

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES  
DE LA CARRETERA CRUZ BLANCA - EL GAVILÁN**

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

*Presentado por el Bachiller*  
*Franklin Ricardo Montoya Toroverero*

*Asesor*  
*Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado*

*Cajamarca, Abril del 2014*

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



## TESIS PROFESIONAL

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES  
DE LA CARRETERA CRUZ BLANCA - EL GAVILÁN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**FRANKLIN RICARDO MONTOYA TOROVERERO**

**ASESOR:**

**ING. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO**

**CAJAMARCA , ABRIL DEL 2014**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Facultad de Ingeniería Geológica; a mis docentes, por todas sus enseñanzas y el apoyo brindado para abrirme paso hacia el desarrollo profesional.

Quiero brindar mi más sincero agradecimiento a Dios por la oportunidad de realizar esta tesis, a mis padres, hermanos, mi esposa e hija por el apoyo desinteresado que me han mostrado en todo momento.

Y también agradezco a mi asesor de tesis Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado, ya que sin su apoyo ésta Tesis no hubiera sido posible realizarlo.

## DEDICATORIA

Esta tesis se lo dedico a Dios y a mis padres por darme la oportunidad de permitir ser alguien...y a todas aquellas personas que me apoyaron incondicionalmente.

## RESUMEN

La Tesis profesional, se realizó en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, se encuentra emplazada sobre un sistema de plegamientos (sinclinal - anticlinal) de dirección SE – NW y estructuralmente con fallas de dirección NE-SW hasta E-W. Conformando el comportamiento litomorfoestructural; ubicada al sureste de la ciudad de Cajamarca, es bastante complejo por la presencia de estructuras fuertemente disturbadas, dando lugar a plegamientos, fallamientos y alto fracturamiento en los macizos rocosos, los cuales por estar constituidos por rocas margosas, calcáreas, areniscosas, cuarcíticas, limolíticas y lutáceas, así como cobertura de depósitos cuaternarios aluviales y coluvio - aluviales son propensas a un fuerte proceso de erosión, meteorización física y química, produciendo alteraciones profundas en la estructura rocosa.

Adicionalmente las continuas vibraciones del paso de vehículos pesados, las fuertes precipitaciones, la infiltración, la erosión hidrogeológica y los cambios bruscos de temperaturas, están alterando la estructura de las rocas, produciendo alteraciones en las propiedades de la roca y la disminución de los esfuerzos de resistencia como la cohesión, la fricción interna y las fuerzas resistentes, por lo cual se produce la inestabilidad de los taludes.

Se realizaron cartografiados en todo el trayecto de la carretera, con fines de investigación: geomecánica y geotécnica, realizándose muestreos en taludes críticos; para su posterior análisis, evaluación y caracterización del suelo y macizo rocoso; determinados en campo y laboratorio, así mismo empleado: Rock Mass Rating (RMR - Bieniawski 1989), Rock Quality Designation (RQD - Deere 1967) y Geological Strength Index (GSI - Hoek 1994); y la clasificación de suelos en base del sistema SUCS.

Los resultados que se obtuvieron son de gran importancia para analizar la composición y el comportamiento del talud.

## ABSTRACT

Professional thesis was conducted in the White Cross Road - The Hawk, is perched on a folding system (syncline - anticline) direction SE - NW and structurally flawed from NE - SW to E - W. Shaping litomorfoestructural behavior; It is located southeast of the city of Cajamarca, is quite complex by the presence of heavily disturbed structures, leading to folding, faulting and high fracturing in rock masses, which by being constituted by marly rocks, limestone, areniscosas, quartzite, silty and lutáceas and coverage alluvial and colluvial quaternary deposits - alluvial are prone to strong erosion process, physical and chemical weathering, producing profound changes in the rock structure.

Additionally, the continuous vibration of heavy vehicles, heavy precipitation, infiltration, erosion and hydrogeological sudden temperature changes are altering the structure of the rocks, causing alterations in the properties of the rock and decreasing efforts strength as cohesion, internal friction and resisting forces, so the slope instability occurs.

Mapped were conducted throughout the course of the road for research: geomechanics and geotechnics, performing sampling at critical slopes; for analysis, evaluation and characterization of soil and rock mass; determined in field and laboratory, and self employed: Rock Mass Rating (RMR - Bieniawski 1989), Rock Quality Designation (RQD - Deere 1967) and Geological Strength Index (GSI - Hoek 1994); and soil classification system based on the SUCS.

The results obtained are very important to analyze the composition and behavior of the batter.

## ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE GRAFICAS .....	xiii
LISTA DE FOTOS .....	xiv
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 GENERAL.....	2
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	2
1.4 HIPÓTESIS .....	2
1.5 ALCANCES .....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS.....	4
2.2 TEORÍAS EXISTENTES AL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.2.1 MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	6
2.2.2 CRITERIOS DE ROTURA .....	9
2.2.3 ANÁLISIS DE TALUDES .....	16
2.2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	23
2.2.5 GEODINÁMICA .....	24
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>31</b>
3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
3.2 PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	31
3.3 EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN.....	32

	<b>Pág.</b>
3.4	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS ..... 32
3.5	CONTROL DE CALIDAD DE DATOS..... 33
<b>CAPÍTULO IV: GENERALIDADES</b> .....	<b>34</b>
4.1	UBICACIÓN..... 34
4.2	LONGITUD ..... 34
4.3	ACCESIBILIDAD ..... 35
4.4	CLIMA ..... 35
4.5	VEGETACIÓN POR REGIÓN..... 36
<b>CAPÍTULO V: MODELO DIGITAL</b> .....	<b>37</b>
5.1	MODELO DIGITAL DEL TERRENO ..... 37
5.2	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES..... 38
<b>CAPÍTULO VI: GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>39</b>
6.1	QUEBRADAS ..... 39
6.2	CÁRCAVAS..... 40
6.3	TERRAZAS ..... 40
6.4	TALUDES ..... 41
6.5	LADERAS..... 41
<b>CAPÍTULO VII: GEOLOGÍA LOCAL</b> .....	<b>42</b>
7.1	CRETÁCEO INFERIOR..... 42
7.1.1	GRUPO GOYLLARISQUIZGA..... 42
7.1.2	FORMACIÓN INCA..... 43
7.1.3	GRUPO CRISNEJAS..... 44
7.1.4	GRUPO PULLUICANA ..... 44
7.2	DEPÓSITOS CUATERNARIOS..... 45
<b>CAPÍTULO VIII: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	<b>46</b>
8.1	ZONA SE..... 47
8.2	ZONA NW..... 48



	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO IX: GEODINÁMICA</b> .....	50
9.1 AGENTES PREDISPUUESTOS .....	51
9.2 AGENTES EFECTIVOS PREPARATORIOS .....	51
9.3 AGENTES EFECTIVOS INMEDIATOS.....	52
<b>CAPÍTULO X: GEOTÉCNIA</b> .....	53
10.1 ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	53
10.1.1 TRAMO 01 - PROGRESIVAS Km 162+110 - Km 162+230.....	53
10.1.2 TRAMO 02 - PROGRESIVAS Km 162+750 - Km 162+860.....	59
10.1.3 TRAMO 03 - PROGRESIVAS Km 163+250 - Km 163+350.....	64
10.1.4 TRAMO 04 - PROGRESIVAS Km 164+240 - Km 164+280.....	73
10.1.5 TRAMO 05 - PROGRESIVAS Km 164+400 - Km 164+450.....	77
10.1.6 TRAMO 06 - PROGRESIVAS Km 164+750 - Km 164+850.....	82
10.1.7 TRAMO 07 - PROGRESIVAS Km 165+240 - Km 165+290.....	87
10.1.8 TRAMO 08 - PROGRESIVAS Km 165+700 - Km 165+850.....	96
10.1.9 TRAMO 09 - PROGRESIVAS Km 166+585 - Km 166+655.....	105
10.1.10 TRAMO 10 - PROGRESIVAS Km 166+655 - Km 166+780.....	109
10.1.11 TRAMO 11 - PROGRESIVAS Km 167+070 - Km 167+210.....	118
10.2 ESTABILIDAD DE TALUDES .....	127
10.2.1 TRAMO 01 - PROGRESIVAS Km 162+110 - Km 162+230.....	127
10.2.2 TRAMO 02 - PROGRESIVAS Km 162+750 - Km 162+860.....	128
10.1.3 TRAMO 03 - PROGRESIVAS Km 163+250 - Km 163+350.....	129
10.2.4 TRAMO 04 - PROGRESIVAS Km 164+240 - Km 164+280.....	130
10.2.5 TRAMO 05 - PROGRESIVAS Km 164+400 - Km 164+450.....	131
10.1.6 TRAMO 06 - PROGRESIVAS Km 164+750 - Km 164+850.....	132
10.1.7 TRAMO 07 - PROGRESIVAS Km 165+240 - Km 165+290.....	133
10.1.8 TRAMO 08 - PROGRESIVAS Km 165+700 - Km 165+850.....	134
10.1.9 TRAMO 09 - PROGRESIVAS Km 166+585 - Km 166+655.....	135
10.1.10 TRAMO 10 - PROGRESIVAS Km 166+655 - Km 166+780.....	136
10.1.11 TRAMO 11 - PROGRESIVAS Km 167+070 - Km 167+210.....	137
<b>CAPÍTULO XI: CANTERAS</b> .....	138

	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO XII: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	140
12.1 RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .	140
12.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	140
12.3 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES.....	140
<b>CONCLUSIONES</b> .....	146
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	148
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	149
<b>ANEXOS</b> .....	151

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro. 01 Clasificación geomecánica del GSI – Hoek.....	7
Cuadro. 02 Clasificación geomecánica para taludes SMR (Romana).....	9
Cuadro. 03 Coordenadas del límite de estudio.....	35
Cuadro. 04 Ubicación.....	35
Cuadro. 05 Accesos a la zona de estudio.....	36
Cuadro. 06 Condiciones de vía y tiempos de desplazamientos.....	36
Cuadro. 07 Estación Werberbauer.....	37
Cuadro. 08 Análisis granulométrico de la calicata M – 01, Depósito aluvial. Progresiva Km 162+110 – Km 162+23.....	55
Cuadro. 09 Análisis granulométrico de la calicata M – 02, Depósito coluvial. Progresiva Km 162+110 – Km 162+230.....	56
Cuadro. 10 Análisis granulométrico de la calicata M – 03, Depósito coluvial - aluvial. Progresiva Km 162+750 – Km 162+860.....	61
Cuadro. 11 Análisis granulométrico de la calicata M – 04, Depósito aluvial. Progresiva Km 162+750 – Km 162+860.....	62
Cuadro. 12 Análisis granulométrico de la calicata M – 05, Depósito aluvial. Progresiva Km 164+240 – Km 164+280.....	75
Cuadro. 13 Análisis granulométrico de la calicata M – 06, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 164+400 – Km 164+450.....	79
Cuadro. 14 Análisis granulométrico de la calicata M – 07, Depósito aluvial. Progresiva Km 164+400 – Km 164+450.....	80
Cuadro. 15 Análisis granulométrico de la calicata M – 08, Depósito aluvial. Progresiva Km 164+750 – Km 164+850.....	84
Cuadro. 16 Análisis granulométrico de la calicata M – 09, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 164+750 – Km164+850.....	85
Cuadro. 17 Análisis granulométrico de la calicata M – 10, Depósito aluvial. Progresiva Km 166+585 – Km166+655.....	107

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Fig. 01 Representación del criterio de Hoek y Brown, el espacio de tensiones normal y tangencial.....	12
Fig. 02 Efectos de rugosidad en el ángulo de fricción. (Fuente: Jaime Suarez Díaz).....	13
Fig. 03 Envolvente de falla Criterio de Mohr – Culomb. (Fuente: Lambe & Whitman, 1972).....	15
Fig. 04 Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud. (Fuente: Lambe & Whitman, 1972).....	16
Fig. 05 Tipo de superficie de rotura en suelos. (Fuente: Luis I. Gonzales de Vallejo, 2002).....	17
Fig. 06 Efectos de las discontinuidades en la falla de los taludes. (Fuente: Jaime Suarez Díaz).....	19
Fig. 07 Variación de cohesión y el ángulo de fricción dentro de una discontinuidad por el aumento de humedad y de la presión de poros. (Fuente: Jaime Suarez Díaz).....	21
Fig. 08 Condiciones para la rotura plana. (Fuente: Luis I. Gonzales de Vallejo, 2002)....	23
Fig. 09 Tipos de rotura plana. (Fuente: Luis I. Gonzales de Vallejo, 2002).....	23
Fig. 10 Condiciones para la rotura en cuña (Fuente: Luis I. Gonzales de Vallejo, 2002)..	24
Fig. 11 Formas de movimiento para caídas de rocas. Modificado de Hoek (2000).....	27
Fig. 12 Descomposición vectorial de fuerzas para caídas de rocas. Modificado de Chen et al., 1994.....	28
Fig. 13 a) Movimiento simple, b) Movimiento múltiple , c) movimiento sucesivo (Hutchinson, 1968).....	29
Fig. 14 Nomenclatura de las partes de un deslizamiento. (Fuente: Varnes, 1978).....	29
Fig. 15 Modelo uniaxial. Twiss & Moores. 1992. Sistema de abertura paralelo al esfuerzo principal.....	47
Fig. 16 Modelos de estructuras plegadas, con un sistema de diaclasamiento y fallamientos tensionales.....	48
Fig. 17 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.759.....	57
Fig. 18 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.049.....	58
Fig. 19 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.009.....	59
Fig. 20 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.976.....	63
Fig. 21 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.213.....	63
Fig. 22 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.027.....	64

Fig. 23 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte(Derecha) de la arenisca Fm. Chimú.....	71
Fig. 24 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 03.....	72
Fig. 25 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades del tramo 03. Se observa que el plano del talud es cortado por la discontinuidad 1, generando rotura planar con respecto al talud.....	72
Fig. 26 El Diagrama de proyección respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura planar con respecto al buzamiento SW de la discontinuidad 1 del tramo 03.....	73
Fig. 27 Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.....	73
Fig. 28 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.651.....	76
Fig. 29 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.649.....	76
Fig. 30 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.431.....	77
Fig. 31 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.827.....	81
Fig. 32 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.823.....	81
Fig. 33 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.652.....	82
Fig. 34 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.743.....	86
Fig. 35 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.009.....	86
Fig. 36 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.011.....	87
Fig. 37 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte(Derecha) de la arenisca de la Fm. Farrat.....	94
Fig. 38 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 07.....	95
Fig. 39 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades del tramo 07. Se observa que el plano del talud es cortado por la estratificación, generando rotura planar con respecto al talud.....	95
Fig. 40 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura planar con respecto al buzamiento NE de la estratificación del tramo 07.....	96
Fig. 41 Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.....	96
Fig. 42 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte(Derecha) de la arenisca de la Fm. Farrat.....	103
Fig. 43 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 08.....	104

