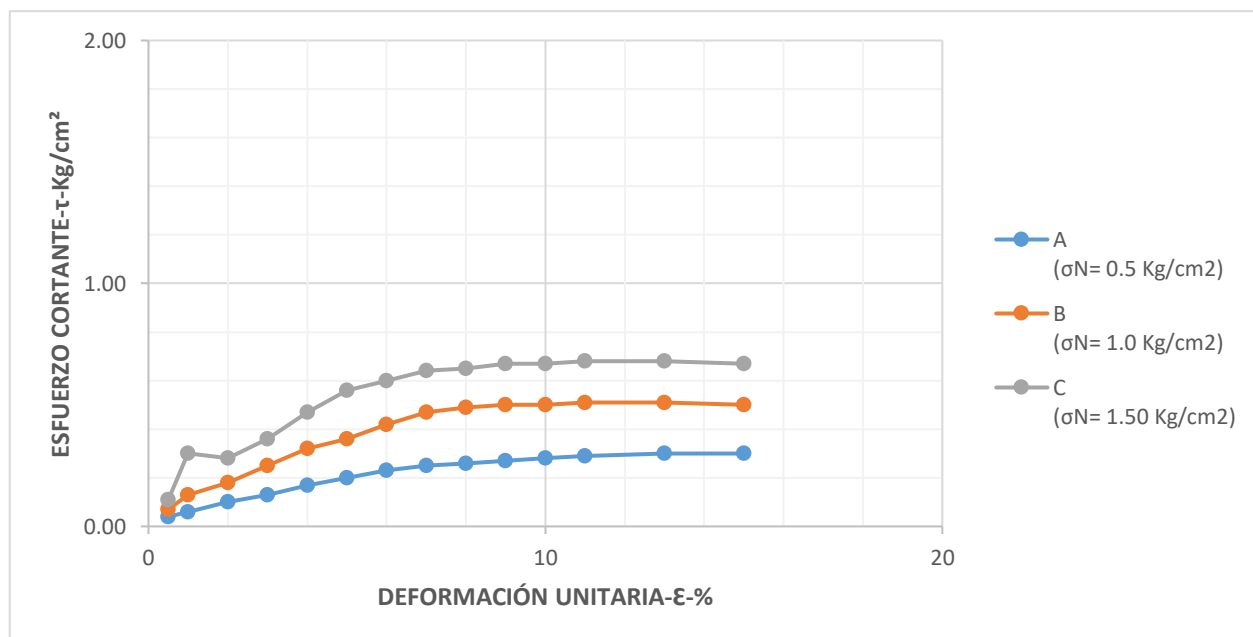
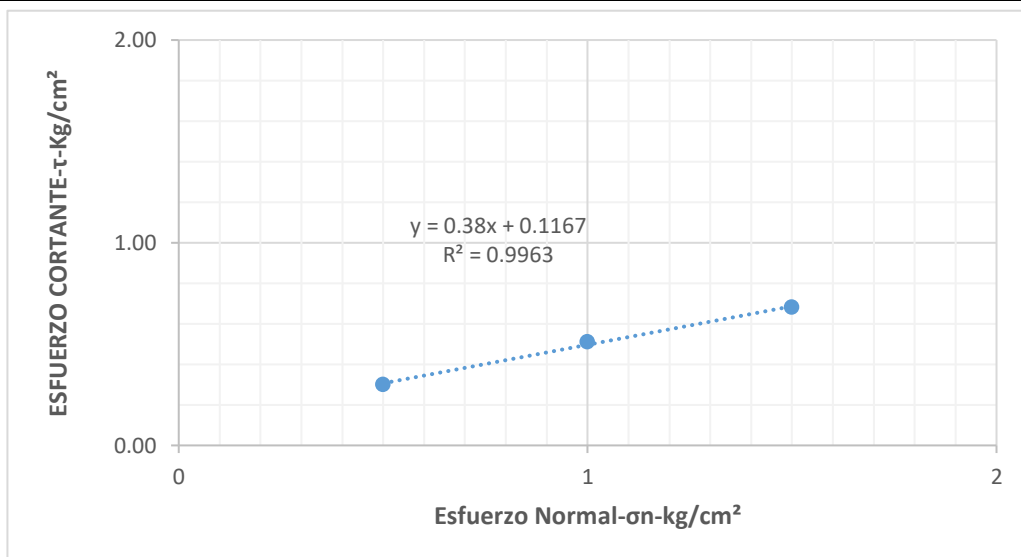
Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²)

0.04



CARLOS ARMANDO CHERES Y.
Gerente General
GeoRocks Engineering Services EIRL.

SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JAVIER ESCALONA HERNÁNDEZ
		Fecha	10/10/2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-4		
Ángulo de Fricción Interna de Suelo :		21.17 °	 CARLOS ARMANDO CHERRES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services EIRL.
Cohesión Aparente del Suelo :		0.12 kg/cm²	
Densidad Seca Promedion(Yd<N° 4) :		1.59 gr/cm³	
Humedad Natural(%):		11.73%	




SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	San Isidro, 10 de octubre de 2019
		Fecha	
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-4		


ENSAYO DE CORTE DIRECTO

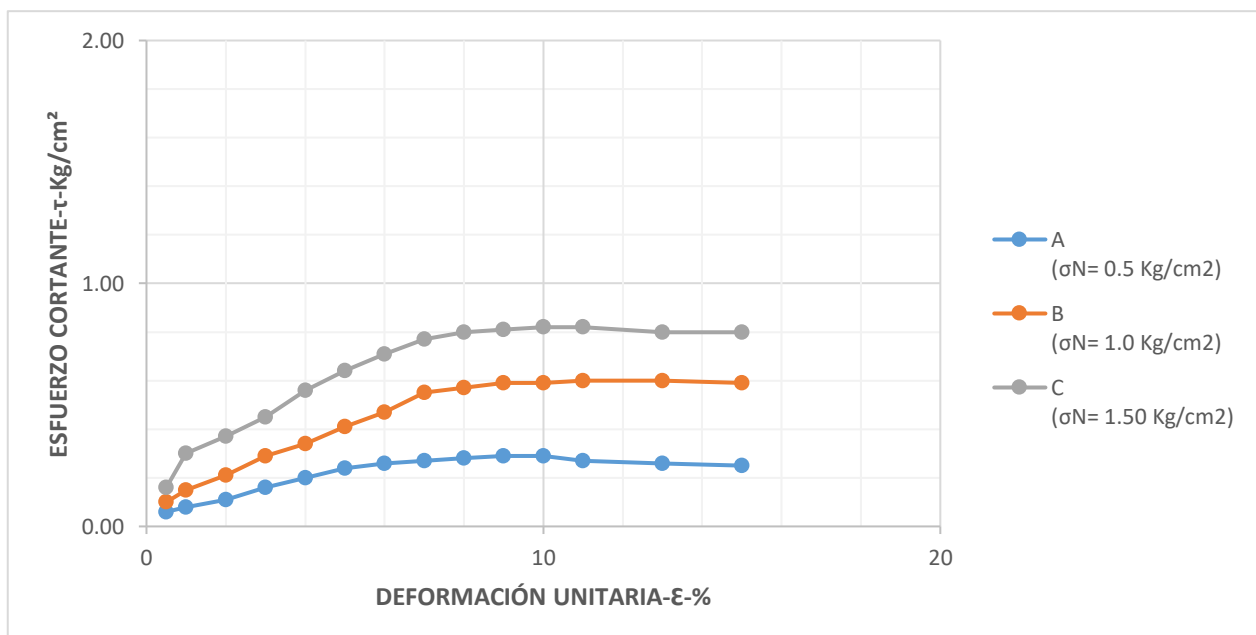
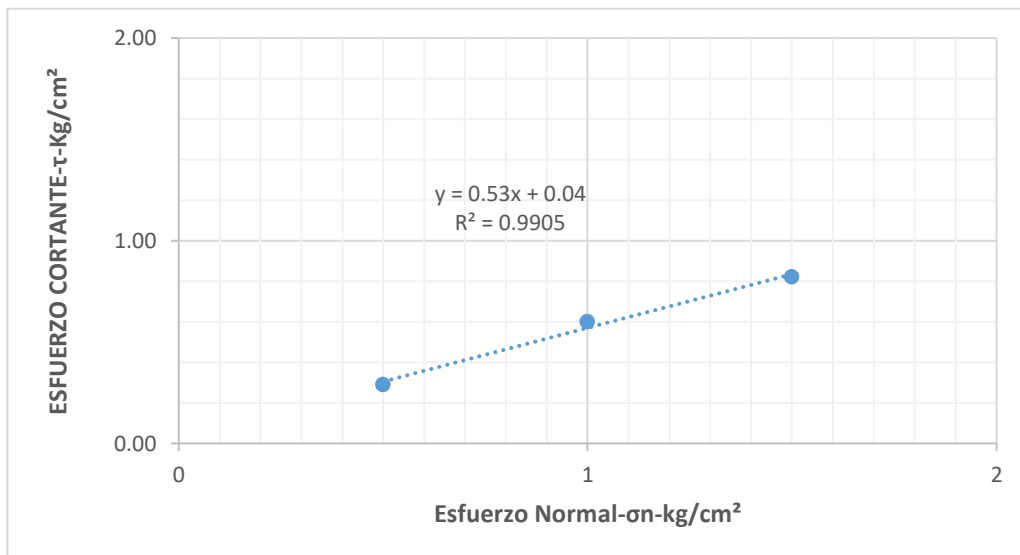
Especimen	:	A	B	C
Lado(cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura(cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.590	1.590	1.590
Humedad Inicial (%)	:	11.73	11.73	11.73
Esfuerzo Normal (Kg/cm³)	:	0.50	1.00	1.50