Fig. 44 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades del tramo 08. Se observa que el plano del talud es cortado por la discontinuidad 1 - 2, generando rotura en cuña con respecto al talud.....	104
Fig. 45 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña con respecto al buzamiento NE de la discontinuidad 1 - 2 del tramo 08.....	105
Fig. 46 Diagrama de deslizamiento en cuña en función del análisis de la proyección estereográfica.....	105
Fig. 47 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.873.....	108
Fig. 48 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.824.....	108
Fig. 49 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.616.....	109
Fig. 50 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte(Derecha) de la arenisca de la Fm. Farrat.....	116
Fig. 51 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 10.....	117
Fig. 52 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades del tramo 10. Se observa que el plano del talud es cortado por la discontinuidad 1 – 2 - 3, generando rotura en cuña con respecto al talud.....	117
Fig. 53 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña con respecto al buzamiento NE en el tramo 10.....	118
Fig. 54 Diagrama de deslizamiento en cuña en función del análisis de la proyección estereográfica.....	118
Fig. 55 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte(Derecha) de las calizas margosas.....	125
Fig. 56 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 11.....	126
Fig. 57 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades del tramo 11. Se observa que el plano del talud es cortado por el plano de estratificación y la discontinuidad 2, generando rotura con respecto al talud.....	126
Fig. 58 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican roturas en cuña con respecto al buzamiento NE de la discontinuidad 1 – 2 del tramo .....	127
Fig. 59 Diagrama de deslizamiento en cuña en función del análisis de la proyección estereográfica.....	127

**LISTA DE GRÁFICAS**

	<b>Pág.</b>
Gráfica. 01 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 01, Depósito aluvial. Progresiva Km162+110 – Km 162+230.....	56
Gráfica. 02 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 02, Deposito coluvial. Progresiva Km162+110 – Km 162+230.....	57
Gráfica. 03 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 03, Depósito coluvial - aluvial. Progresiva Km162+750 – Km 162+860.....	61
Gráfica. 04 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 04, Depósito aluvial. Progresiva Km162+750 – Km 162+860.....	62
Gráfica. 05 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 05, Depósito aluvial. Progresiva Km164+240 – Km 164+280.....	75
Gráfica. 06 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 06, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km164+400 – Km 164+450.....	79
Gráfica. 07 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 07, Depósito aluvial. Progresiva Km164+400 – Km 164+450.....	80
Gráfica. 08 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 08, Depósito aluvial. Progresiva Km164+750 – Km 164+850.....	84
Gráfica. 09 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 09, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km164+750 – Km 164+850.....	85
Gráfica. 10 Curva granulométrica en escala semilogaritmica de la calicata M – 10, Depósito aluvial. Progresiva Km166+585 – Km 166+655.....	107

## LISTA DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto. 01 Vegetación característica en el trayecto de la carretera.....	37
Foto. 02 Cárcavas en la Qda. Gavilán con una matriz coluvio – aluvial en forma de V.....	41
Foto. 03 Talud vertical con composición rocosa.....	42
Foto. 04 Falla inversa en la Fm. Chimú.....	48
Foto. 05 Falla Regional Agocucho – La Colpa.....	49
Foto. 06 Talud inestable en la progresiva Km 162+110 – Km 162+230.....	55
Foto. 07 Talud inestable en la progresiva Km 162+750 – Km 162+860.....	60
Foto. 08 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 163+250 – Km 163+350.....	65
Foto. 09 Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.....	67
Foto. 10 Talud inestable en la progresiva Km 164+240 – Km 164+280.....	74
Foto. 11 Talud inestable en la progresiva Km 164+400 – Km 164+450.....	78
Foto. 12 Talud inestable en la progresiva Km 164+750 – Km 164+850.....	83
Foto. 13 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 165+240 – Km 165+290.....	88
Foto. 14 Tres familias de discontinuidades en el macizo rocoso.....	90
Foto. 15 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 165+700 – Km 165+850.....	97
Foto. 16 Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.....	99
Foto. 17 Talud inestable en la progresiva Km 166+585 – Km 166+655.....	106
Foto. 18 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 166+655 – Km 166+780.....	110
Foto. 19 Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.....	112
Foto. 20 Afloramiento de calizas margosas en la progresiva Km 167+070 – Km 167+210, altamente alterado, compuesto por intercalaciones de lutitas y calizas de textura packstone.....	119
Foto. 21 Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.....	121
Foto. 22 Estabilización en la progresiva Km 162+110 – Km 162+230.....	128
Foto. 23 Estabilización en la progresiva Km 162+750 – Km 162+860.....	129
Foto. 24 Estabilización en la progresiva Km 163+250 – Km 163+350.....	130
Foto. 25 Estabilización en la progresiva Km 164+240 – Km 164+280.....	131



Foto. 26 Estabilización en la progresiva Km 164+400 – Km 164+450.....	132
Foto. 27 Estabilización en la progresiva Km 164+750 – Km 164+850.....	133
Foto. 28 Estabilización en la progresiva Km 165+240 – Km 165+290.....	134
Foto. 29 Estabilización en la progresiva Km 165+700 – Km 165+850.....	135
Foto. 30 Estabilización en la progresiva Km 166+585 – Km 166+655.....	136
Foto. 31 Estabilización en la progresiva Km 166+655 – Km 166+780.....	137
Foto. 32 Estabilización en la progresiva Km 167+070 – Km 167+210.....	138

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El comportamiento litomorfoestructural de la zona sureste de la ciudad de Cajamarca, en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, es bastante compleja, debido a la presencia de geoestructuras fuertemente disturbadas, dando lugar a plegamientos, fallamientos y fuerte fracturamiento en los macizos rocosos, los cuales por estar constituidos por rocas margosas, calcáreas, areniscosas, cuarcíticas, limolíticas y lutáceas; son propensas a un fuerte proceso de erosión y meteorización física y química, produciendo deformaciones profundas en la estructura rocosa y por consiguiente originando inestabilidad de taludes.

#### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

##### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, se encuentran afloramientos de rocas margosas, calcáreas, areniscosas, cuarcíticas, limolíticas y lutáceas, así como cobertura de depósitos cuaternarios aluviales y coluvio - aluviales, los cuales están fuertemente meteorizados física y químicamente, además presentan procesos de erosión, dando lugar a condiciones geodinámicas inestables en los taludes de la carretera. La inestabilidad se debe a la presencia de deslizamientos en suelos y rocas, siendo necesario definir las características geomecánicas a lo largo del eje de la carretera, para determinar los factores de seguridad actuales y las posibilidades de mejorarlos principalmente en los tramos críticos.

##### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Existe interrelación entre el comportamiento litomorfoestructural de los macizos rocosos y suelos con la inestabilidad de los taludes en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 GENERAL**

- Realizar la evaluación geotécnica de los macizos rocosos y suelos en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán para definir la inestabilidad de los taludes.

#### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Analizar el comportamiento litomorfoestructural del área de estudio.
- Determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso y los depósitos cuaternarios.
- Definir el comportamiento geomecánico y geotécnico de los taludes de la carretera.
- Calcular los factores de seguridad de los deslizamientos críticos mediante el software Slide.
- Identificar las zonas de peligros correspondientes a las áreas críticas por inestabilidad de taludes, relacionadas con los eventos geodinámicos.
- Obtener el Título de Ingeniero Geólogo.

### **1.4 HIPÓTESIS**

Las características litomorfoestructurales están relacionadas con el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos y los depósitos cuaternarios en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, los cuales debido a las variables detonantes como son la precipitación y la sismicidad, provocan la inestabilidad de los taludes.

## **1.5 ALCANCES**

Se busca determinar el comportamiento litomorfoestructural, la identificación de los factores que controlan y propician las condiciones geomecánicas, para conocer las características geotécnicas de los taludes en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, siendo la investigación de carácter transversal y de tipo analítico.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Entre la carretera Cruz blanca – El Gavilán existen una carretera asfaltada construida sobre rocas del Cretáceo Inferior y Superior constituida por rocas: margosas, calcáreas, areniscosas, cuarcíticas, limolíticas y lutáceas; y con poca conservación de taludes en suelos y rocas, los cuales se encuentran mayormente en condiciones inestables debido a que los taludes no tienen el mantenimiento adecuado. Además la presencia canteras con métodos de explotación inadecuados, así como el continuo tránsito de vehículos pesados determinan acciones de vibraciones que afectan los taludes.

La tesis presenta buscar investigación en condiciones litomorfoestructurales y su implicancia con la inestabilidad de los taludes, porque es necesario conocer el comportamiento geomecánico y teniendo los resultados se logrará un proceso de control y mejoramiento de los taludes, siguiendo una correcta metodología de trabajo en macizos rocosos y depósitos cuaternarios.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS**

Los estudios a nivel regional y local (Cajamarca) son realizados en gran parte por el área de Geología y la institución formadora representante INGEMMET; la cual brinda información de años anteriores y recientes; para el mejor análisis e interpretación de las áreas o zonas en estudio.

Las investigaciones realizadas de investigación Geológica y Geotécnica son las siguientes:

- Z. Quispe, A. Lagos, (2008). Estudio "Modelamiento estructural de las áreas de Cajamarca, San Marcos y Bolívar", dirigido a PERUMIN XXIX CONVENCION MINERA (ENCUENTRO DE OPERADORES); Estudio se enfocó en la falla Cajamarca en el cual se ha podido diferenciar dos megabloques limitados por dicha falla aflorando por varios Km. de longitud al SE del valle de Cajamarca tal se reporta en los lugares de Llacanora, Namora, Matara, San Marcos e Ichocán.
- Reyes, (1980). "Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba". Enfocándose al contexto Geológico regional en los aspectos de la estratigrafía, tectónica y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región.
- En el año 2011 el INGEMMET, realizó el estudio "Riesgos geológicos en la región de Cajamarca", en el ámbito regional como parte de las cuencas medio-altas de la vertiente pacífica, donde se identifican las zonas con deslizamientos y otros eventos geodinámicos.

- Guevara C. C., (2012), realizó el estudio “Análisis tectónico y su influencia en el control estructural de los yacimientos no metálicos ubicados en el Abra El Gavilán y áreas adyacentes. Cajamarca - Perú”. Identificando el control estructural de dirección NW - SE, facilitando el emplazamiento de cuerpos intrusivos del Paleógeno – Neógeno, así como la ubicación de canteras para la extracción de agregados de construcción y análisis químico.
- Herrera C. E., (2012), realizó el “Estudio estratigráfico del Cretáceo Superior en los alrededores de la ciudad de Cajamarca”. Definió las características litobioestratigráficas de la época del Cretáceo Superior en los alrededores de la ciudad de Cajamarca.

## **2.2 TEORÍAS EXISTENTES AL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades geomecánicas y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico; iniciándose como consecuencia de la utilización del medio geológico en obras superficiales y subterráneas. La caracterización de las rocas y los macizos rocosos y el estudio del comportamiento mecánico y deformacional son complejos debido a la gran variabilidad de características y propiedades que presentan y el elevado número de factores que los condicionan.

Logrando conocer y predecir el comportamiento mecánico de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas. Cuando se excava en un macizo rocoso o se construyen estructuras sobre las rocas se modifican las condiciones iniciales del medio rocoso. El conocimiento geológico y observacional de campo son aspectos fundamentales para evaluar las condiciones mecánicas de las rocas. Teniendo un aspecto fundamental en los ensayos in situ y el laboratorio (permiten cuantificar las propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa) son, junto con los análisis, la aplicación de criterios de resistencia.

## 2.2.1 MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Debido a la complejidad que presentan los macizos rocosos, diversos autores han intentado establecer sistemas de clasificación. Muchos de estos métodos han sido mejorados subsecuentemente, sin embargo la mayoría de estos se basa en observaciones cualitativas y por ello se hace muy importante una interpretación correcta, y experta, de las observaciones en campo. Como tenemos: RQD, RMR, GSI y SMR.

### 2.2.1.1 RQD – Deere (1967)

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

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

### 2.2.1.2 RMR – Bieniawski (1989)

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

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

### 2.2.1.3 GSI – Hoek (1994)

Propuso el Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index), para evaluar la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades. El uso en el criterio de Hoek - Brown ha sido presentado en diversos artículos por Hoek (1994), Hoek et al. (1995), y Hoek - Brown (1997), asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek et al., 1998; Marinos y Hoek, 2000 y 2001). El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades.

Cuadro. 01 Clasificación geomecánica de GSI – Hoek.

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

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

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



### 2.2.1.4 SMR – Romana (1988)

El índice SMR se utiliza para taludes que permite evaluar empíricamente la estabilidad de una excavación. A partir de la clasificación RMR básico sumando dos "factores de ajuste"; uno que es función de la orientación de las discontinuidades (y que es, a su vez, producto de tres subfactores) y otro conocido como "factor de excavación", el cual depende del método utilizado.

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

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

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

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

- $F_2$  depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia al esfuerzo de corte. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a  $45^\circ$ ) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a  $20^\circ$ ). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F_2 = [\tan^2(b_d)]^2$$

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

- $F_3$  refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 que son siempre negativos.
- $F_4$  se determina dependiendo el método de excavación. Así el valor  $F_4$  asignado queda definido por la siguiente tabla.

Cuadro. 02 Clasificación geomecánica para taludes SMR (Romana).

Factores de orientación de las juntas (F1, F2 y F3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$\alpha_j - \alpha_s$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$\alpha_j - \alpha_s - 180$					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$\beta_j$	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110° - 120°	> 120°		
P/T	F3	0.00	-6.00	-25.00	-50	-50

Método de excavación					
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente
F4	15	10	8	0	-8

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

P: rotura plana                       $\alpha_s$ : dirección del talud                       $\beta_s$ : buzamiento del talud  
 T: rotura por vuelco                       $\alpha_j$ : dirección de las juntas                       $\beta_j$ : buzamiento de las juntas

## 2.2.2 CRITERIOS DE ROTURA

### 2.2.2.1 CRITERIOS DE HOEK Y BROWN

El criterio es válido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa, siendo no lineal el criterio donde representa la gráfica de rotura siendo una curva de tipo cóncava. Desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar su matriz rocosa resistente.

Proponiendo Hoek (1985) el Índice Geológico de Resistencia GSI (Geological Strength Index), 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. Como consecuencia de problemas prácticos se tuvieron que introducir la idea de macizos “inalterados” y “alterados” por Hoek y Brown (1988), y la introducción de un criterio modificado para macizos de muy mala calidad con una tendencia a cero (0) (Hoek Wood y Shah, 1992). La resistencia del macizo rocoso está definida por la expresión (Hoek y Brown, 1980):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s}$$

Donde  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor respectivamente,  $\sigma_{ci}$  es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta,  $m$  y  $s$  son constantes adimensionales de Hoek y Brown para la roca del material, con  $s=1$  para roca intacta. Los valores de la resistencia a la compresión uniaxial,  $m$ ,  $s$  pueden ser obtenidos a partir de ensayos de compresión uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) y triaxiales ( $m$ ,  $s$ ,  $a$ ). Estos últimos parámetros pueden obtenerse también a partir de observación en terreno y las siguientes relaciones (Hoek et al., 2002; considera casos particulares de estados tensionales en taludes y el factor de “disturbancia” sobre macizos rocosos):

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

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Alternativamente, para valores de  $GSI > 25$  éste puede determinarse a partir del valor del RMR (Bieniawski, 1989), donde  $GSI = RMR_{89} - 5$ .

Para determinar el valor de  $m$  se requiere conocer  $m_i$ . Este último valor se obtiene a partir de ensayos de compresión uniaxial o bien se estima a través de tablas, donde se le asocia un valor de acuerdo al tipo de roca. En tanto, el valor de  $D$  es el llamado “factor de perturbación” y depende del grado de perturbación y relajación de stress de la roca y varía entre 0 (no perturbada) y 1 (muy perturbada) (Hoek *et al.*, 2002).

Hoek (1990) trato la desviación de las resistencias cohesivas y de los ángulos de fricción equivalentes para diferentes situaciones prácticas. Estas deducciones se basaron en las tangentes a la envolvente de Mohr obtenida por Bray. Hoek (1994) sugirió que la resistencia cohesiva determinada al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr es un valor sobredimensionado y pueden dar unos resultados optimistas en los cálculos de estabilidad. Consecuente, pueden ser más apropiados al ajustar una relación lineal de Mohr – Coulomb por método de mínimos cuadrados. Hoek y Brown (1997) intentaron consolidar todos los procesos anteriores en una presentación comprensiva del criterio de rotura.