A ($\sigma_N = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$)		B ($\sigma_N = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$)		C ($\sigma_N = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$)	
Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria(E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
0.5	0.04	0.5	0.07	0.5	0.11
1.0	0.06	1.0	0.13	1.0	0.30
2.0	0.10	2.0	0.18	2.0	0.28
3.0	0.13	3.0	0.25	3.0	0.36
4.0	0.17	4.0	0.32	4.0	0.47
5.0	0.20	5.0	0.36	5.0	0.56
6.0	0.23	6.0	0.42	6.0	0.60
7.0	0.25	7.0	0.47	7.0	0.64
8.0	0.26	8.0	0.49	8.0	0.65
9.0	0.27	9.0	0.50	9.0	0.67
10.0	0.28	10.0	0.50	10.0	0.67
11.0	0.29	11.0	0.51	11.0	0.68
13.0	0.30	13.0	0.51	13.0	0.68
15.0	0.30	15.0	0.50	15.0	0.67

Ángulo de Fricción Interna del Suelo (°) 21.17
Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²) 0.12


 CARLOS ARMANDO CHERRES Y.
 Gerente General
 GeoRocks Engineering Services EIRL.

SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JAVIER ESCALONA HENÁNDEZ
		Fecha	10/10/2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-5		
Ángulo de Fricción Interna de Suelo :		26.55 °	 CARLOS ARMANDO CHERRES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services EIRL.
Cohesión Aparente del Suelo :		0.03 kg/cm²	
Densidad Seca Promedion(Yd<N° 4) :		1.65 gr/cm³	
Humedad Natural(%):		5.81%	



SOLICITANTE:	Eduard Gálvez Mejía	Tec. Resp:	JEH
		Fecha	San Isidro, 10 de octubre de 2019
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
UBICACIÓN:	Cospán, Cajamarca		
MUESTRA:	M-5		

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	A	B	C
Lado(cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura(cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca (gr/cm³)	:	1.650	1.650	1.650
Humedad Inicial (%)	:	5.81	5.81	5.81
Esfuerzo Normal (Kg/cm³)	:	0.50	1.00	1.50

A ($\sigma_N = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$)		B ($\sigma_N = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$)		C ($\sigma_N = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$)	
Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria(E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deform. Unitaria (E-%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
0.5	0.06	0.5	0.10	0.5	0.16
1.0	0.08	1.0	0.15	1.0	0.30
2.0	0.11	2.0	0.21	2.0	0.37
3.0	0.16	3.0	0.29	3.0	0.45
4.0	0.20	4.0	0.34	4.0	0.56
5.0	0.24	5.0	0.41	5.0	0.64
6.0	0.26	6.0	0.47	6.0	0.71
7.0	0.27	7.0	0.55	7.0	0.77
8.0	0.28	8.0	0.57	8.0	0.80
9.0	0.29	9.0	0.59	9.0	0.81
10.0	0.29	10.0	0.59	10.0	0.82
11.0	0.27	11.0	0.60	11.0	0.82
13.0	0.26	13.0	0.60	13.0	0.80
15.0	0.25	15.0	0.59	15.0	0.80

Ángulo de Fricción Interna del Suelo (°) 26.55
Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²) 0.03


 CARLOS ARMANDO CHERES Y.
 Gerente General
 GeoRocks Engineering Services EIRL.

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

SOLICITANTE : Eduard Gálvez Mejía

TEC.RESPONSABLE:

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

FECHA: 10/10/2019

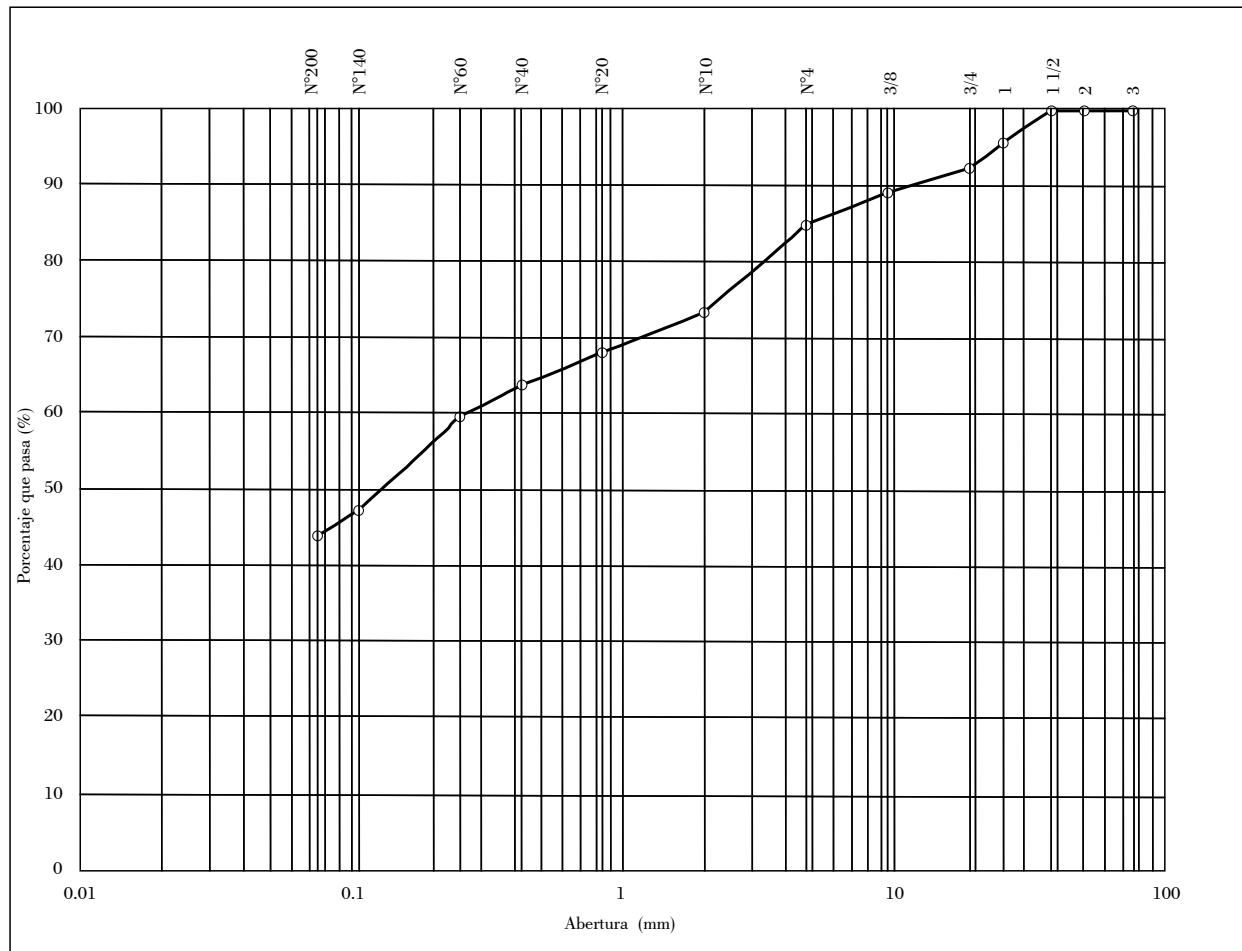
DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA: M-1

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422 / NTP 339.128)					LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 427 / D 4318)	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO		
3"	76.200	100.00	0.00	0.00	Contenido de Humedad (%) : -	
2"	50.800	100.00	0.00	0.00	Límite Líquido (%):	33.18
1 1/2"	38.100	100.00	0.00	0.00	Límite Plástico (%):	23.71
1"	25.400	95.68	4.32	4.32	Índice Plástico (%):	7.69
3/4"	19.050	92.35	3.33	7.65	Clasificación (SUCS):	SM
3/8"	9.500	89.03	3.33	10.97	Cu:	-
Nº4	4.750	84.71	4.32	15.29	Cc:	-
Nº10	2.000	73.38	11.33	26.62	Clasificación (AASHTO):	-
Nº20	0.840	68.06	5.32	31.94	Índice de Grupo:	-
Nº40	0.425	63.74	4.32	36.26	RESULTADOS : ASTM - D 2487 / 3282	
Nº60	0.250	59.41	4.33	40.59		
Nº140	0.106	47.09	12.32	52.91		
Nº200	0.075	43.76	3.33	56.24	Crava 3'' - Nº4:	15.29 %
					Arena Nº4-Nº200:	40.95 %
					Fino < Nº200:	43.76 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS: BALANZA MARCA OHAUS CAP. 27000 g

Calle Fray Martín de Porres 142
San Isidro - Lima
carlos_armando29@hotmail.com




CARLOS ARMANDO CHERRES Y.
Gerente General
GeoRocks Engineering Services E.I.R.L.

FECHA: 10/10/2019

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

SOLICITANTE : Eduard Gálvez Mejía

TEC.RESPONSABLE: **UBICACIÓN:** Cospán- Cajamarca **FECHA:** 10/10/2019

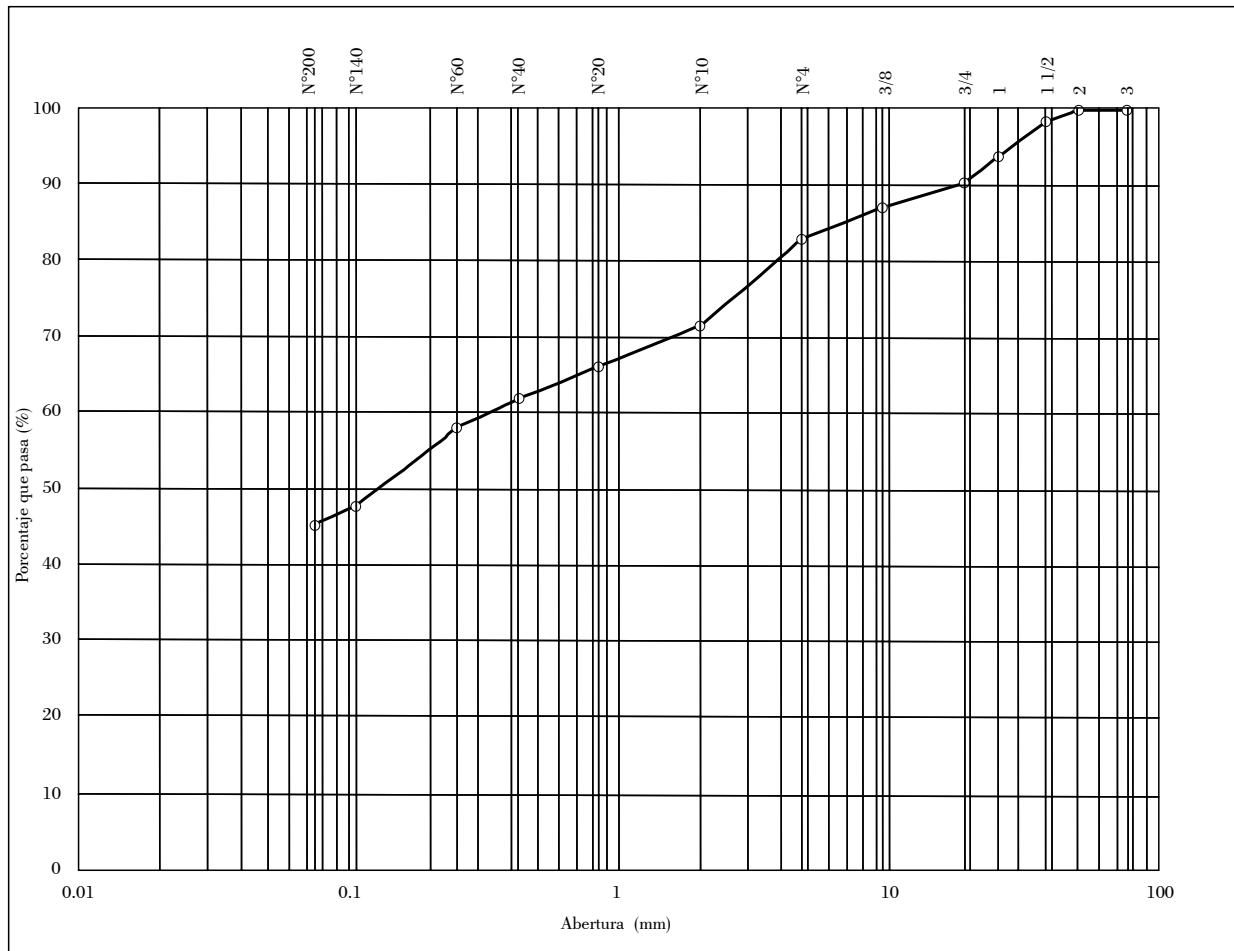
DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA: M-2

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422 / NTP 339.128)					LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 427 / D 4318)	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO		
3"	76.200	100.00	0.00	0.00	Contenido de Humedad (%) : -	
2"	50.800	100.00	0.00	0.00	Límite Líquido (%):	27.64
1 1/2"	38.100	98.38	1.62	1.62	Límite Plástico (%):	20.52
1"	25.400	95.68	4.51	6.13	Índice Plástico (%):	4.08
3/4"	19.050	90.51	3.36	9.49	Clasificación (SUCS):	SM
3/8"	9.500	87.25	3.26	12.75	Cu:	-
N°4	4.750	82.88	4.37	17.12	Cc:	-
N°10	2.000	71.49	11.39	28.51	Clasificación (AASHTO):	-
N°20	0.840	66.13	5.36	33.87	Índice de Grupo:	-
N°40	0.425	61.93	4.21	38.07	RESULTADOS : ASTM - D 2487 / 3282	
N°60	0.250	58.02	3.91	41.98	Crava 3'' - N°4:	17.12 %
N°140	0.106	47.80	10.22	52.20	Arena N°4-N°200:	37.69 %
N°200	0.075	45.19	2.61	54.81	Fino < N°200:	45.19 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS: BALANZA MARCA OHAUS CAP. 27000 g

<p>Calle Fray Martín de Porres 142 San Isidro - Lima carlos_armando29@hotmail.com</p>		 <p>CARLOS ARMANDO CHERRES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services E.I.R.L.</p> <p>FECHA: 10/10/2019</p>
---	---	--

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

SOLICITANTE : Eduard Gálvez Mejía

TEC.RESPONSABLE:

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

FECHA: 10/10/2019

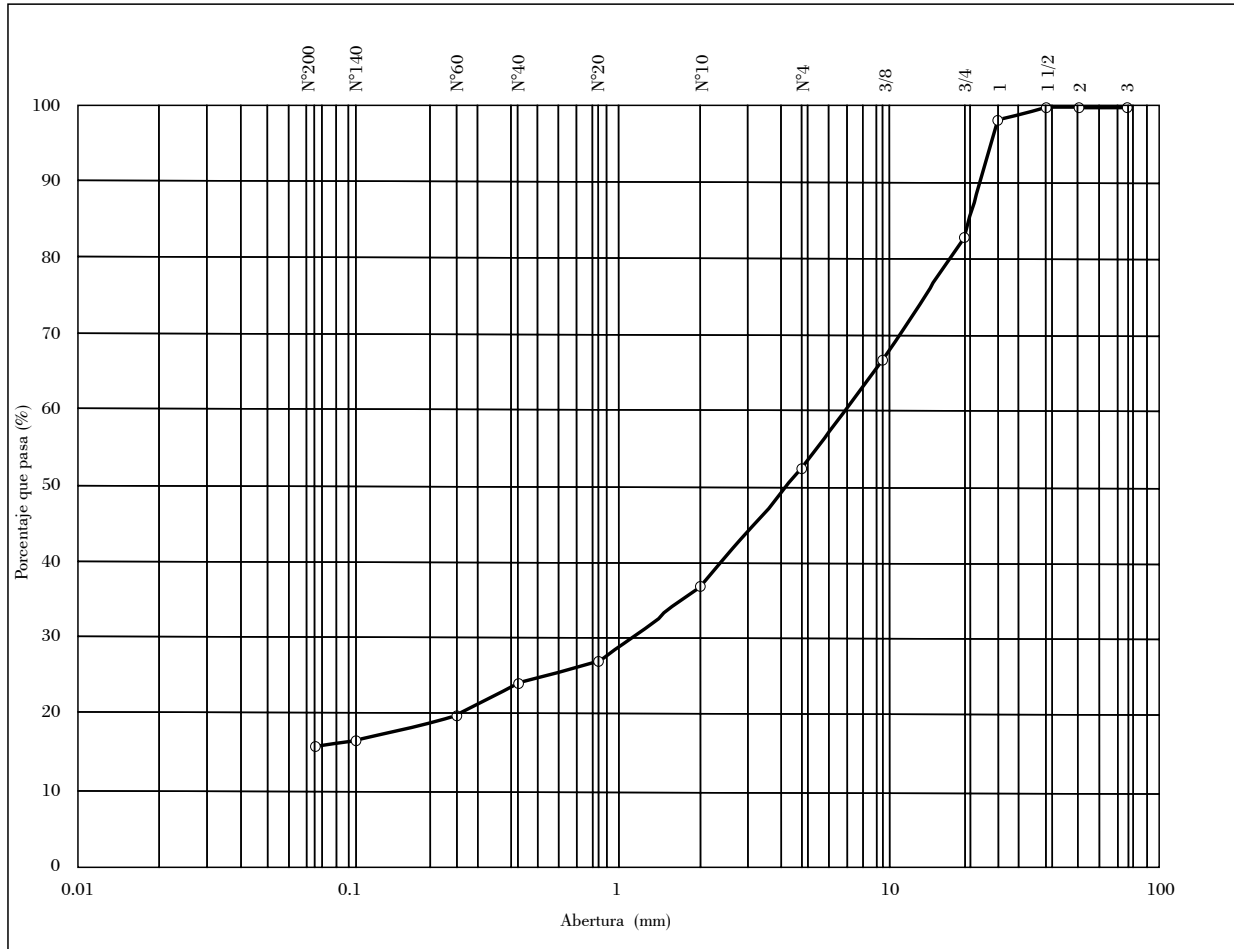
DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA: M-3