En la Figura 01 se representa las tensiones de rotura para el criterio de rotura de Hoek y Brown. En la figura se aprecia que la función que define el dominio elástico es no lineal. Tal y como se ha indicado para el criterio de rotura de Mohr-Coulomb los estados de tensiones encima de la curva están en rotura, mientras que los interiores están en el dominio elástico, y los estados tensionales por encima de la curva son inaccesibles para este determinado caso.

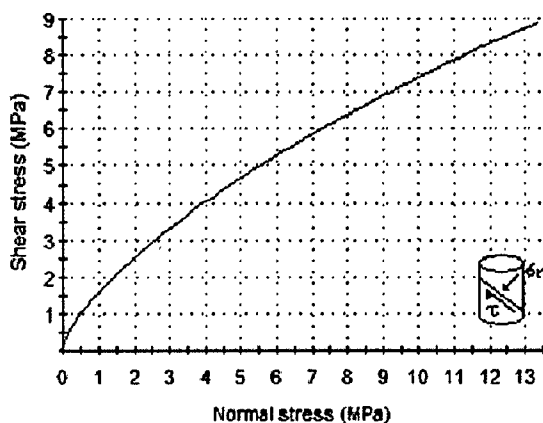


Fig. 01 Representación del criterio de Hoek y Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial.

El comportamiento mecánico de las rocas está generalmente controlado por discontinuidades presentes, especialmente cuando se trata de fracturas abiertas y cuando las orientaciones de las discontinuidades son favorables a deslizamientos (Sepúlveda, 2004). Esta resistencia provocada por esfuerzos solicitantes ejercidos sobre los planos de discontinuidades suele analizarse asumiendo un comportamiento mecánico de acuerdo al criterio de falla de Mohr-Coulomb. En este caso la roca desarrollará una cohesión “aparente” en la superficie de contacto de la fractura, que es función de la rugosidad de la superficie. En este aspecto, el modelo de Mohr-Coulomb no considera este parámetro, sin embargo, Patton (1966) lo introduce mediante la siguiente relación:

$$\phi_i = \phi + i$$

Donde  $\phi_i$  corresponde al ángulo de fricción efectiva de una superficie rugosa, y el valor  $i$  a la inclinación promedio de las asperezas con respecto al plano de discontinuidad. Esta aspereza consecuentemente provoca un aumento en la resistencia al deslizamiento (Figura 02).

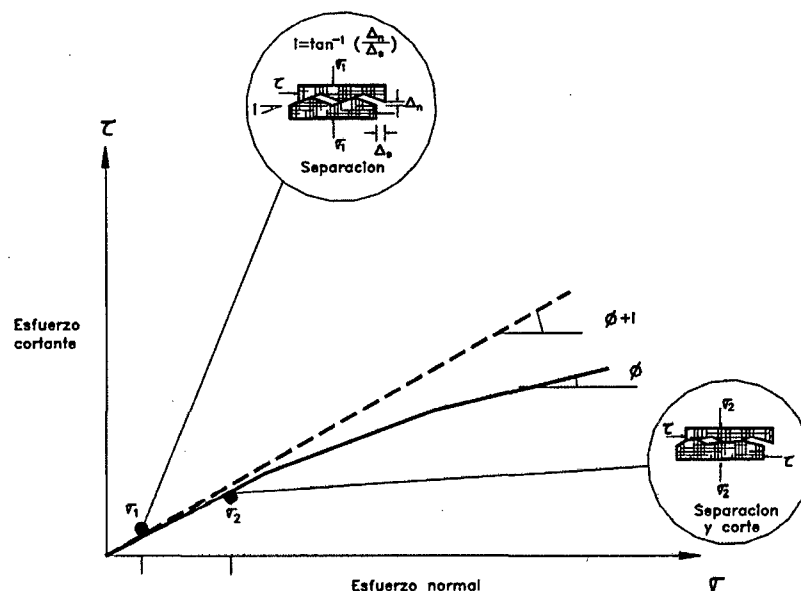


Fig. 02 Efectos de rugosidad en el ángulo de fricción.  
(Fuente: Jaime Suarez Díaz).

### 2.2.2.2 CRITERIOS DE MOHR – COULOMB

El criterio de rotura Mohr – Coulomb, fue propuesto por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, siendo un criterio lineal. Esto significa que la ecuación que define la superficie de fluencia es una línea recta. Para el criterio, se define la rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano.

$$\tau = c' + \tan\phi'$$

Dónde:

$c'$  = la cohesión, en efectivas. Es una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

$\phi'$  = el ángulo de rozamiento interno

$\tau$  = la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura

$\sigma$  = la tensión normal que actúa en el plano de rotura

Es un criterio lineal que es ampliamente usado para definir las condiciones de falla en un suelo, asumiendo el comportamiento lineal que éstos generalmente presentan. Entre los términos que lo componen, la cohesión es una medida de la adherencia entre las partículas que componen el suelo. En suelos granulares secos y saturados la cohesión se supone nula (“suelos no cohesivos”); el caso opuesto lo representan los suelos finos, especialmente las arcillas, en cuyo comportamiento la cohesión juega un rol primordial.

Por otro lado, el ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de roce entre partículas ( $\mu = \tan\phi$ ). El ángulo de fricción depende de varios factores como son: tamaño y forma de las partículas, granulometría y densidad (Lambe & Whitman, 1972).

De esta forma, la recta definida genera una envolvente sobre los círculos que representan el comportamiento del suelo ante las sollicitaciones a las que es expuesto. Dicha envolvente recibe el nombre de “envolvente de Mohr” (quien plantea la teoría general de la resistencia en 1882) (Figura 03). Como significado físico de la envolvente se plantean los siguientes puntos:

*El suelo será estable para un estado de esfuerzos donde el círculo de Mohr quede totalmente por debajo de la envolvente, la resistencia máxima del suelo será alcanzada en un plano donde el círculo de Mohr sea tangente a la envolvente. Este plano crítico forma un ángulo  $\theta_{cr}$  con el plano sobre el cual actúa el esfuerzo principal  $\sigma_1$ , donde  $\theta_{cr} = \pi/4 + \phi/2 = 45^\circ + \phi/2$ , en un suelo no puede generarse un estado de esfuerzos tal que el círculo de Mohr corte a la envolvente, ya que esto implica la falla (Lambe & Whitman, 1972).*

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

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

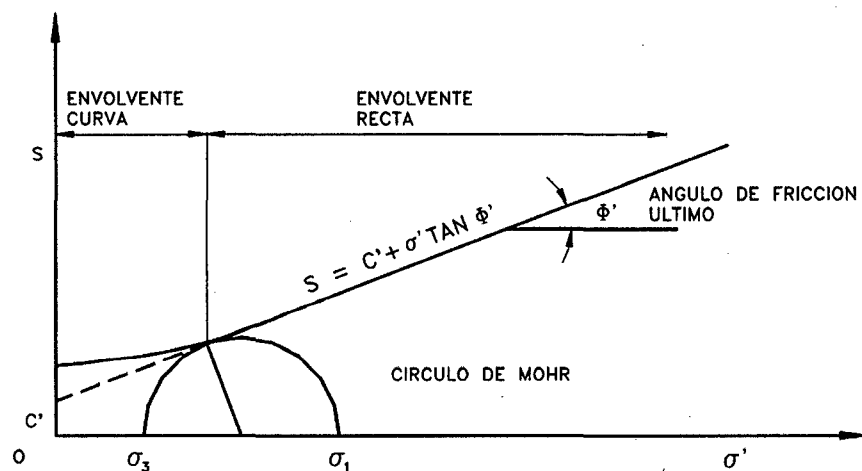


Fig. 03 Envolvente de falla, criterio de Mohr – Coulomb.  
(Fuente: Lambe & Whitman, 1972).

Los suelos no cohesivos como la grava, arena, y limos no plásticos se asumen sin cohesión, y ensayos de laboratorio lo confirman. Casos de suelos típicos que merecen ser mencionados corresponden a los suelos no cohesivos saturados, arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos. El valor de  $\phi$  para suelos no cohesivos saturados varía generalmente entre  $27^\circ$  y  $45^\circ$  grados, dependiendo por ejemplo del aumento de la densidad relativa, de la granulometría y de la forma de las partículas (Wu, 1996). El valor de este parámetro en un suelo bien gradado puede ser varios grados mayor que la de un suelo uniforme del mismo tamaño y forma de partículas. Lo mismo se puede decir para un suelo compuesto por partículas angulares en comparación con un suelo de partículas redondeadas.

La distribución de estas tensiones en una talud se asocia al tipo de movimiento que experimenta ésta a lo largo de la superficie de cizalle. La Figura 04 muestra las diferentes condiciones de stress a las que es sometido un elemento de roca y/o suelo en un talud.

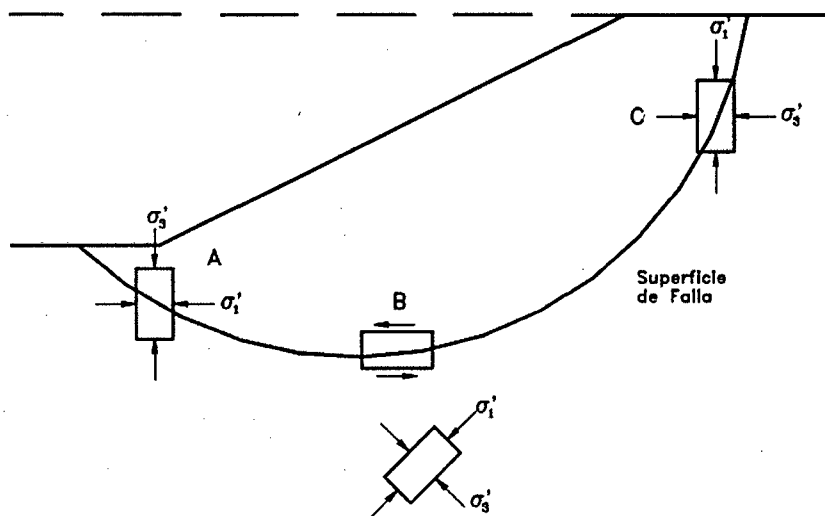


Fig. 04 Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud.  
(Fuente: Lambe & Whitman, 1972).

El efecto de la humedad sobre este valor es solamente de uno o dos grados (Lambe y Whitman, 1972), sin embargo puede influir fuertemente sobre valores de cohesión otorgándole al suelo una cohesión que podría llamarse "aparente", sobre



todo si el suelo se encuentra en condiciones de humedad óptima, donde éste alcanza su densidad seca máxima.

### **2.2.3 ANÁLISIS DE TALUDES**

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

#### **2.2.3.1 ROTURA EN SUELOS**

Las roturas de taludes en suelos se generan a favor de un único plano paralelo a talud son prácticamente inexistentes, aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas. Rompiéndose generalmente a favor de las superficies curvas, como forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud. Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo interior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando este está formando por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas.

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

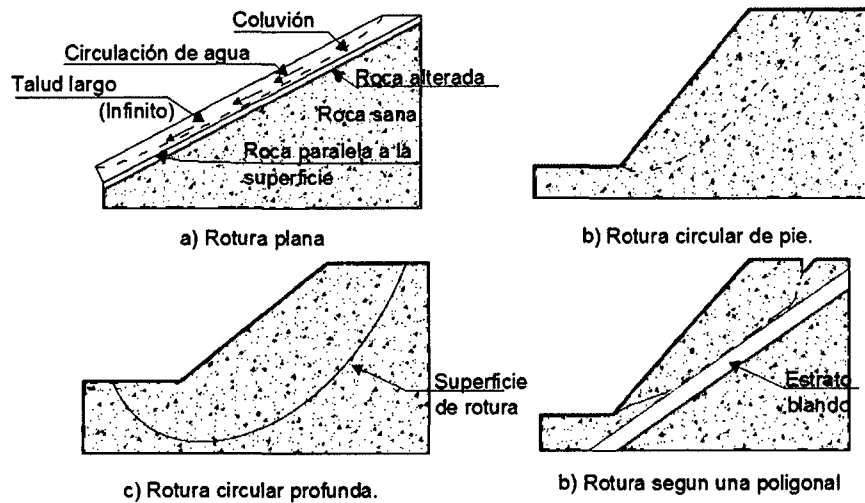


Fig. 05 Tipos de superficies de rotura en suelos.  
(Fuente: Luis I Gonzales de Vallejo, 2002).

## ESTRUCTURA DE LOS SUELOS

Según Blight (1977) citando a Lumb, las juntas en la mayoría de las rocas ígneas y la estratificación en rocas sedimentarias permanecen en los suelos residuales. Igual cosa ocurre con la esquistocidad y la foliación de algunas rocas metamórficas.

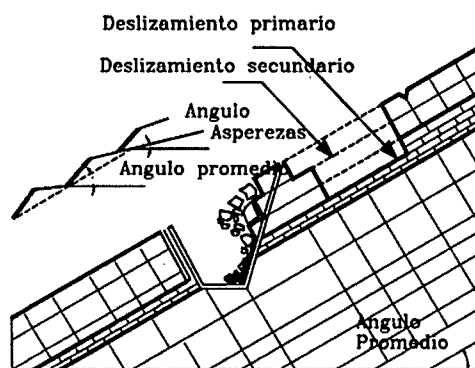
## DIACLASAS

Las juntas juegan un papel importante en las fallas de materiales residuales. Si se encuentran abiertas actúan como conductores de agua y activadores de presiones de poro. Por lo general, se encuentran más abiertas en la superficie que a profundidad. El agua al pasar a través de la junta produce meteorización de sus paredes, formando arena o arcilla que forma superficies de debilidad. Adicionalmente, el agua que viaja a lo largo de las juntas puede llevar arcilla en suspensión que es depositada en ellas y las discontinuidades se hacen muy peligrosas si se encuentran rellenas de arcilla. Las superficies de falla pueden coincidir con una junta o puede comprender varias familias de juntas diferentes formando bloques deslizantes.

## FOLIACIONES

Las foliaciones son superficies generalmente paralelas de baja cohesión y por las cuales las rocas se pueden partir. Estas son debidas principalmente, a efectos de metamorfismo y son conocidas como pizarrosidad, esquistosidad, foliación, etc. Este fenómeno produce direcciones de debilidad muy similares a diaclasas, pero son menos separadas y pueden inducir el desmoronamiento de los suelos al momento de moverse, produciéndose flujos secos del material desintegrado.

A. Buzamiento en la dirección del talud



B. Buzamiento en la dirección contraria al talud

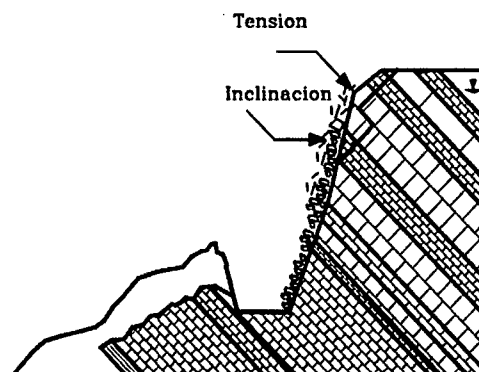


Fig. 06 Efectos de las discontinuidades en la falla de los taludes.  
(Fuente: Jaime Suarez Díaz).

## ESTRATIFICACIÓN

La estratificación genera superficies de debilidad por cambio de material. Cuando los materiales a lado y lado de la estratificación son de propiedades mecánicas similares, trabajan en forma similar a una diaclasa pero cuando la diferencia de propiedades es grande, como en el caso de estratificación de areniscas y Lutitas, la situación se hace más compleja, produciéndose concentración de agua en la interfase y flujo dentro del material más permeable. Este fenómeno genera una zona de meteorización a partir del plano de estratificación que debilita esta superficie.