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422 / NTP 339.128)					LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 427 / D 4318)	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO		
3"	76.200	100.00	0.00	0.00	Contenido de Humedad (%) : -	
2"	50.800	100.00	0.00	0.00	Límite Líquido (%):	24.32
1 1/2"	38.100	100.00	0.00	0.00	Límite Plástico (%):	21.56
1"	25.400	98.38	1.62	1.62	Índice Plástico (%):	3.85
3/4"	19.050	83.01	15.37	16.99	Clasificación (SUCS):	SM
3/8"	9.500	66.83	16.18	33.17	Cu:	-
Nº4	4.750	52.27	14.56	47.73	Cc:	-
Nº10	2.000	36.89	15.37	63.11	Clasificación (AASHTO):	-
Nº20	0.840	27.18	9.71	72.82	Índice de Grupo:	-
Nº40	0.425	23.95	3.24	76.05	RESULTADOS : ASTM - D 2487 / 3282	
Nº60	0.250	19.74	4.21	80.26		
Nº140	0.106	16.67	3.07	83.33		
Nº200	0.075	15.86	0.81	84.14		
					Crava 3"- Nº4:	47.73 %
					Arena Nº4-Nº200:	36.41 %
					Fino < Nº200:	15.86 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS: BALANZA MARCA OHAUS CAP. 27000 g

Calle Fray Martín de Porres 142
San Isidro - Lima
carlos_armando29@hotmail.com

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

SOLICITANTE : Eduard Gálvez Mejía

TEC.RESPONSABLE: **UBICACIÓN:** Cospán- Cajamarca **FECHA:** 10/10/2019

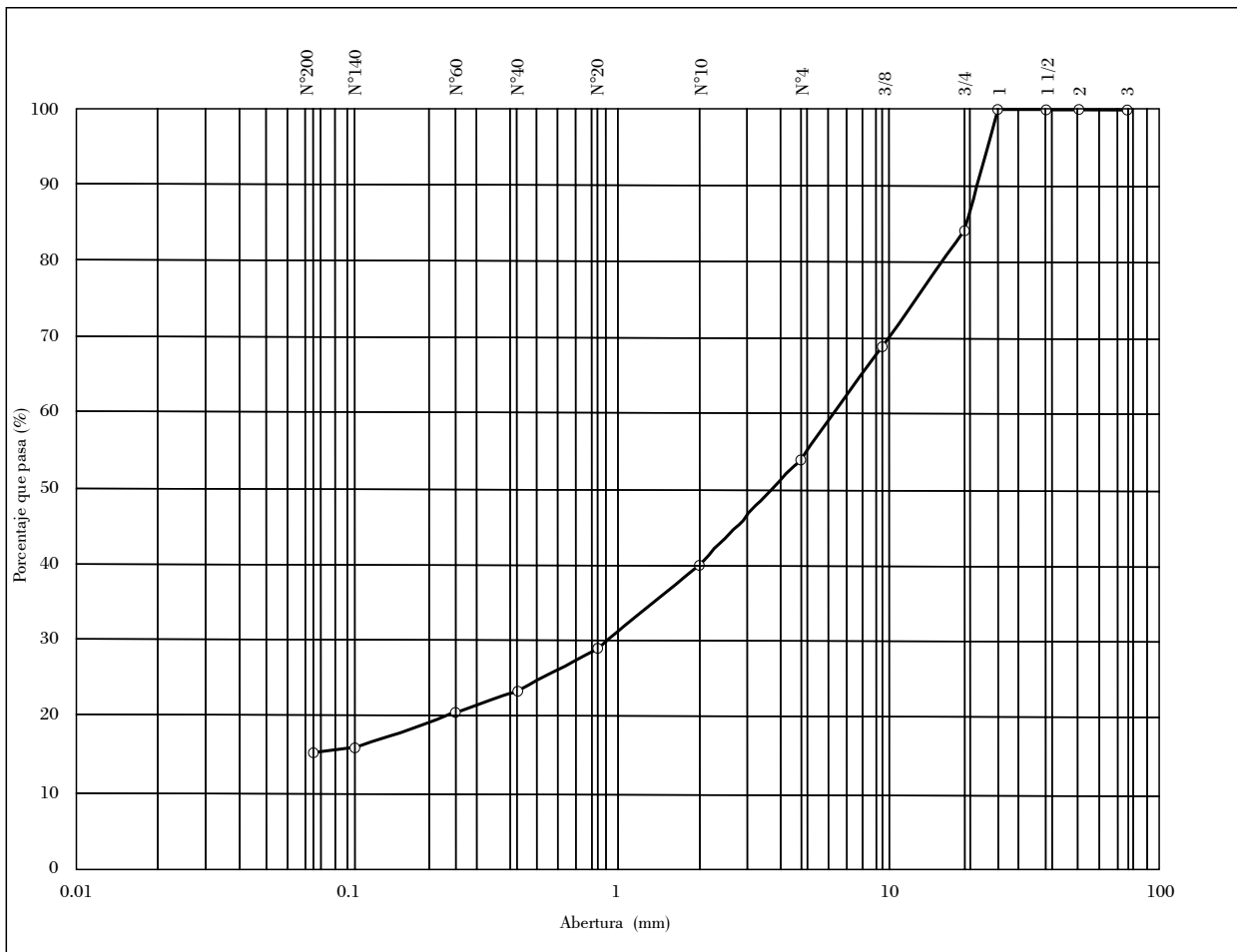
DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA: M-4

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422 / NTP 339.128)					LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 427 / D 4318)	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO		
3"	76.200	100.00	0.00	0.00	Contenido de Humedad (%) : -	
2"	50.800	98.61	0.00	0.00	Límite Líquido (%):	23.18
1 1/2"	38.100	95.82	0.00	0.00	Límite Plástico (%):	21.71
1"	25.400	91.64	0.00	0.00	Índice Plástico (%):	2.69
3/4"	19.050	90.25	16.02	16.02	Clasificación (SUCS):	SM
3/8"	9.500	86.07	15.32	31.34	Cu:	-
Nº4	4.750	83.29	14.62	45.96	Cc:	-
Nº10	2.000	74.93	14.07	60.03	Clasificación (AASHTO):	-
Nº20	0.840	55.43	11.14	71.17	Índice de Grupo:	-
Nº40	0.425	41.50	5.71	76.88	RESULTADOS : ASTM - D 2487 / 3282	
Nº60	0.250	28.97	2.92	79.81		
Nº140	0.106	17.83	4.18	83.98		
Nº200	0.075	14.35	0.70	84.68	Crava 3'' - Nº4:	45.96 %
					Arena Nº4-Nº200:	38.72 %
					Fino < Nº200:	15.32 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS: BALANZA MARCA OHAUS CAP. 27000 g

Calle Fray Martín de Porres 142
San Isidro - Lima
carlos_armando29@hotmail.com




CARLOS ARMANDO CHERES Y.
Gerente General
GeoRocks Engineering Services E.I.R.L.