## **FALLAS**

Su influencia en los problemas de taludes en materiales residuales pueden definirse así: producen una zona de debilidad varios metros de lado a lado y en el caso de fallas de gran magnitud, de varios centenares de metros en dirección normal a éstas. En algunos casos las fallas son verdaderas familias de fallas que parecen especies de diaclasamiento. El material fracturado a lado y lado de la falla puede producir zonas inestables dentro de la formación estable. Los planos de falla a su vez pueden estar rellenos de arcilla o completamente meteorizados, formando superficies débiles muy peligrosas. Es común que un deslizamiento esté directamente relacionado con la presencia de una falla geológica.

## **PROPIEDADES MECANICAS EN LOS SUELOS**

### **RESISTENCIA AL CORTANTE**

La estabilidad de los suelos muy meteorizados (grado VI en la clasificación de Hong Kong), se puede analizar utilizando las teorías tradicionales de la mecánica de suelos, con cierto grado de confiabilidad; sin embargo a medida que se profundiza en el perfil las propiedades de los materiales cambian sustancialmente. Las muestras de roca son difíciles de muestrear y las muestras de tamaño para ensayos de laboratorio generalmente, dan estimativos muy pobres de la resistencia al cortante y de la permeabilidad. El caso más delicado de análisis es el de los saprolitos son generalmente, no saturados, muy débilmente cementados y muy heterogéneos, con varios sistemas de juntas heredadas (Mitchell y Sitar ,1982).

### **VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE**

La cohesión y la fricción entre las partículas o bloques varían considerablemente de acuerdo al tipo de suelo, contenido de minerales, tamaño y forma de las partículas, humedad, presión de poros y la historia de la formación del material.

Adicionalmente, cuando ha ocurrido anteriormente un movimiento, la cohesión y la fricción han disminuido especialmente, cerca de las superficies de falla o fractura.

La resistencia al cortante es generalmente, menor en el suelo que en el saprolito o en la roca, pero las formaciones residuales tienen generalmente, superficies de discontinuidad equivalentes a superficies de debilidad de baja resistencia que facilitan la posibilidad de movimientos. Es común que la resistencia al cortante sea menor a lo largo de las discontinuidades heredadas, que en la matriz del material residual y se reportan casos en los cuales la resistencia a lo largo de la discontinuidad puede ser muy pequeña, comparada con la resistencia a través del suelo en sí, especialmente cuando las discontinuidades se encuentran rellenas. De estudios realizados, discontinuidades con ángulo de fricción para presiones efectivas de aproximadamente  $30^\circ$  se comportan en la práctica como si el ángulo de fricción fuera de menos de  $15^\circ$ , al producirse presiones de poros "preferenciales" a lo largo de las discontinuidades de valores superiores a más de 3 metros de columna de agua.

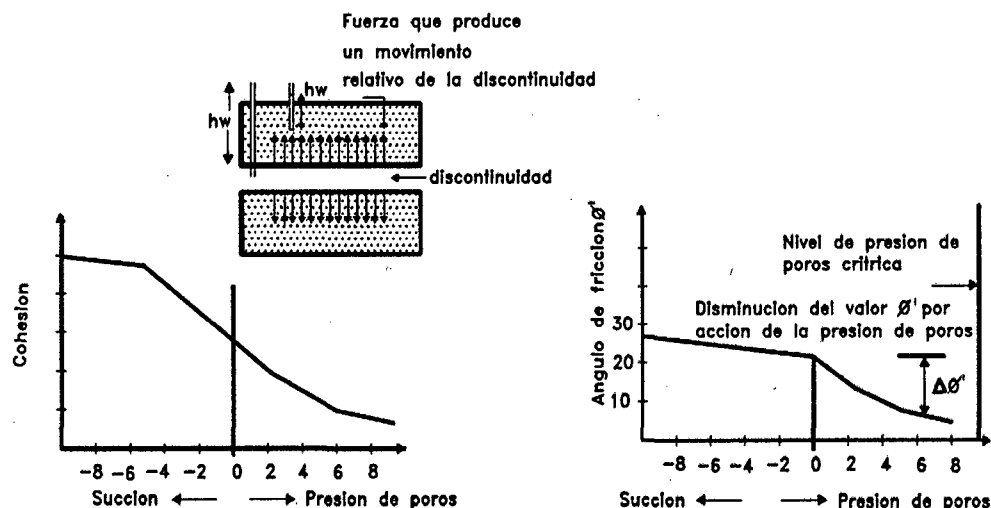


Fig. 07 Variación de cohesión y el ángulo de fricción dentro de una discontinuidad por el aumento de humedad y de la presión de poros.  
(Fuente: Jaime Suarez Díaz).

## **COHESIÓN**

Es una propiedad determinante en el comportamiento de un suelo residual. En suelos no saturados hay una cohesión aparente, la cual es el producto de las presiones negativas en el agua de poros, la cual desaparece por saturación, sin embargo en muchos casos, la cohesión es debida a la cementación de productos precipitados (Sowers - 1985). La cohesión generalmente, no es continua a lo largo de una superficie y desaparece con frecuencia por la abertura de las discontinuidades debida a fuerzas de tensión o a presión de poros.

## **ÁNGULO DE FRICCIÓN**

El valor del ángulo de fricción interna para materiales de Lutitas entre 10 y 35° y para materiales de areniscas entre 25 y 45°, en concordancia a los valores propuestos por Sowers - 1981. En materiales derivados de areniscas, se ha encontrado ángulos de fricción a lo largo de discontinuidades rellenas de arcilla con valores de 10 a 15°, cuando los ángulos de fricción de discontinuidades sin relleno dan valores de 35 a 38° en el mismo talud. Esta realidad dificulta la evaluación del comportamiento de los suelos utilizando los modelos de la mecánica de suelos tradicional.

### **2.2.3.2 ROTURAS 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. Como se presentan en los macizos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. Presentándose los modelos de rotura más frecuentes son: rotura plana, en cuña.

## ROTURA PLANAR

Se entiende por rotura planar, como aquella en el que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. La representación semiesférica en la red de Schmidt de esta condición se observa en la figura 08, se prevé el deslizamiento cuando el rumbo de la familia de discontinuidades es similar al del talud y su buzamiento menor que este.

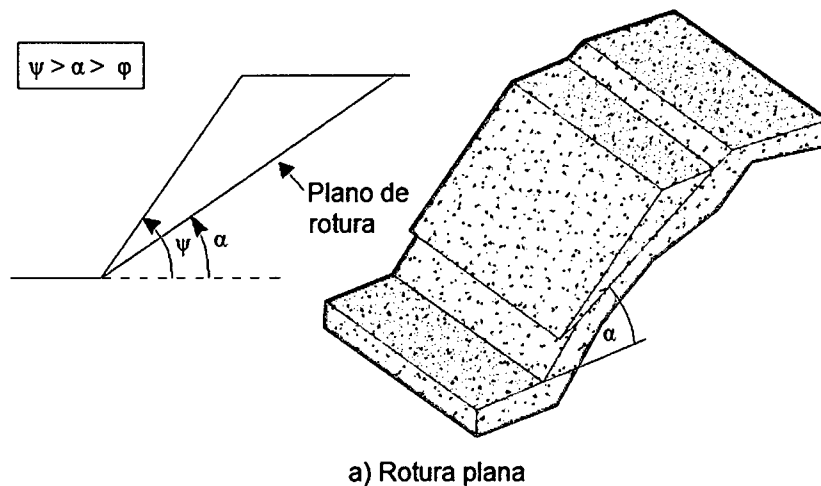


Fig. 08 Condiciones para la rotura plana.  
(Fuente: Luis I Gonzales de Vallejo, 2002).

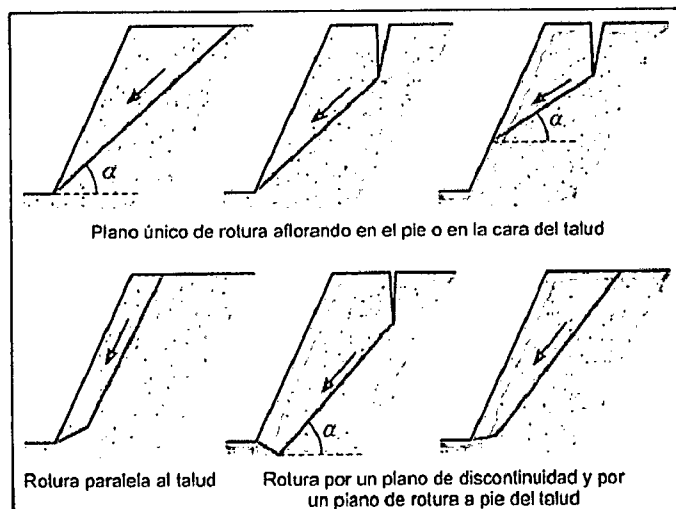


Fig. 09 Tipos de rotura plana.  
(Fuente: Luis I Gonzales de Vallejo, 2002).

## ROTURA EN CUÑA

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

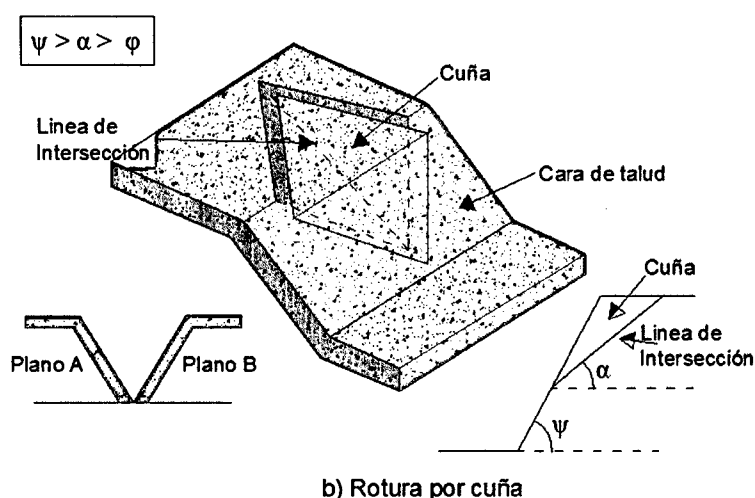


Fig. 10 Condiciones para la rotura en cuña.  
(Fuente: Luis I Gonzales de Vallejo, 2002).

### 2.2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad se aplica al diseño de taludes cuando estos presentan problemas de inestabilidad, en el cual se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costos de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían causar su rotura.

Basándose en un método de análisis de inestabilidad en un planeamiento físico - matemático en la que se intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que interactúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Los factores a su vez, son



interdependientes entre sí; no se podría ejecutar un análisis detallado si no se dispone de los datos necesarios y suficientes ya sean de campo como los de laboratorio, deberían ser obtenidos en función del método de análisis de estabilidad que vaya a emplearse.

#### **2.2.4.1 ANÁLISIS DE TALUDES EN SUELOS**

##### **MÉTODO DE REBANADAS. MÉTODO DE BISHOP**

Este método es el más conocido y utilizado supone además, que las fuerzas de contacto entre cada dos rebanadas no influye, por estar equilibradas. La superficie de rotura circular; en el cual la masa deslizante se divide en  $n$  rebanadas o fajas verticales. Estableciendo un equilibrio de momentos de fuerzas actuantes en cada rebanada con respecto al centro del círculo. Dependiendo de esta condición el equilibrio de fuerzas verticales en cada rebanada se obtiene las fuerzas  $N$  (normales a la superficie de rotura) y sustituyen en la ecuación resultante de equilibrio de momentos.

#### **2.2.4.2 ANÁLISIS DE TALUDES EN ROCAS**

##### **MÉTODO DE ROTURA PLANAR**

Se realiza a partir de las fuerzas actuantes sobre la superficie de rotura considerada, estableciendo la ecuación el coeficiente de seguridad

#### **2.2.5 GEODINÁMICA**

Las teorías afines a la investigación de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen

carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

## **CLASIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN DE MASA**

Esta clasificación de remoción de masas más aceptada y aplicada a nivel internacional está basada por: Hauser, 1993, 2000; Cruden, Varnes, Hutchinson 1996, Collins 2004 y Coraminas, 2007, elaborando una diferenciación entre el tipo de movimiento y los materiales involucrados. Dividiendo los movimientos en masa en dos tipos: caída, deslizamiento,. Además, dividiendo a los materiales en dos clases: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierra.

### **2.2.5.1 CAÍDA**

Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. Una vez desprendido el material cae desplomándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento de masas rocosas (Varnes, 1978). Durante la caída, los materiales podrán adquirir una alta energía cinética, permitiéndoles abarcar una amplia área a los pies de la ladera, lo cual se acrecentaría si se suma una cantidad importante de material aportado. Bajo estas condiciones, se requiere una evaluación de la geometría de la ladera y de las características específicas de las caídas de roca.

Su propagación con pendientes superiores a los  $76^\circ$  se produce preferentemente por caída libre, por debajo de estos ángulos menores a  $45^\circ$  la propagación se realiza por rodadura (Coraminas, 2007). El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes 1996), es decir con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s. Datos históricos han demostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s. (Figura 11)

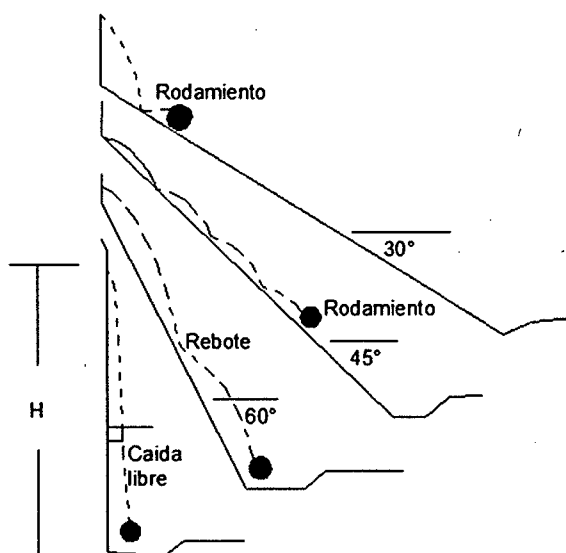


Fig. 11 Formas de movimiento para caídas de rocas. Modificado de Hoek (2000).

Se originan dado algún evento que produzca cambios en los esfuerzos actuantes sobre la roca (infiltración de agua en grietas producto de precipitaciones, procesos de hielo-deshielos en climas fríos, meteorización de la roca, sismos, entre otros). La geometría de la ladera es la responsable de la generación de los eventos, los cuales ocurrirán principalmente en laderas altas, de pendientes pronunciadas y donde el macizo esté fracturado de manera de generar los bloques susceptibles a las caídas.

## MODELO DE CAÍDA DE ROCA

Los modelos de rodamiento y rebote incluyen el caso de caída libre, y pese a que en ambos casos puede existir una componente de deslizamiento en el inicio de la caída, esta interacción entre el macizo y la partícula que se desprende no es lo suficientemente fuerte como para afectar significativamente en la energía y la trayectoria que adquiere la roca (Hoek & Bray, 1981; Chen *et al.*, 1994). En la Figura 12 se muestra la descomposición vectorial de las fuerzas que influyen en el desplazamiento de la roca dado los modelos mencionados y que serán expuestos a continuación.

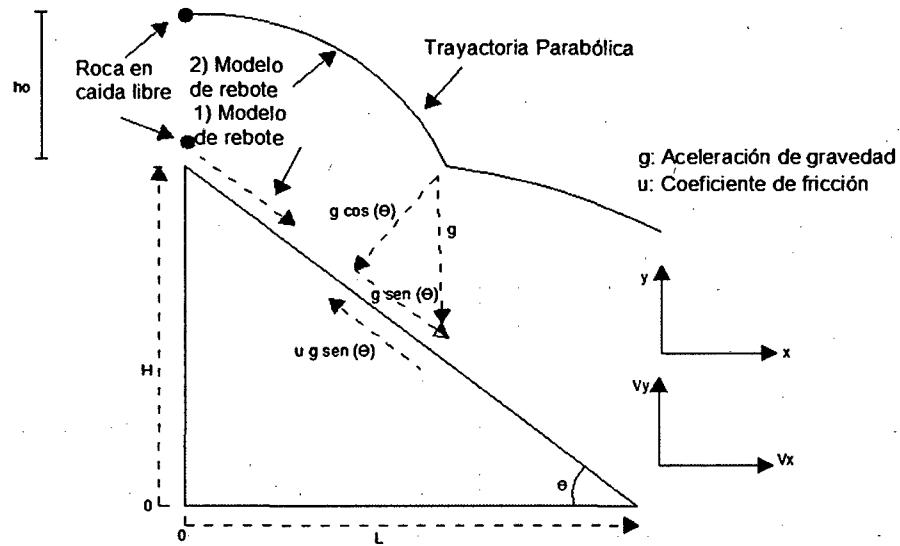


Fig. 12 Descomposición vectorial de fuerzas para caídas de rocas.  
Modificado de Chen et al., 1994.

### 2.2.5.2 DESLIZAMIENTO

Son movimientos laterales abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. Este movimiento no ocurre a lo largo de toda la superficie de ruptura simultáneamente, sino más bien comienza en zonas donde se generan fallas locales, a menudo evidenciadas por grietas de tensión en la superficie original a lo largo de la cual se formará el escarpe principal del deslizamiento.

El inicio de estos desplazamientos se produce cuando el esfuerzo de cizalle supera el valor del esfuerzo normal y la resistencia del suelo en dicha superficie. Cuanto mayor sea la pendiente mayor es la componente de cizalle y los deslizamientos serán más frecuentes (Hauser, 1993). Los movimientos pueden involucrar una masa individual desplazada a lo largo de una única superficie de ruptura o bien dos o más masas desplazadas a lo largo de más de una superficie, en tales casos el movimiento es catalogado como 'simple' o 'múltiple' respectivamente (Hutchinson, 1968); y si un movimiento múltiple ocurre durante un periodo de tiempo se denominará movimiento 'sucesivo' (Hutchinson, 1968) (Figura 13)

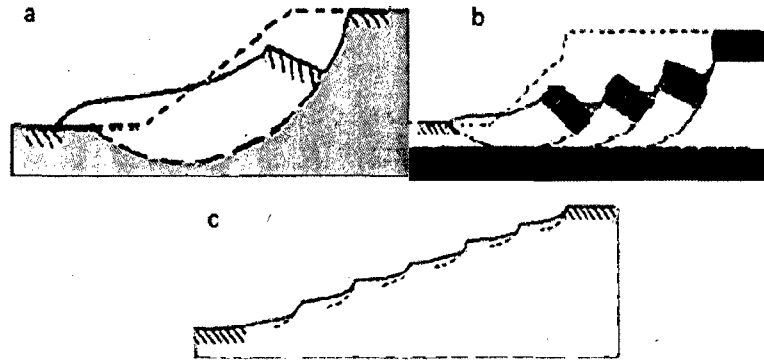


Fig. 13 a) Movimiento simple, b) Movimiento múltiple, c) Movimiento sucesivo. (Hutchinson, 1968).

Los deslizamientos, por otro lado, pueden clasificarse según la superficie de ruptura generada, lo cual está directamente condicionado por el tipo de material involucrado en el movimiento. En esta categoría se encuentran los deslizamientos rotacionales y los deslizamientos traslacionales, que son descritos a continuación. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales; las superficies de ruptura semiplanas u onduladas a los deslizamientos traslacionales y las superficies planas a los deslizamientos planos. Los deslizamientos planos se clasifican en deslizamientos de rocas, deslizamiento de derrubios y las coladas de barro. (Coraminas, 2007)

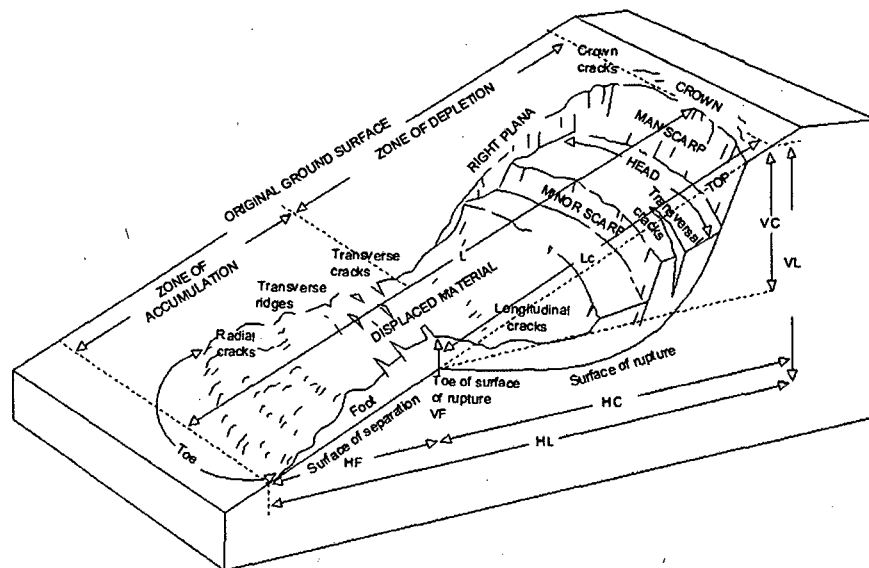


Fig. 14 Nomenclatura de las partes de un deslizamiento. (Fuente: Varnes, 1978).

Entre las partes de un deslizamiento es posible identificar la corona, el escarpe principal, el escarpe menor, tope, punta de la superficie de ruptura, cuerpo principal, flanco, pie, dedo y extremo (Varnes, 1978, Figura 14).

## **DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL**

En este caso, se genera una superficie de cizalle aproximadamente plana, donde la masa deslizará por una superficie menos resistente que corresponderá a discontinuidades presentes ya sea en la roca o el suelo, como fallas, diaclasas, superficies de estratificación o superficies de contacto entre roca y suelo. Este tipo de deslizamiento es en general más superficial que los rotacionales, además mientras la rotación de estos últimos tiende a estabilizar la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede continuar si la superficie de ruptura se mantiene lo suficientemente inclinada (Cruden y Varnes 1996). A medida que el deslizamiento traslacional continúa, y si la velocidad de éste o su contenido de agua aumentan, el desplazamiento podría tomar una forma más parecida a un flujo de detritos.

Entre los principales tipos de deslizamientos traslacionales figuran los deslizamientos en bloque. Estos pueden estar limitados por una sola estructura mayor, también llamados deslizamientos planos. En este caso es común que la acumulación de fragmentos de material que se genera a los pies de la ladera difiera en granulometría, disminuyendo de diámetro a medida que se encuentran más alejados de ésta. La vegetación en la zona deslizada se presenta caótica y en parches, mientras que las condiciones de drenaje son normalmente buenas ya que la mayor cantidad del drenaje en este caso es interno.

## **DESLIZAMIENTO EN CUÑA**

Este tipo de deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud. La velocidad de

los movimientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

## **DESLIZAMIENTO ROTACIONAL**

Este tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava; presentando una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento. Pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1m/s. Estos movimientos ocurren en materiales homogéneos, por lo cual tienen gran incidencia sobre rellenos. Sin embargo, los materiales naturales no son idealmente uniformes, por esto los movimientos en laderas se orientan, al menos parcialmente, por las discontinuidades y zonas de debilidad que estos presentan. La generación de este tipo de remoción está asociada a pendientes que varían entre 20° y 40° (Soeters & Westen, 1996).

El escarpe principal generado por un deslizamiento rotacional, es cercanamente vertical e inestable, en consecuencia pequeños movimientos podrán generar la retrogresión del deslizamiento. A esto se suman los pequeños deslizamientos que se podrán generar en las paredes de la superficie cóncava de ruptura, dada su inestabilidad. El nivel de agua no suele presentarse a mucha profundidad y podrá drenarse de tal manera de mantener húmeda la superficie y la zona del escarpe, generando potenciales deslizamientos en la cabecera una vez que el escarpe ha alcanzado pendientes suficientes. La vegetación en materiales deslizados se observa caótica y perturbada, y la ausencia de cultivos o diferencias en el uso del suelo con respecto a zonas aledañas hablan de la actividad de los movimientos (Soeters & Westen, 1996).

### **CAPÍTULO III**

## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La metodología de investigación empleada en la Tesis es exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa; basada observaciones de los afloramientos y taludes de la carretera; y la toma de muestras rocas y suelos para el análisis en laboratorio. Realizando esta toma de datos como: rumbo, buzamiento, fallas, pliegues, diaclasas y parámetros geomecánicos de los macizos rocosos, para realizar el análisis geotécnico; con los cuales se generaran interpretaciones y conclusiones finales.

### **3.2 PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.2.1 ETAPA DE GABINETE**

Esta etapa se conforman en dos fases: la primera, antes de comenzar el trabajo, conformada por una planificación de tareas a realizar anexado a una recopilación de información y varios análisis de ortofotos e imágenes satelitales para un mejor estudio estructuras y geomorfomas. La segunda fase lo conforma campañas de campo constituyendo un análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo.

#### **3.2.2 ETAPA DE CAMPO**

Se realizó el cartografiado geológico, caracterización geomecánico; de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, a escala 1: 2 000; logrando un análisis comparativo y descriptivo, permitiendo definir las condiciones geotécnicas.



Así mismo se realizó muestreos principalmente por trincheras, canales superficiales en diferentes puntos críticos de la zona de estudio.

### **3.2.2 ETAPA DE LABORATORIO**

Las muestras tomadas en campo se analizaron en la Universidad Nacional de Cajamarca (laboratorio de suelos de Ingeniería Civil) para hallar los parámetros físicos como, granulometría, clasificación SUCS, contenido de humedad, pesos específicos, límites de consistencia, y los parámetros geomecánico.

### **3.2.1 ETAPA FINAL**

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procesó e interpreto luego se utilizó software`s como: SAS. Planet. Release, Erdas Erviewer V13, ArcGis 10.1, Slide V6, AutoCad 2014, Global Mapper 14, DIPs, Rock Lab; con los cuales se logró obtener los mapas temáticos y finales.

Se culminó con la redacción del informe.

### **3.3 EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN**

El equipo utilizado para la toma de datos son: El registro geológico – geotécnico, brújula geotécnica, GPS Garmin, protactor, lupa, rayador, picota, ácido clorhídrico 20%, plano geológico, imágenes satelitales, martillo de Schmidt, wincha, flexometro, cámara fotográfica, libreta de campo.

### **3.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Se utilizó una computadora Laptop para procesar los datos de campo y gabinete mediante los software`s indicados anteriormente, lográndose el análisis de los datos para obtener los planos que demuestren el comportamiento de los taludes.

Los resultados tuvieron la consistencia y valides necesaria, debido a que las técnicas y análisis de datos fueron verificados adecuadamente, para que los planos temáticos, cuadros y gráficos muestren la realidad de la información de los taludes en todo el trayecto de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán.

### **3.5 CONTROL DE CALIDAD DE DATOS**

La calidad de datos es un aspecto muy importante a considerar debido a que se pueden cometer errores en la toma de datos con los equipos de campo, como pueden ser GPS, martillo Schmidt y la brújula geotécnica; siendo muy importante un previo análisis instrumental tanto de los propios equipos y su calibración, para minimizar los errores generados por el descuido de los equipos.

Otro aspecto es controlar la calidad del muestreo utilizando protocolos estándares conocidos, teniendo en cuenta siempre obtener contramuestras y evitar la contaminación insitu y en la operatividad en laboratorio.

## CAPÍTULO IV GENERALIDADES

La carretera Cruz Blanca – El Gavilán se encuentra ubicada sureste de la ciudad de Cajamarca, en la Provincia y Distrito de Cajamarca.

### 4.1 UBICACIÓN

La carretera comprende el cuadrángulo de Cajamarca (15 - f); con coordenadas UTM – DATUM - WGS84 – ZONA - 17S

Cuadro. 03 Coordenadas del límite de estudio.

Vértices	Longitud	Latitud
Punto inicial (Km 162+000)	779508	9198079
Punto final (Km 173+800)	774821	9204671

Políticamente se encuentra ubicado en:

Cuadro. 04 Ubicación.

<b>Departamento</b>	Cajamarca
<b>Provincia</b>	Cajamarca
<b>Distrito</b>	Cajamarca

### 4.2 LONGITUD

La carretera de estudio abarca una longitud de 11+800

### 4.3 ACCESIBILIDAD

El acceso al punto de inicio del área de estudio se realiza desde la ciudad de Cajamarca por la Av. Héroes del Cenepa la cual llega a la Av. Independencia donde en su intersección constituye el hito con progresiva Km. 173+800; luego tomando la dirección SE siguiendo la misma carretera asfaltada en malas condiciones hasta llegar al hito El Gavilán con progresiva Km 162 + 500, ubicándose en la parte más alta de la zona de estudio.

Cuadro. 05 Accesos a la zona de estudio.

Ruta - Terrestre	Distancia (Km.)	Vía	Estado
Cruz Blanca - El Gavilán	11+800	Asfaltada	Regular
Cajamarca(Av. San Martín de Porres) – Av. Héroes de Cenepa	1+500	Pavimento	Regular

Cuadro. 06 Condición de vía y tiempos de desplazamiento.

Ruta - Terrestre	Distancia (Km.)	Vía	Tiempo
Cruz Blanca - El Gavilán	11+800	Terrestre	20 min
Cajamarca(Av. San Martín de Porres) – Av. Héroes de Cenepa	1+500	Terrestre	10 min

### 4.4 CLIMA

El área de estudio tiene un clima templado a frío, las temperatura promedio mínima, media y máximas no varían mucho durante el año, presentando una variación en cuanto a la temperatura mínima varía entre 3 y 8°C en las partes más altas El Gavilán presentado un enfriamiento durante las noches claras y por consecuencia aumentan las heladas; mientras que las temperaturas máximas fluctúan entre 21 y 22°C en el valle de la Cajamarca y su temperatura media fluctúa 13 y 14°C Cruz Blanca.

Cuadro. 07 Estación Werberbauer.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Precipitación (mm)	89	102	126	93	37	13	6	8	34	76	58	78
Evapotrans pot (mm)	128	106	107	94	95	93	105	117	127	131	137	135
Días con lluvia	13	17	17	14	9	4	2	2	9	9	8	11
Temp. máx. (°C)	22	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22
Temp. mín. (°C)	8	7	7	7	5	3	3	4	5	7	6	6
Temp. med. (°C)	14	14	14	14	14	13	13	14	14	14	14	14
Hum. rel. med. (%)	71	75	77	78	73	68	62	58	64	68	64	67
Rad. Global (m/m <sup>2</sup> )	17.3	17.4	17.4	15.8	14.4	14.9	16.5	16.9	16.8	18.1	19.9	18.3
Horas de sol (n/n) (%)	37	36	33	38	48	50	56	50	40	41	49	43
Vel. Del viento (m/s)	15	15	15	15	15	26	31	31	26	21	15	15

Fuente: Estación Weberbauer, 7° 7'S, 78° 27'W, 2621 m.s.n.m. año 2011

#### 4.5 VEGETACIÓN POR REGIÓN

La vegetación encontrada son: Eucalipto (*Eucaliptus glóbulos*), Ciprés (*Cupresus macrocarpa* L.), Penca blanca (*Fourcroya andina*), ichu (*Stipa ichu*) y otras plantas de tallo corto.