FECHA: 10/10/2019

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

SOLICITANTE : Eduard Gálvez Mejía

TEC.RESPONSABLE: **UBICACIÓN:** Cospán- Cajamarca **FECHA:** 10/10/2019

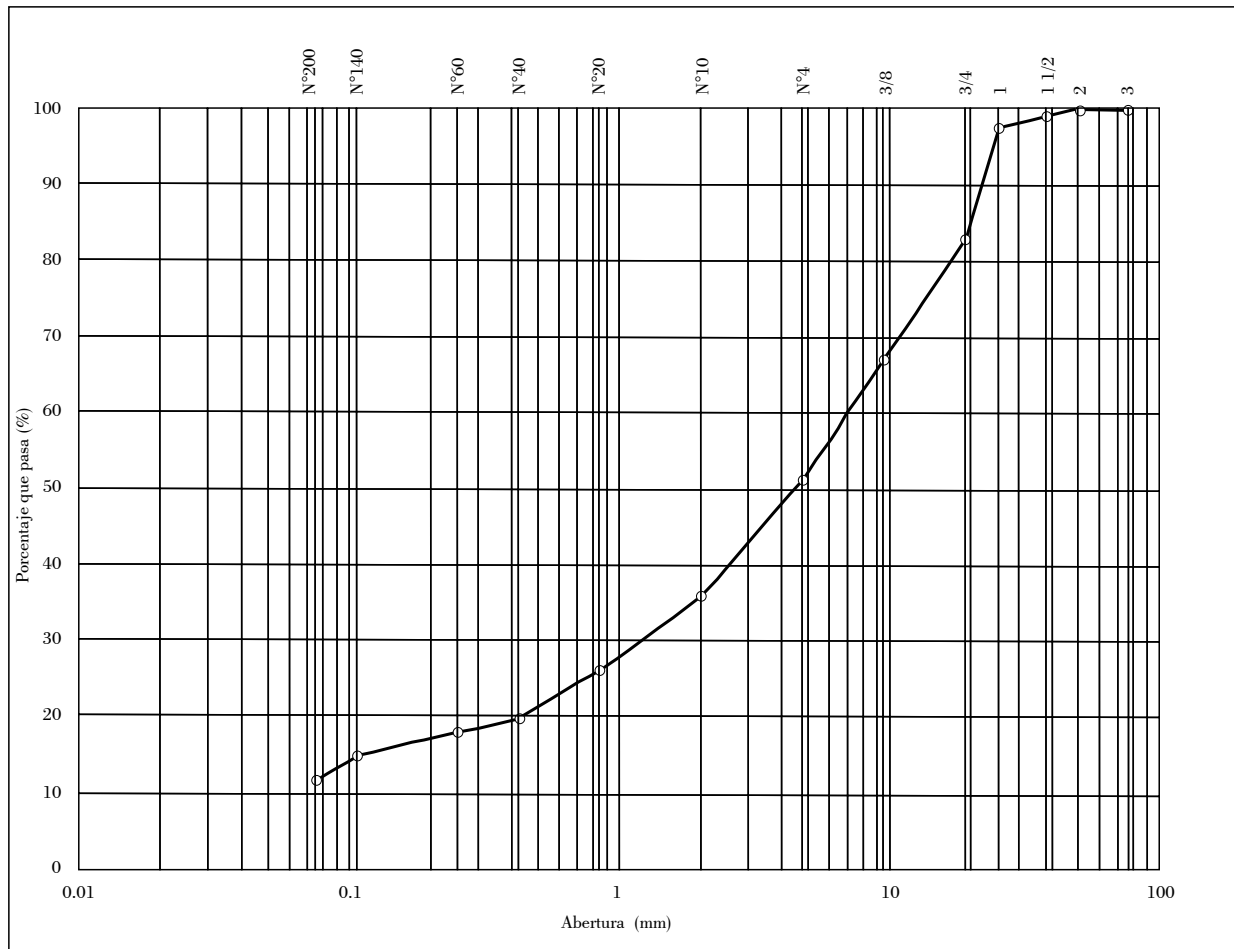
DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA: M-5

UBICACIÓN: Cospán- Cajamarca

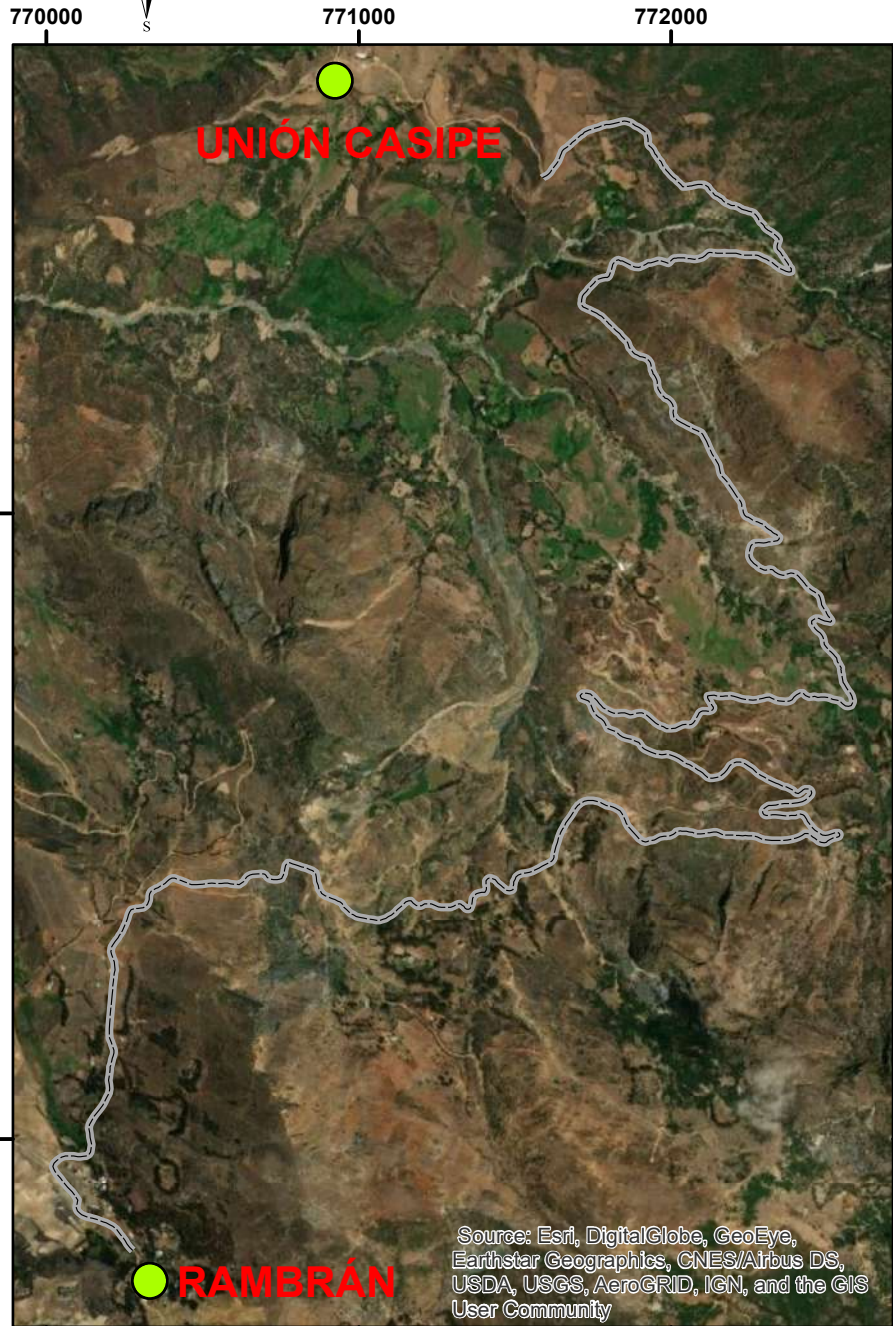
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422 / NTP 339.128)					LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 427 / D 4318)	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO		
3"	76.200	100.00	0.00	0.00	Contenido de Humedad (%) : -	
2"	50.800	100.00	0.00	0.00	Límite Líquido (%):	21.64
1 1/2"	38.100	99.19	0.81	0.81	Límite Plástico (%):	20.54
1"	25.400	97.57	1.62	2.43	Índice Plástico (%):	7.16
3/4"	19.050	83.01	14.56	16.99	Clasificación (SUCS):	SM
3/8"	9.500	67.15	15.86	32.85	Cu:	-
Nº4	4.750	51.29	15.86	48.71	Cc:	-
Nº10	2.000	35.92	15.37	64.08	Clasificación (AASHTO):	-
Nº20	0.840	26.21	9.71	73.79	Índice de Grupo:	-
Nº40	0.425	19.74	6.47	80.26	RESULTADOS : ASTM - D 2487 / 3282	
Nº60	0.250	18.12	1.62	81.88		
Nº140	0.106	15.05	3.07	84.95		
Nº200	0.075	11.81	3.24	88.19		
					Crava 3''- Nº4:	48.71 %
					Arena Nº4-Nº200:	39.48 %
					Fino < Nº200:	11.81 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

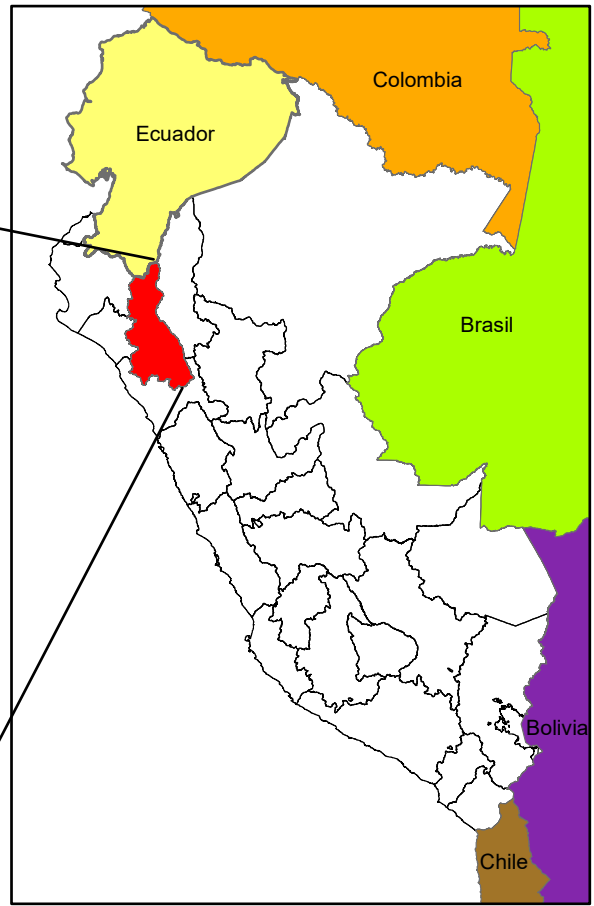
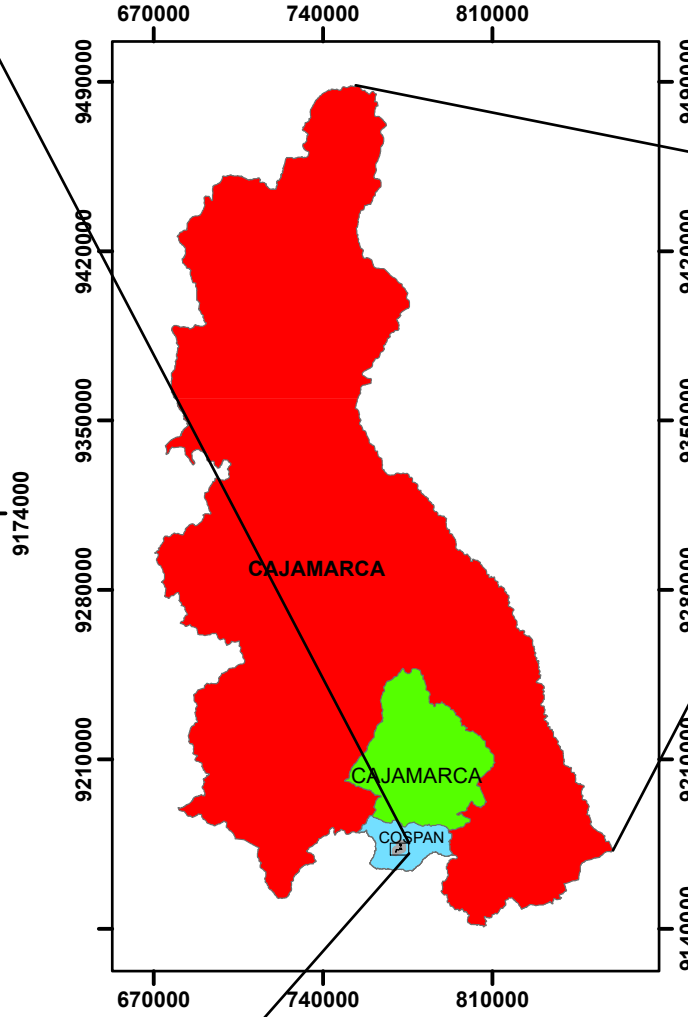
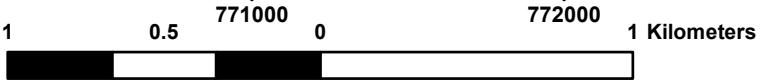


DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS: BALANZA MARCA OHAUS CAP. 27000 g

<p>Calle Fray Martín de Porres 142 San Isidro - Lima carlos_armando29@hotmail.com</p>		 CARLOS ARMANDO CHERES Y. Gerente General GeoRocks Engineering Services E.I.R.L. FECHA: 10/10/2019
---	---	---



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

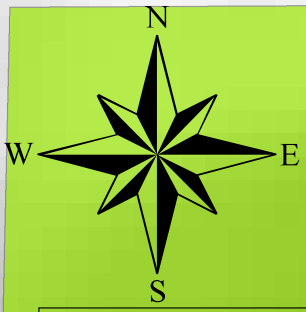


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

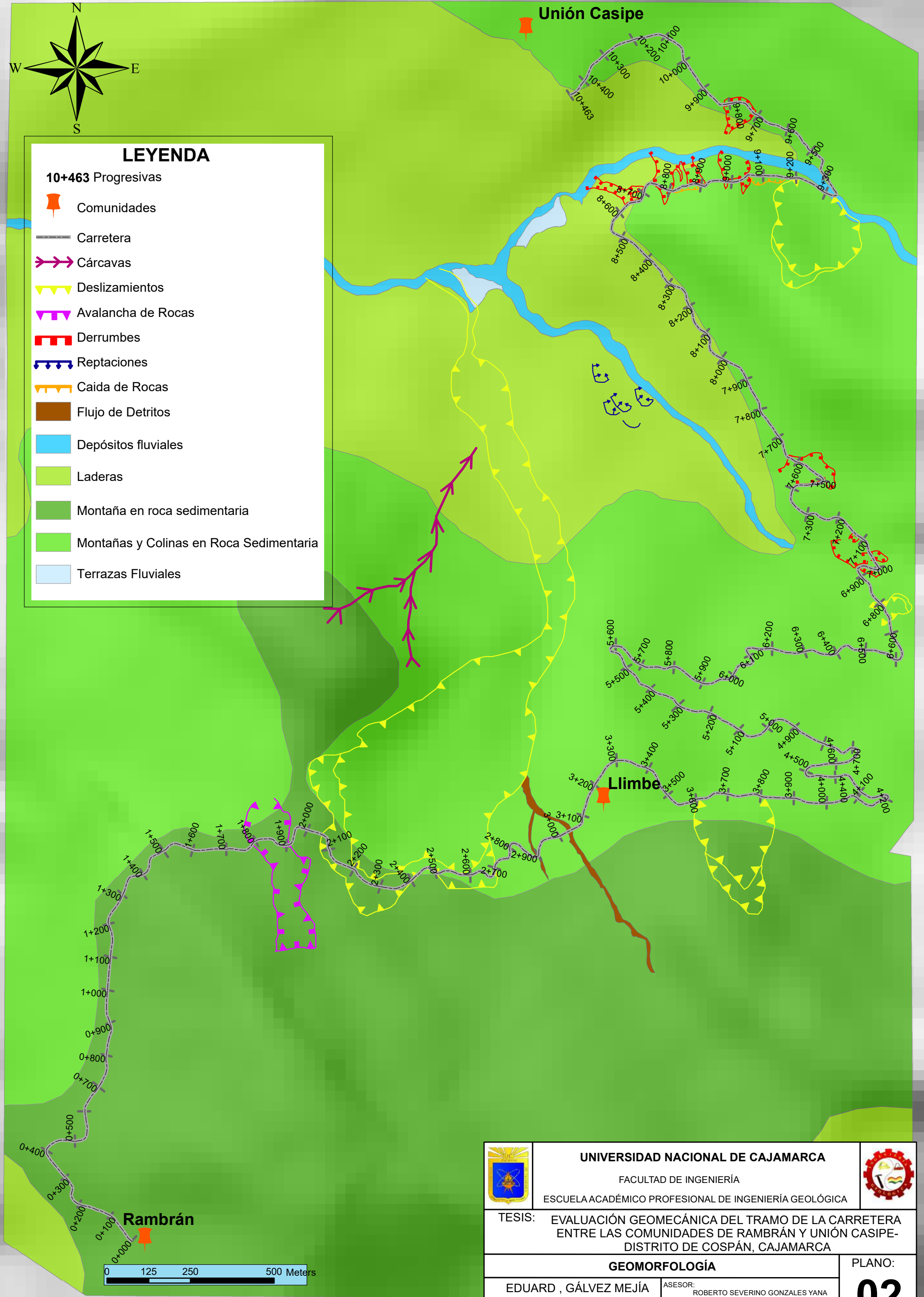
PLANO DE UBICACIÓN		PLANO:
EDUARD , GÁLVEZ MEJÍA	ASESOR: ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	01
Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1/ 10 000 FECHA: ENERO 2022	



LEYENDA

10+463 Progresivas

-  Comunidades
-  Carretera
-  Cárcavas
-  Deslizamientos
-  Avalancha de Rocas
-  Derrumbes
-  Reptaciones
-  Caída de Rocas
-  Flujo de Detritos
-  Depósitos fluviales
-  Laderas
-  Montaña en roca sedimentaria
-  Montañas y Colinas en Roca Sedimentaria
-  Terrazas Fluviales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA**

GEOMORFOLOGÍA

PLANO:

EDUARD , GÁLVEZ MEJÍA

ASESOR: ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

02

Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_17S

ESCALA: 1/ 10 000 | FECHA: ENERO 2022

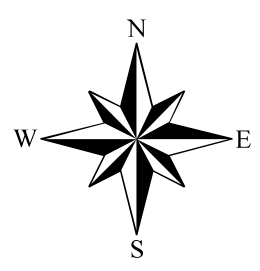
770000

770700

771400

772100

772800



LEYENDA

- Buzamientos
- Estaciones Geomecánicas
- CC.PP
- Anticlinal Invertido
- Sinclinal Invertido
- 10+463 Progresivas
- Carretera
- Fallas
- Drenaje
- Ki-sa
- Ki-in
- Ki-chi
- Ki-chu
- Ki-ca
- Ki-fa