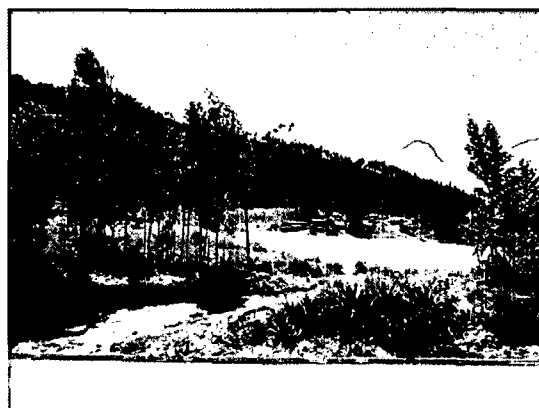


Foto. 01 Vegetación característica en el trayecto de la carretera.

##### 4.5.1 REGIÓN QUECHUA

Se ubica sobre los 2500 a 3500 m.s.n.m, siendo un clima templado a frío; con pendientes medias a accidentadas.

## **CAPÍTULO V**

### **MODELO DIGITAL**

El modelo digital en la cartografía convencional maneja información territorial y local de diversos tipos en función a datos y la naturaleza de las variables; basadas en tipos básicos de modelos: iconos, análogas y simbólicos (Turner, 1970) en función a las reglas de construcción del modelo. El primer modelo establece propiedades morfológicas con conservación de sus escalas topográficas. En modelo análogo presenta propiedades similares a los objetos sin ser una réplica morfológica, los cuales facilitan la lectura e interpretación. Los simbólicos nos información que suele aplicarse en objetos reales. A partir de estos modelos digitales, podemos englobar a dos modelos básicos que se han utilizado en el presente estudio de investigación; como son: modelo digital del terreno (MDT) y modelo digital de elevaciones (MDE).

#### **5.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO**

En Modelo Digital del Terreno (MDT) aplicado en al área de estudio carretera Cruz Blanca – El Gavilán; se basó en la imagen satelital y ámbitos de actualización en la modelización de fenómenos geográficos, en función de la resolución (celdas, teselas o pixeles) y el softward SAS. Planet, el cual busca, captura y ejecuta la descarga en función de la imagen, trabajando en paralelo con 15 satélites, ejecutando la descarga de cada una de ellas en función del tipo de imagen y resolución; analizando una serie de parámetros altitudinales, topográficos y geomorfológicos, los que han sido utilizados para nuestra investigación.

La imagen satelital refleja en forma lógica la información de almacenamiento y vinculación de unidades de información y formas de relacionar espacialmente los datos; constituyendo un tipo de modelo análogo de terreno (MAT) realizándose el tratamiento de la información con herramientas matemáticas y otros programas

informativos, redefinió los dominios abarcando desde el punto inicial (El Gavilán) y punto final (Cruz Blanca) de la carretera en estudio.

## **5.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES**

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se aplicó como complemento compatible del MDT el cual constituye la infraestructura básica del resto de mapas, como la obtención de pendientes en función a la altitud como tablas estadísticas de doble entrada, combinando el MDT, el MDE y MDP (Modelo Digital de Pendientes), obteniéndose archivos como: curvas de nivel, drenaje delimitación del área de estudio, carretera principal y progresivas, para lo cual se utilizaron softwares complementarios al MDT, generando archivos tipo: Raster, vectorial y triangulaciones que minimizan el estudio topográfico abarcando zonas inaccesibles.

Los archivos Raster aplicados a partir del MDT son la base fundamental para la generación de múltiples aplicaciones como: MDGA (Modelo digital geomorfológico altitudinal), MDP (Modelo Digital de Pendientes), MDA (Modelo Digital Altitudinal); para una mejor zonificación del proyecto. Se definió mediante un método indirecto en un 60% a partir de documentos previos como: Estéreo-imágenes digitales, estereo - imágenes análogas y método directo 40% conformado por: GPS, brújula geotécnica, martillo Schmidt, etc.

## **CAPÍTULO VI**

### **GEOMORFOLOGÍA**

Morfológicamente se distinguen dos zonas; una zona alta con presencia de rugosidades y con clima lluvioso intenso, temperaturas altas y la ausencia de vegetación, lo cual contribuye a la meteorización física y la erosión que origina una extensa cubierta detrítica conformando terrazas y laderas inestables en el flanco izquierdo de la carretera.

La segunda zona son las acumulaciones de desmontes y botaderos de materiales de las canteras aledañas, así como de los materiales producidos por las cárcavas y deslizamientos, los cuales han generado fuertes pendientes, constituyendo depósitos coluvio - aluviales naturales y antrópicos.

#### **6.1 QUEBRADAS**

Las quebradas son lechos jóvenes con geometría en forma de V con fuertes procesos de erosión lateral y de fondo, conformando canales de descarga del tipo angosto pero profundo, con presencia de niveles de agua tanto en tiempo de lluvias así como en estiaje. La geometría del canal de las quebradas es poca sinuosa por su condición juvenil y debido a la variabilidad y temporalidad en la descarga pluvial, denotándose la profundización del cauce a lo largo de toda su longitudinal.

El comportamiento cinético es más notorio cuando se observa una mayor erosión de fondo que lateral en los tiempos de altas precipitaciones y por consiguiente se acelera los procesos de erosión de las laderas desde las partes altas y especialmente donde se encuentran las zonas de explotación de las canteras.



## 6.2 CÁRCAVAS

Se encuentran desde la divisoria de las Cuenca del Atlántico y Pacífico desde el Gavilán disminuyendo hasta el Km 162+000 - Km 166+000; La erosión profunda facilita el avance lateral y frontal de las cárcavas, evidenciándose algunas de ellas en sus secciones en forma de V irregular y otras más erosionadas con tendencia a la geometría en forma de U; produciéndose erosión acelerada por la poca cobertura vegetal y las precipitaciones lluviosas.



Foto. 02 Cárcavas en la Qda. Gavilán con una matriz coluvio - aluvial en forma de V.

## 6.3 TERRAZAS

Se evidencian por las acumulaciones de sedimentos y rocas como: bloques, gravas, arenas, depósitos coluviales - aluviales y aluviales en las pendientes y márgenes de la carretera.

Genéticamente son materiales producto de varios procesos erosivos relacionados con los ríos y quebradas, definidos por su matriz heterogénea e irregular sin una estratificación definida.

## 6.4 TALUDES

Los taludes expuestos en la carretera Cruz Blanca - El Gavilán, son mayormente inestables debido a su geometría y composición heterogénea, con morfotopometría a lo largo de la carretera de pendientes desde 50° hasta verticales, las cuales son afectados por el proceso fluvial, teniendo como resultante taludes bastante meteorizados.



Foto. 03 Talud vertical con composición rocosa.

## 6.5 LADERAS

Sobre las formaciones del Grupo Goyllarisquizga y las secuencias suprayacentes como las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, compuestas principalmente por areniscas, cuarcitas, lutitas, calizas, margas y limolitas fuertemente fracturadas y altamente meteorizables, se tienen pendientes desde 5° hasta 70°. Un enfoque importante es la presencia de las geoformas según los planos geomorfológico altitudinal y el plano de pendientes, donde se nota que cercano a la cota 3200 es donde ocurren los problemas de inestabilidad por la presencia de la carretera de ingreso a la ciudad de Cajamarca.

Constituidas por las inclinaciones de los cerros en la cuenca del atlántico y cuyo comportamiento que es mayormente empinado en toda el área de estudio. Presentando variaciones en su conformación morfológica, debido a los agentes erosivos y los cambios litológicos y en especial a su comportamiento frente a las deformaciones estructurales que han actuado durante fines del mesozoico y el cenozoico, los cuales han dado lugar a las geoformas actuales. Se puede notar que no existe una homogeneidad de taludes debido a las diferencias litológicas y estructurales, variando sensiblemente a lo largo del eje de la carretera.

## **CAPÍTULO VII**

### **GEOLOGÍA LOCAL**

La carretera Cruz Blanca – El Gavilán, se encuentra emplazada sobre un sistema de plegamientos (sinclinal - anticlinal) de dirección SE – NW y estructuralmente con fallas de dirección NE-SW hasta E-W; pertenecientes al cretáceo inferior conformada por las Formaciones: Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, constituyendo el Grupo Goyllarisquizga sobre el cual suprayacen las Formaciones: Inca, Chulec, Pariatambo y cretáceo superior conformada por la Formación Yumagual. Presentando secuencias estratigráficas de areniscas, cuarcitas, lutitas calcáreas, calizas nodulares de color gris claro hasta oscuras; variaciones de calizas arenosas y margas gris oscuras, todas ellas en forma de estratos intercalándose con estratos muy delgados hasta estratos muy potentes. Sobre todas estas Formaciones se reconocieron ocho unidades litoestratigráficas, abarcando este conjunto de rocas litoestratigráficas que va desde el Valanginiano - Cenomaniano encontramos depósitos cuaternarios aluviales en algunos casos con cierta tendencia estratiforme y en otros casos muy heterogéneos y desordenados.

#### **7.1 CRETÁCEO INFERIOR**

##### **7.1.1 GRUPO GOYLLARISQUIZGA**

###### **7.1.1.1 FORMACIÓN CHIMÚ**

Localmente esta Formación conforma la base sedimentaria que se depositó en un ambiente continental deltaico, aflorando desde la progresiva Km 162+000 al km 163+900 comprendiendo El Abra El Gavilán con rocas cuarzosas de grano grueso redondeado a subredondeado, lo cual nos indica que ha tenido un largo transporte por su granulometría y esféricas, y desde la progresiva Km 169+800 a km 172+700 con una composición más compacta de grano fino la cual indica su ambiente de depositación es más continental. Siendo la roca más antigua

designada por primera vez por Benavides (1956), perteneciente a la edad del Valanginiano. Consiste de una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas en bancos.

#### **7.1.1.2 FORMACIÓN SANTA**

Aflora en la progresiva Km 163+900 al km 164+050, presentando un ambiente de depositación en mar somero con una transgresión marina, la cual presenta intercalaciones de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras; presentando buzamientos que oscilan entre los 55° - 65° en el cerro Ventanilla; evidenciándose como una franja muy delgada que veces es difícil su identificación por la cobertura cuaternaria.

#### **7.1.1.3 FORMACIÓN CARHUAZ**

Subyace Formación Santa, conformado por un ambiente lacustrino (limoarcillitas); constituida por una alternancia de areniscas y lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciación en campo); presentando en el tope bancos de cuarcitas con algo de lutitas y areniscas.

#### **7.1.1.3 FORMACIÓN FARRAT**

Esta Formación ocupa el segundo lugar en cuanto a su potencia, conformado por areniscas granocrecientes del tipo facies deltaicas; locales después de la Formación Chimú, evidenciándose claramente el cambio de facie de la Formación Carhuaz y Farrat,

#### **7.1.2 FORMACIÓN INCA**

Constituye una secuencia netamente transgresiva y somera; diferenciando claramente la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos

de cuarcitas, con especial coloración en una zona que va de los rojizos hacia amarillo anaranjado el flanco izquierdo.

### **7.1.3 GRUPO CRISNEJAS**

#### **7.1.3.1 FORMACIÓN CHÚLEC**

Sobreyace a la Formación Inca evidenciándose claramente las transiciones entre la Formación Chulec, siendo un ambiente marino profundo. Constituida por secuencias fosilíferas de calizas arenosas, lutitas calcáreas, margas; adquieren un color crema-amarillento, por intemperismo, presentando aspecto terroso amarillento.

#### **7.1.3.2 FORMACIÓN PARIATAMBO**

Aflora con intercalaciones de margas y calizas nodulares, propios de un ambiente marino de mayor profundidad que la Formación Yumagual para lo cual se tuvo que correlacionar los planos de estratificación y de muestreo presentando alternancia de lutitas en lechos delgados de caliza bituminosas de color negruzcas, presencia de estratos calcáreos con nódulos silíceos y dolomíticos. Yace concordancia con la Formación Chulec.

### **7.1.4 GRUPO PULLUICANA**

#### **7.1.4.1 FORMACIÓN YUMAGUAL**

Aflora en la parte intermedia de la Qda constituyendo secuencias de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes, con presencia de un miembro medio lutaceo margoso de color amarillo; de tal manera conforma el eje de sinclinal para su mayor ubicación en la progresiva Km 169+150.

## **7.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS**

### **7.2.1 DEPÓSITOS COLUVIO – ALUVIALES**

Se encuentran constituidos el flanco izquierdo del talud adyacente de la Carretera Cruz Blanca – El Gavilán en el Km.172+500; caracterizándose por contener bloques, gravas angulosas a subangulosas distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, englobando una matriz arenosa que se distribuye irregularmente

### **7.2.2 DEPÓSITOS ALUVIALES**

Se evidencian más en la parte superior El Gavilán constituidos por gravas angulosas de tamaños que van desde 20'' hasta gravas finas, arenas gruesas y finas y con muchos contenidos de limos y presencia de lutitas. En su mayor parte los depósitos presentan fuerte oxidación, notándose por la coloración rojiza anaranjada hasta amarillenta. Presentando suelos muy anisótropos con propiedades estrechamente relacionadas con su granulometría.

## CAPÍTULO VIII

### GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La carretera Cruz Blanca – El Gavilán, se encuentra emplazada sobre un sistema de plegamientos (sinclinal - anticlinal) de dirección SE – NW y estructuralmente con fallas de dirección NE-SW hasta E-W; una escala 1: 20000 dando una énfasis en cartografiar las unidades litoestratigráficas Mesozoicas (Cretáceo inferior - superior) y Cenozoicas (Holoceno). Se basa en el modelo uniaxial (Modelo de Twiss & Moores, 1992. Figura N° 15) de plegamientos y un posterior fallamientos asociados con un desarrollo de sistema de esfuerzos compresivos ( $\sigma_1$ ) con direcciones SE – NW, el cual genera un sistema de pliegues (Hatcher, 1995. Figura N° 16) locales y regionales y un consiguiente sistema de esfuerzos tensionales ( $\sigma_3$ ) con direcciones NE-SW. Las fallas mayormente cartografiadas son fallas inversas; esto significa que tuvo expuesta a constantes compresiones estructurales generando una serie de fallamientos en el alineamiento principal SE – NW.

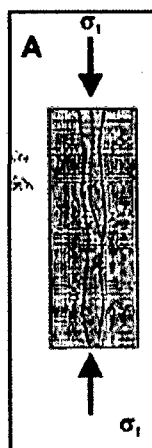


Fig. 15 Modelo uniaxial. Twiss & Moores, 1992. Sistema de aberturas paralelo al esfuerzo principal.

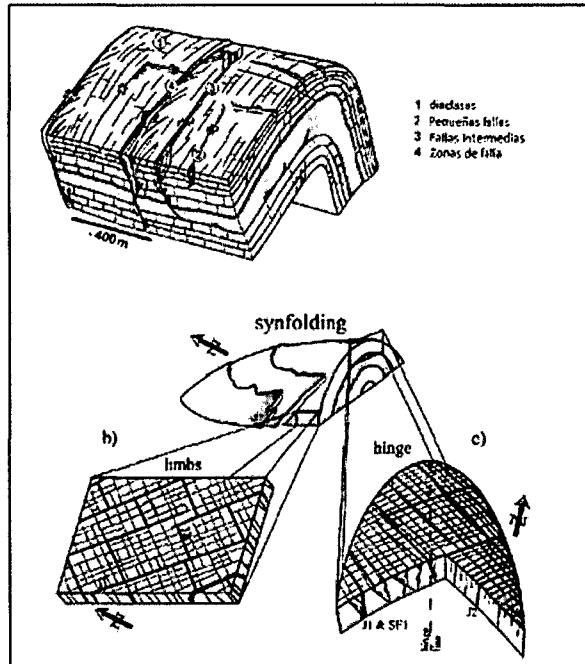


Fig. 16 Modelo de estructuras plegadas, con un sistema de diaclasamiento y fallamientos tensionales.