9175000

9175000

9174000

9174000

9173000

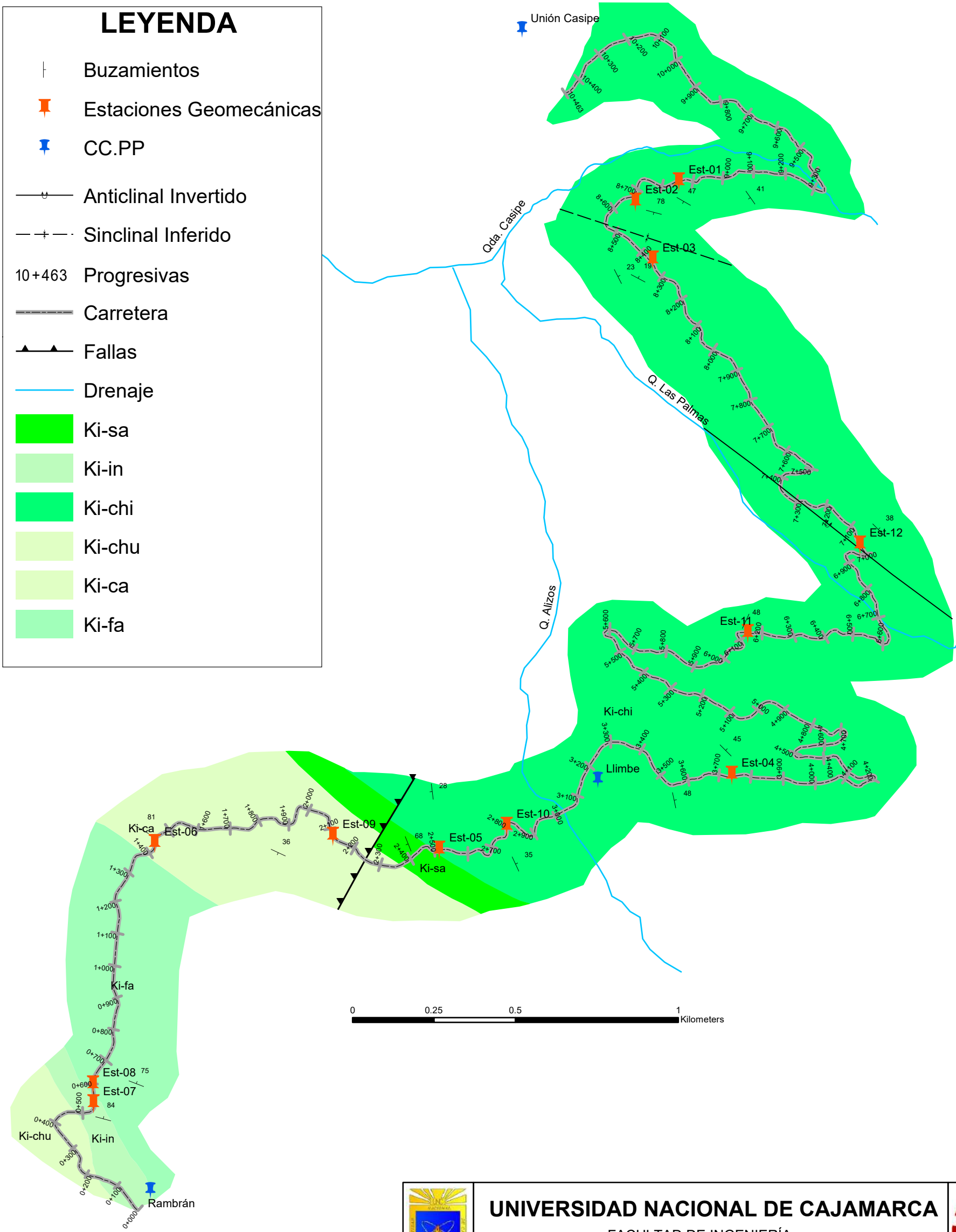
9173000

9172000

9172000

9171000

9171000



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



TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

PLANO GEOLÓGICO		PLANO: 03
EDUARD, GÁLVEZ MEJÍA	ASESOR: ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1/ 10 000	FECHA: ENERO 2022

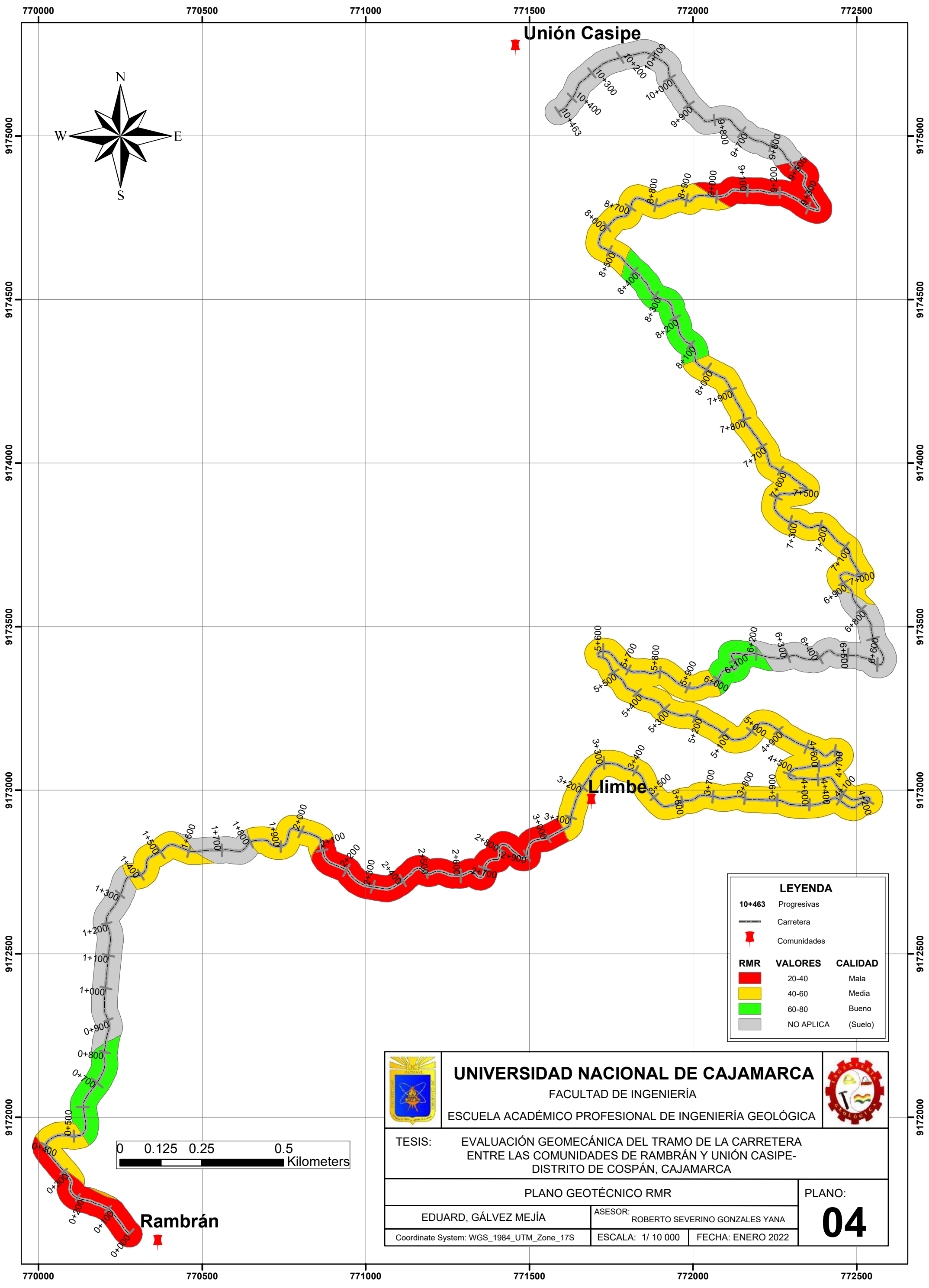
770000

770700

771400

772100

772800



Unión Casipe

Limbe

Rambrán

LEYENDA		
10+463	Progresivas	
	Carretera	
	Comunidades	
RMR	VALORES	CALIDAD
	20-40	Mala
	40-60	Media
	60-80	Bueno
	NO APLICA	(Suelo)