## 8.1 ZONA SE

En el extremo SE de la progresiva Km 162+000 – Km 167+000; presenta las estructuras muy disturbadas por la Geotectónica, predominando anticlinal tumbado, sinclinal y anticlinal afectados en varios tramos por fallas: normales, inversas con estratificaciones de estratos en muchos casos verticales a subverticales  $85^\circ - 75^\circ$ .

En la progresiva Km 162+100 se manifiesta una falla inversa con un paquete de brecha de 30 cm., el cual a desplazo al bloque techo generando estrías de falla con una dirección  $71^\circ$  NW, pitch  $15^\circ$  y slickensides proyectando los planos de desplazamientos y traquelación.



Foto. 04 Falla inversa en la Fm. Chimú.



En la progresiva Km 163+400 estructuralmente tenemos la Falla Regional Agocucho – La Colpa, Falla Regional por su amplio brechamiento con un espesor de 3.5 m, con una data: Dip =  $54^\circ$  y DD =  $323^\circ$ . Afectando a ambos flancos del paquete rocoso siendo el flanco derecho la zona de estratificación más tectónicamente afectada por los plegamientos y micro plegamientos de dicha Falla, el cual nos da indicios de un intenso esfuerzo geotectónico formando una estructura isoclinal en forma vertical en las areniscas y lutitas de la Formación Chimú



Foto. 05 Falla Regional Agocucho – La Colpa.

En la progresiva Km 164+550 Falla Normal Regional con un brechamiento de 1.25m., con un Dip =  $72^\circ$  y DD =  $172^\circ$ ; en su brechamiento se observó una micro brecha a brecha según la matriz brechoza de traquelamiento de: fino anguloso a grueso; presentando milonita en los flancos de la falla que es un indicador de la actividad de traquelamiento, concordando con el plano de desplazamiento.

En la progresiva Km 165+250 - Km 166+000 se encuentran estructuras plegadas en forma simultánea o sucesiva iniciándose con un sinclinal teniendo una orientación  $N245^\circ - 46^\circ NW$  un flanco, a 20m. Falla inversa  $N255^\circ - 84^\circ SE$  afectando al sinclinal y en el otro flanco del sinclinal de  $N212^\circ$  y plunch  $40^\circ - 45^\circ$  en ambos flanco – anticlinal – sinclinal; los cuales presentan estratificaciones verticales que varían de  $70^\circ - 80^\circ$ .

## 8.2 ZONA NW

En esta dirección se emplazan dos estructuras geológicas bien definidas: sinclinales y anticlinales, por sus Dip y DD de los estratos según su secuencia estratigráfica; afectada por una falla inferida la cual define el cambio brusco de

Cretáceo Superior – Inferior. Presentando un alineamiento paralelo andino está representado por un patrón de pliegues orientados, dentro de las rocas mesozoicas y con un alineamiento de efusiones volcánicas Paleógeno – Neógeno en el área de Cajamarca (1985).

## **CAPÍTULO IX**

### **GEODINÁMICA**

El entorno geológico y morfotopométrico nos ha proporcionado una apreciación más clara de la inestabilidad que está ocurriendo. Los fenómenos geológicos que están ocurriendo en la carretera se clasifican en movimientos de masas por deslizamientos y derrumbes, fenómenos condicionados por los agentes y causas externas, internas e intermedias.

Debe tenerse en cuenta que la correspondencia entre causas y agentes ha predisposto a la zona para inestabilizar los taludes; teniendo como causa el modo de accionar de determinado agente y de la mejor manera entendiéndose como que los agentes son expresados por una o más causas.

Considerando estos conceptos, en la zona han accionado causas internas que podrían colapsar algunos taludes produciendo remoción de masas, las que cambiarían estructuralmente la geometría del talud y que tienen directa relación con la disminución de la resistencia interna del material que está en función directa con el incremento de la presión hidrostática cuando se satura el macizo, disminución del factor de cohesión y efecto directo en el ángulo de fricción interna.

Así mismo se tiene causas externas que inciden en incrementos de las tensiones de cizallamiento, aun cuando no haya disminución de la resistencia del material; los que se están verificando en nuestra zona por el aumento de la pendiente por los trabajos de erosión y meteorización natural y en un incremento de los taludes por la explotación de las canteras.

En el caso de los agentes, se han analizado básicamente Tres tipos:

## 9.1 AGENTES PREDISPUSTOS

Los cuales consisten en el análisis geológico, geométrico y ambiental del volumen de masa que comprometen el movimiento y que tienen mayor relación con las condiciones naturales que en la acción antrópica. El Complejo Geológico, Morfológico, Climático, Hidrológico, hidrogeológico.

Las características litoestratigráficas muestran buzamientos que van desde sub horizontales hasta 75°, y están constituidos por unas secuencias margosas, calcáreas, areniscosas, cuarcíticas, limolíticas y lutáceas, así como cobertura de depósitos cuaternarios aluviales y coluvio-aluviales. Sobre esta secuencia actuaron las deformaciones mayormente plásticas de origen compresional y tensional, produciendo estructuras plegadas y fuertemente fracturadas, teniendo una mayor consistencia en los estratos competentes. Otras variables predisuestas, que han apoyado para el movimiento de la masa del área de estudio tenemos la gravedad, el calor solar y la poca vegetación original.

## 9.2 AGENTES EFECTIVOS PREPARATORIOS

En la zona han actuado entre los más importantes, la precipitación, erosión del agua superficial sobre los taludes, tanto en las pendientes de las quebradas así como en las pendientes de los taludes y su propio cauce, coadyuvando que las diversas energías se encuentren, muy interrelacionadas con los procesos de congelamiento y deshielo, así como con la variación de temperatura. Otras variables de estos agentes son observados en las disoluciones químicas de las rocas encontrándose, oxidaciones, sulfataciones, que están combinándose directamente con las elevaciones y descensos del nivel freático en las pendientes, mostradas por las áreas húmedas en superficies.

### 9.3 AGENTES EFECTIVOS INMEDIATOS

Actuantes en el proceso de desplazamiento, se tienen las intensas lluvias durante las épocas de invierno y en especial cuando ocurren los fenómenos del niño, los cuales producen fuerte erosión en superficie y subterránea, contribuyendo en la inestabilidad del talud.

En el trabajo de campo se ha observado una confrontación y una fuerte complementariedad entre estas causas y agentes, combinándose con suma facilidad en el corto, mediano y largo plazo de actividad, en la inestabilidad de los taludes, habiendo sido impactado en los últimos años por el mayor agente efectivo intermedio que fueron las lluvias de los años 1998 – 2001, los que por su gran intensidad están produciendo el debilitamiento de la resistencia en los planos de deslizamiento, accionando flujos hidrogeológicos que erosionan la estructura interna de la masa roca-suelo y que pueden producir desplazamientos importantes del macizo rocoso, especialmente cerca al Gavilán y en las áreas de explotación de canteras.

## **CAPÍTULO X**

### **GEOTÉCNIA**

El desarrollo geotécnico dentro de la carretera de estudio se ha sectorizado por tramos críticos, dentro de los cuales se analizan y definen el comportamiento geológico - geomecánico, que van en función de las variables identificadas por sus condiciones geotécnicas.

#### **10.1 ANÁLISIS GEOTÉCNICO**

##### **10.1.1 TRAMO 01 - PROGRESIVAS Km 162+110 - Km 162+230**

El talud está ubicado en El Abra - El Gavilán Distrito de San Juan, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo.

La base del talud presenta un Basamento de cuarcitas pertenecientes a la Formación Chimú (Ki-chim). En la parte intermedia a alta conformado por un depósito coluvial y aluvial compuesta por gravas finas a gruesas de 0.20 m de diámetro, de color blanquecino, englobando una matriz arenosa de grano fino a medio con poco porcentaje de finos, con presencia de lutitas meteorizadas formando óxidos en ciertas niveles del talud. Conformando un paleocanal por consecuencia de la acumulación de rocas muy meteorizadas.

La corona del talud ha sido modificada en por la erosión y meteorización; presentando un cuerpo del deslizamiento actual por la ocurrencia una serie de deslizamientos individuales, lo cual le da una morfología distorsionada al talud haciendo aparentar un movimiento general de todo el cuerpo de deslizamiento actual. Siendo controlado por una superficie de rotura curvo cilíndrico, por su morfología.

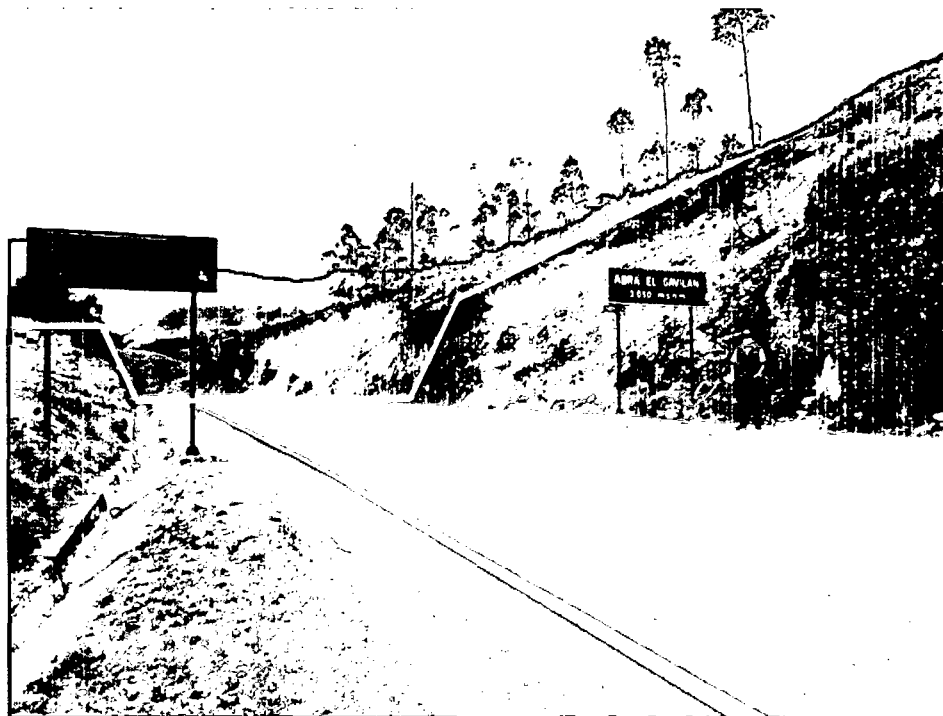
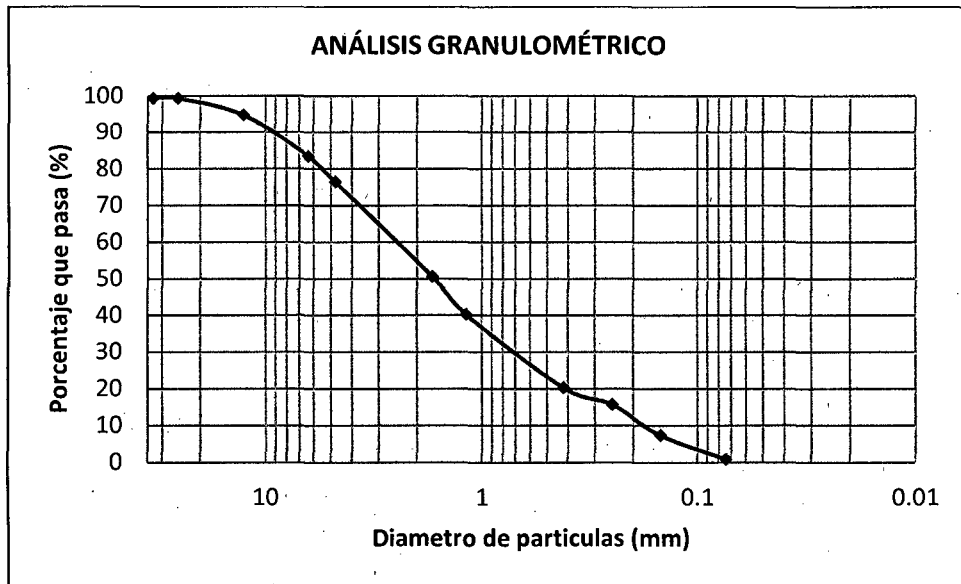


Foto. 06 Talud inestable en la progresiva Km 162+110 – Km 162+230.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO****CALICATA:** Aluvial**Pms:** 4.159 Gr.Cuadro. 08 Análisis granulométrico de la calicata M – 01, Depósito aluvial.  
Progresiva Km 162+110 – Km 162+230.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.025	0.601	0.601	99.399
1"	25.40	0.000	0.000	0.601	99.399
1/2"	12.70	0.191	4.592	5.193	94.807
1/4"	6.35	0.472	11.349	16.542	83.458
N°4	4.760	0.290	6.973	23.515	76.485
N°12	1.700	1.075	25.848	49.363	50.637
N°16	1.180	0.430	10.339	59.702	40.298
N°40	0.420	0.835	20.077	79.779	20.221
N°60	0.250	0.190	4.568	84.347	15.653
N°100	0.150	0.347	8.343	92.690	7.310
N°200	0.074	0.270	6.492	99.182	0.818
<N°200		0.034	0.818	100.000	0.000



Gráfica. 01 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M - 01 Depósito aluvial. Progresiva Km 162+110 - Km 162+230.

**CALICATA:** Coluvial

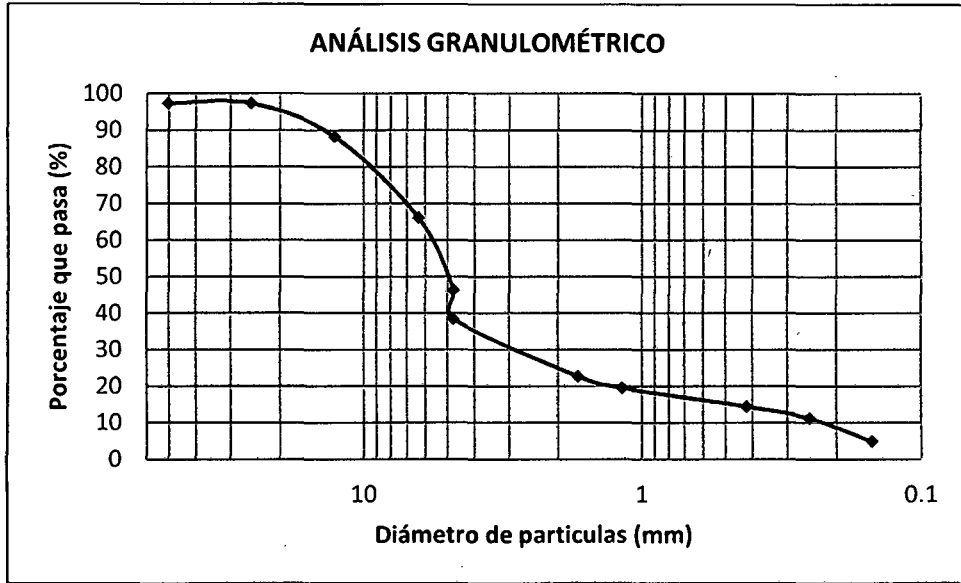
**Pms:** 5.700 Gr.