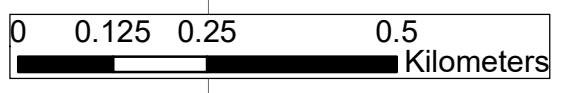


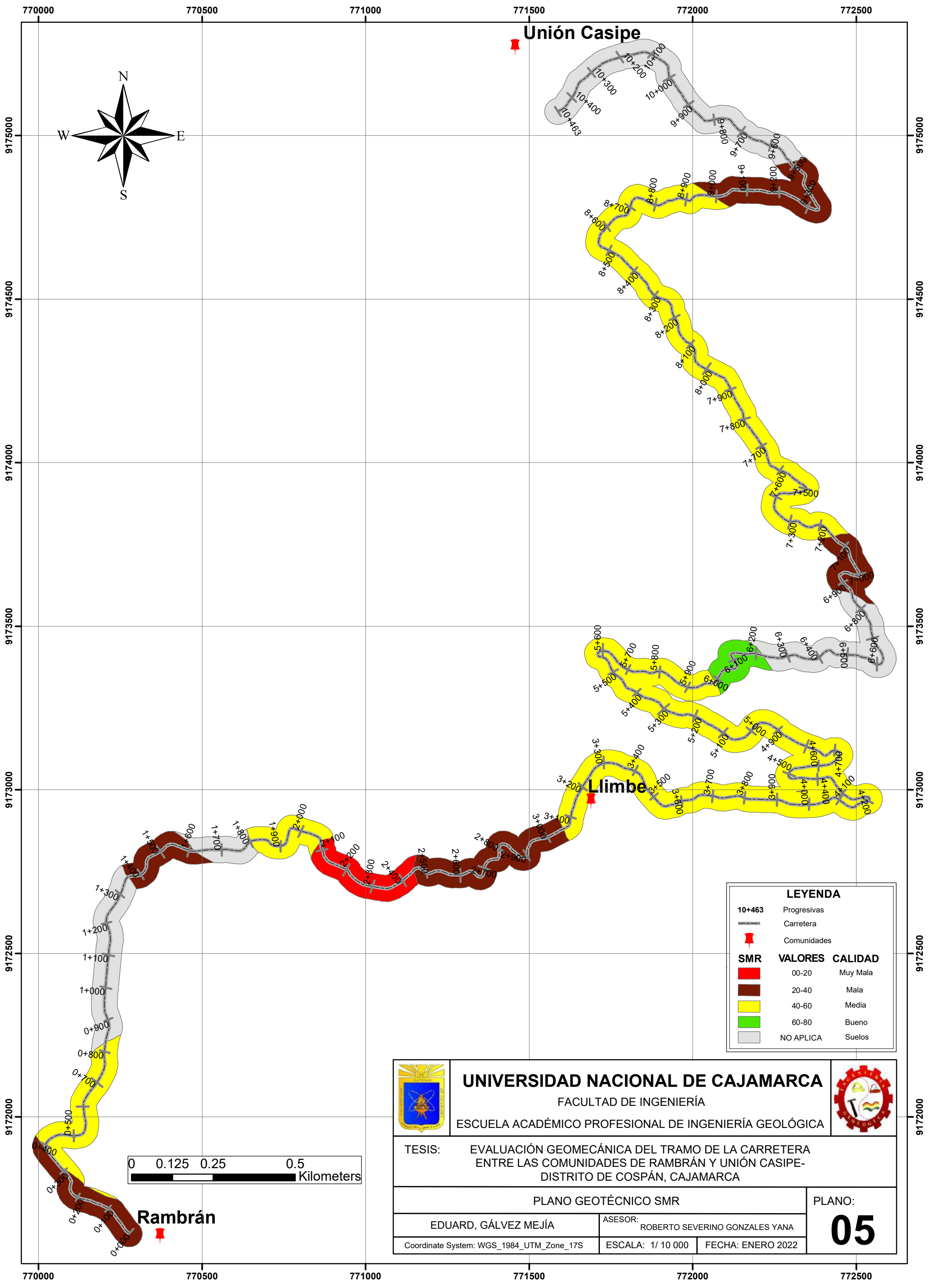
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA

PLANO GEOTÉCNICO RMR		PLANO: 04
EDUARD, GÁLVEZ MEJÍA	ASESOR: ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1/ 10 000	FECHA: ENERO 2022



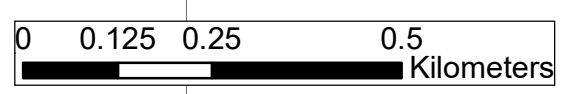


Unión Casipe

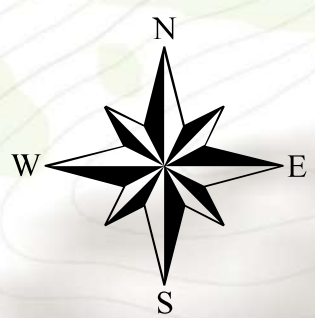
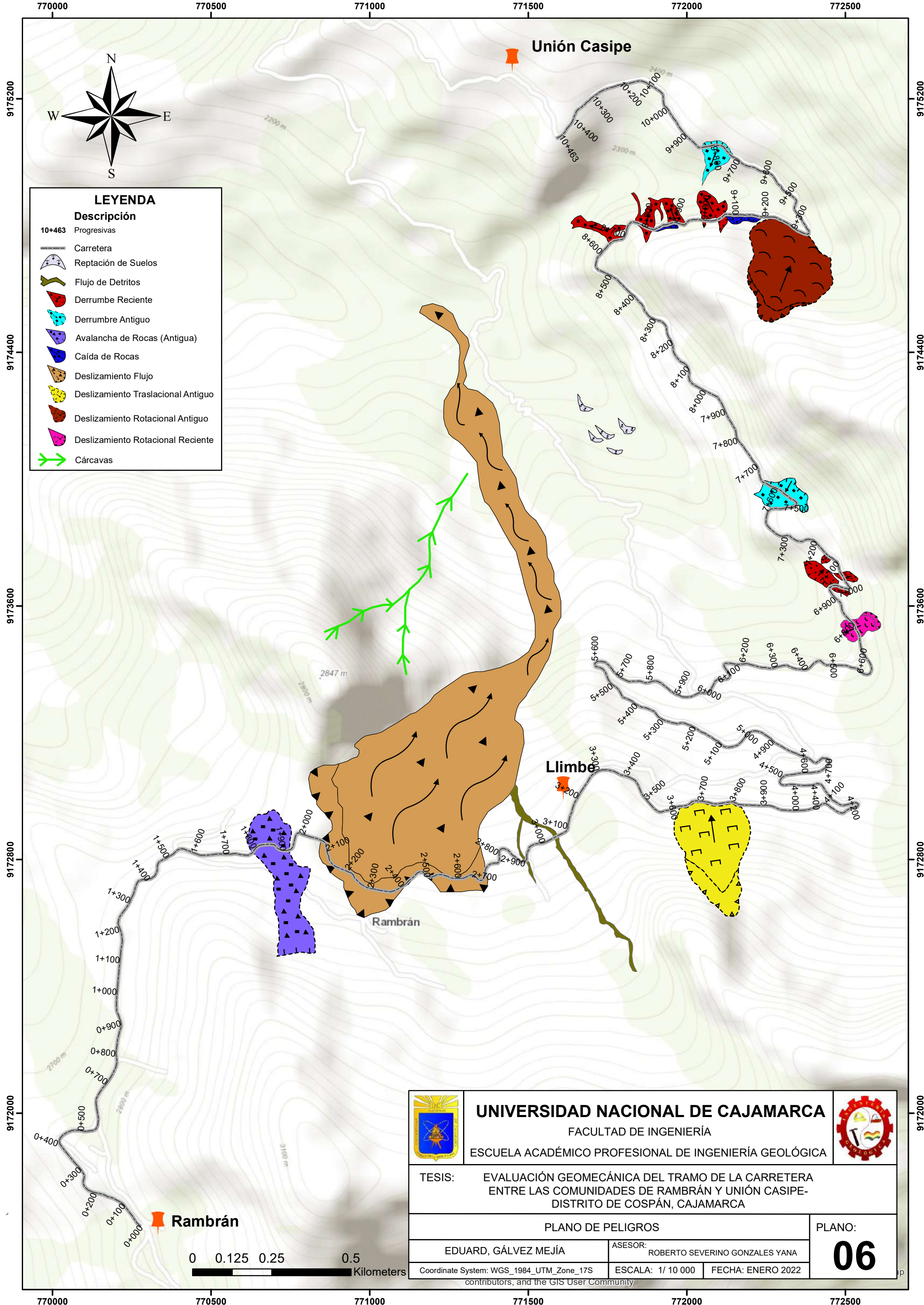
Llimbe

Rambrán

LEYENDA		
10+463	Progresivas	
	Carretera	
	Comunidades	
SMR VALORES CALIDAD		
	00-20	Muy Mala
	20-40	Mala
	40-60	Media
	60-80	Bueno
	NO APLICA	Suelos



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
PLANO GEOTÉCNICO SMR		PLANO: 05
EDUARD, GÁLVEZ MEJÍA	ASESOR: ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1/ 10 000	FECHA: ENERO 2022



LEYENDA	
Descripción	
10+463	Progresivas
	Carretera
	Reptación de Suelos
	Flujo de Detritos
	Derrumbe Reciente
	Derrumbe Antiguo
	Avalancha de Rocas (Antigua)
	Caída de Rocas
	Deslizamiento Flujo
	Deslizamiento Traslacional Antiguo
	Deslizamiento Rotacional Antiguo
	Deslizamiento Rotacional Reciente
	Cárcavas

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TRAMO DE LA CARRETERA ENTRE LAS COMUNIDADES DE RAMBRÁN Y UNIÓN CASIPE-DISTRITO DE COSPÁN, CAJAMARCA		
PLANO DE PELIGROS			PLANO:
EDUARD, GÁLVEZ MEJÍA		ASESOR: ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_17S		ESCALA: 1/ 10 000	FECHA: ENERO 2022
			06



Rambrán

Unión Casipe

Llimbe

Rambrán

0+400
0+300
0+200
0+100
0+000

1+300
1+200
1+100
1+000
0+900
0+800
0+700
0+600
0+500
0+400

2+000
2+100
2+200
2+300
2+400
2+500
2+600
2+700
2+800
2+900
2+000

3+000
3+100
3+200
3+300
3+400
3+500
3+600
3+700
3+800
3+900
4+000
4+100
4+200
4+300
4+400
4+500
4+600
4+700
4+800
4+900
5+000
5+100
5+200
5+300
5+400
5+500
5+600
5+700
5+800
5+900
6+000
6+100
6+200
6+300
6+400
6+500
6+600
6+700
6+800
6+900
7+000
7+100
7+200
7+300
7+400
7+500
7+600
7+700
7+800
7+900
8+000
8+100
8+200
8+300
8+400
8+500
8+600
8+700
8+800
8+900
9+000
9+100
9+200
9+300
9+400
9+500
9+600
9+700
9+800
9+900
10+000
10+100
10+200
10+300
10+400
10+463

2200 m

2847 m

2800 m

2400 m

2300 m

2100 m

2100 m

2800 m

2100 m