Cuadro. 09 Análisis granulométrico de la calicata M - 02, Depósito coluvial. Progresiva Km 162+110 - Km 162+230.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
2"	50.30	0.153	2.684	2.684	97.316
1 1/2"	25.40	0.000	0.000	2.684	97.316
1"	12.70	0.515	9.035	11.719	88.281
1/2"	6.35	1.260	22.105	33.824	66.176
1/4"	4.760	1.130	19.825	53.649	46.351
N°4	4.760	0.450	7.895	61.544	38.456
N°12	1.700	0.900	15.789	77.333	22.667
N°16	1.180	0.180	3.158	80.491	19.509
N°40	0.420	0.292	5.123	85.614	14.386
N°60	0.250	0.187	3.281	88.895	11.105
N°100	0.150	0.355	6.228	95.123	4.877
N°200	0.074	0.268	4.702	99.824	0.176
<N°200		0.010	0.175	100.000	0.000

Pms: Peso de muestra seca, P.R.P: Pesos retenidos parciales, % R.P: Porcentaje de pesos retenidos en cada tamiz, % R.A: Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz, %Pasa: Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.





Gráfica. 02 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M - 02, Depósito coluvial. Progresiva Km 162+110 - Km 162+230.

## ANÁLISIS SLIDE

### • TENSIONES TOTALES

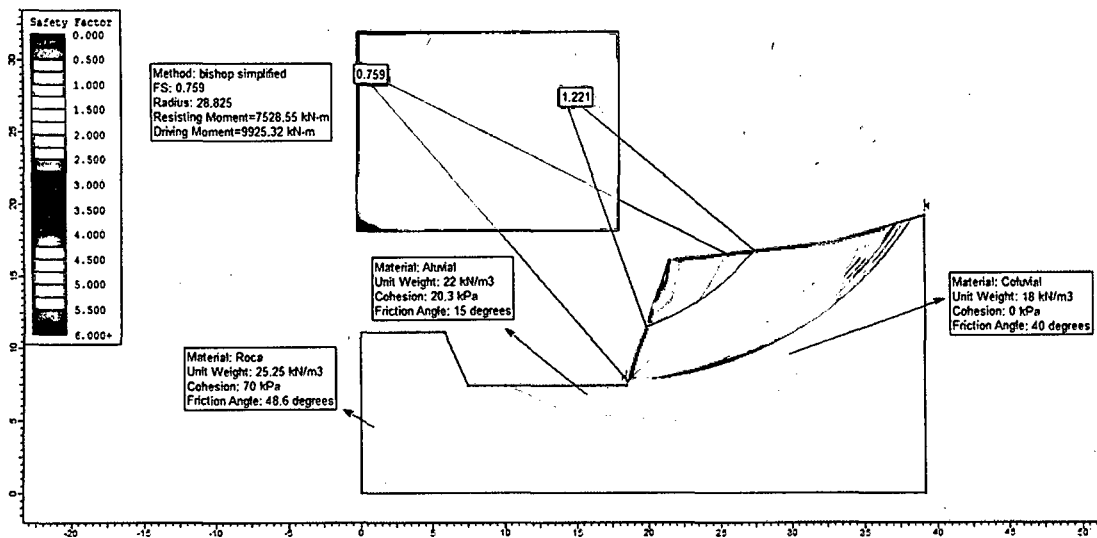


Fig. 17 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.759.

• TENSIONES EFECTIVAS

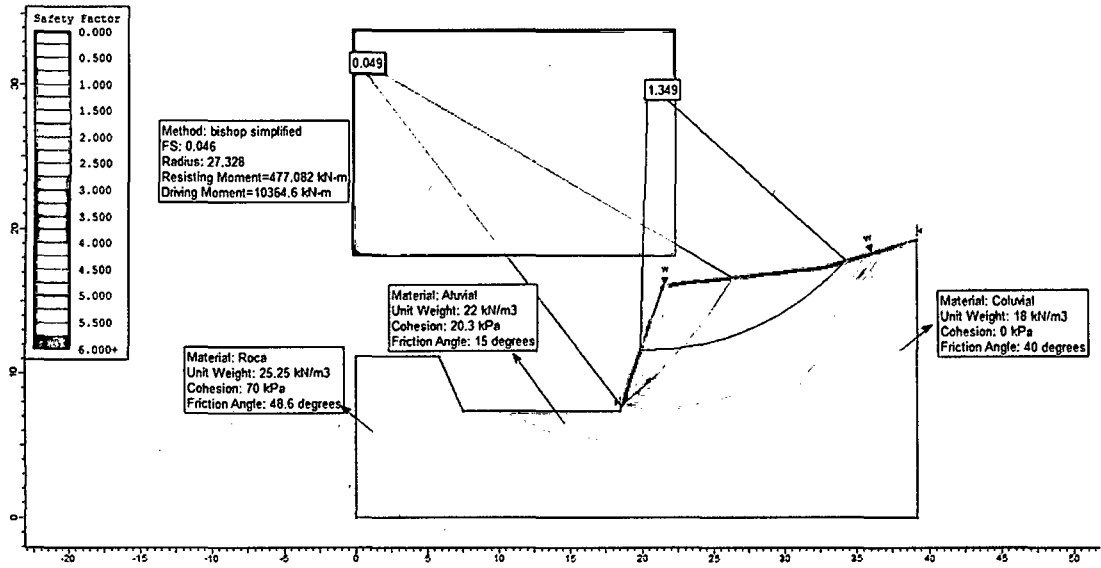


Fig. 18 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.049.

• TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD

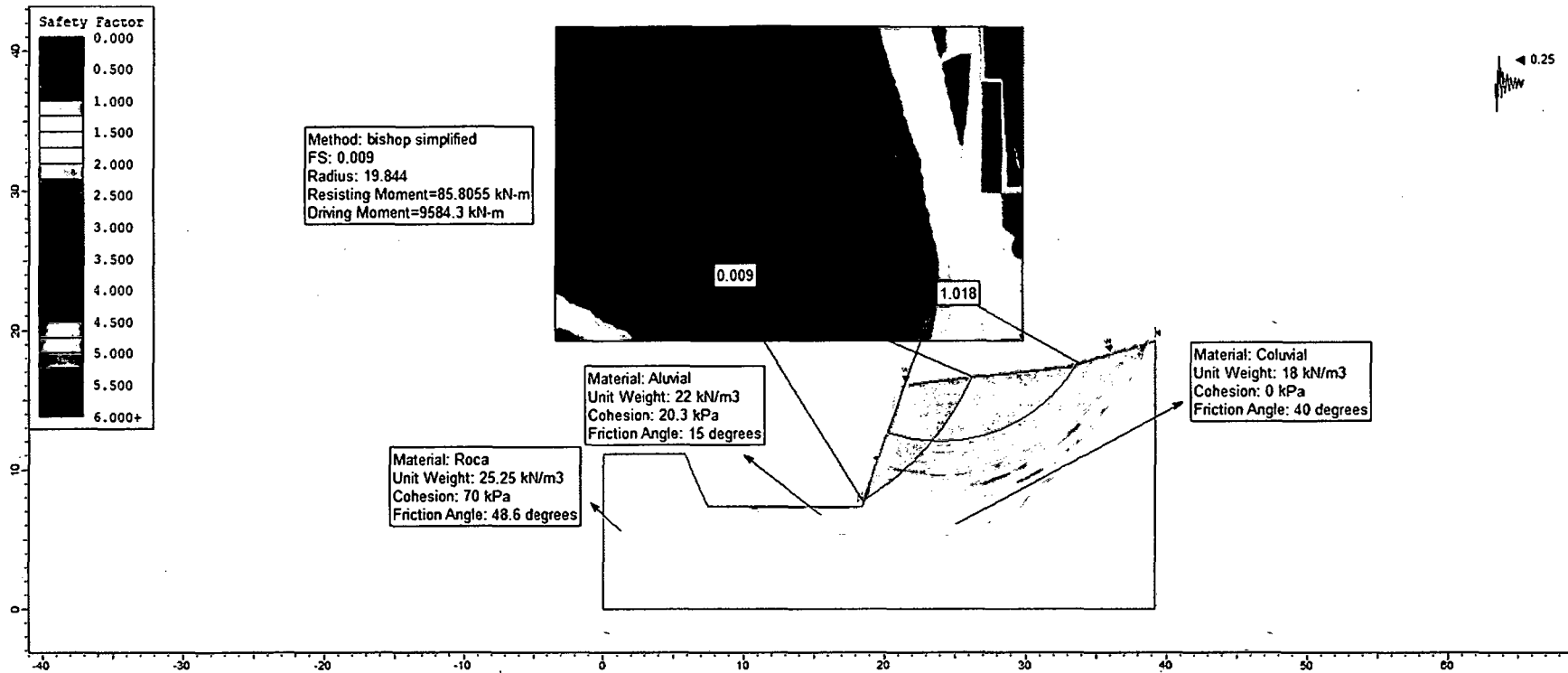


Fig. 19 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.009.

### 10.1.2 TRAMO 02 - PROGRESIVAS Km 162+750 - Km 162+860

El talud está ubicado en El Abra - El Gavilán, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo.

En la parte baja conformado por un depósito coluvio – aluvial compuesta por gravas finas a gruesas de 0.40 m de diámetro, de color blanquecino, englobando una matriz arenosa de grano fino. La parte superior conforma un depósito aluvial generado por la meteorización de las partes altas de los macizos rocosos que arrastran rocas por gravedad y se depositan en la parte intermedias y baja del talud.

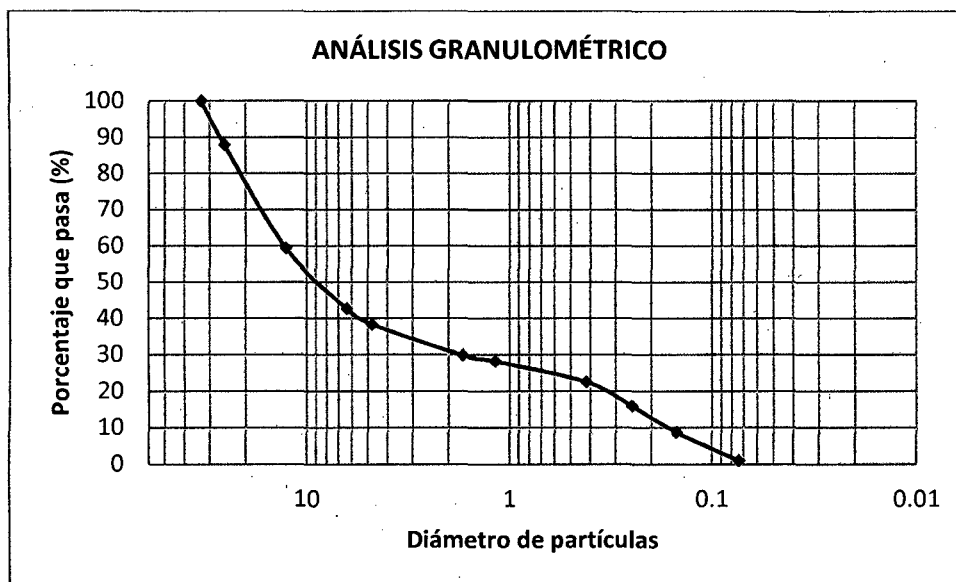
Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas redondeadas, cuyo talud se encuentra activo claramente por la zanja de coronación en la parte superior del talud; presentando pendientes de 60°.



Foto. 07 Talud inestable en la progresiva Km 162+750 – Km 162+860.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO****CALICATA:** Coluvio - aluvial**Pms:** 3.450 Gr.Cuadro. 10 Análisis granulométrico de la calicata M - 03, Depósito coluvio - aluvial.  
Progresiva Km 162+750 - Km 162+860.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.1	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.4	0.415	12.029	12.029	87.971
1/2"	12.7	0.985	28.551	40.580	59.420
1/4"	6.35	0.575	16.667	57.246	42.754
N°4	4.760	0.152	4.406	61.652	38.348
N°12	1.700	0.295	8.551	70.203	29.797
N°16	1.180	0.055	1.594	71.797	28.203
N°40	0.420	0.197	5.710	77.507	22.493
N°60	0.250	0.230	6.667	84.174	15.826
N°100	0.150	0.247	7.159	91.333	8.667
N°200	0.074	0.269	7.797	99.130	0.870
<N°200		0.030	0.870	100.000	0.000

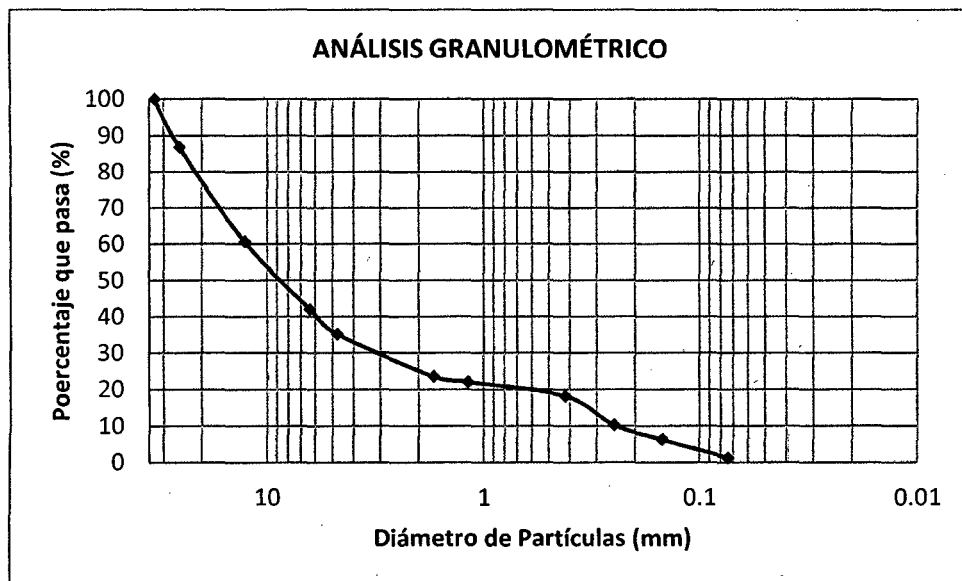


Gráfica. 03 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M - 03, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 162+750 - Km 162+860.

**CALICATA:** Aluvial**Pms:** 3.110 Gr.Cuadro. 11 Análisis granulométrico de la calicata M – 04, Depósito aluvial.  
Progresiva Km 162+750 – Km 162+860.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.000	0.000	0.000	100
1"	25.40	0.408	13.119	13.119	86.881
1/2"	12.70	0.815	26.206	39.325	60.675
1/4"	6.350	0.579	18.617	57.942	42.058
N°4	4.760	0.212	6.817	64.759	35.241
N°12	1.700	0.365	11.736	76.495	23.505
N°16	1.180	0.045	1.447	77.942	22.058
N°40	0.420	0.122	3.923	81.865	18.135
N°60	0.250	0.247	7.942	89.807	10.193
N°100	0.150	0.123	3.955	93.762	6.238
N°200	0.074	0.158	5.080	98.842	1.158
<N°200		0.036	1.158	100.000	0.000

Pms: Peso de muestra seca, P.R.P: Pesos retenidos parciales, % R.P: Porcentaje de pesos retenidos en cada tamiz, % R.A: Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz, %Pasa: Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.



Gráfica. 04 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M – 04, Depósito aluvial. Progresiva Km 162+750 – Km 162+860.

## ANÁLISIS SLIDE

- TENSIONES TOTALES**

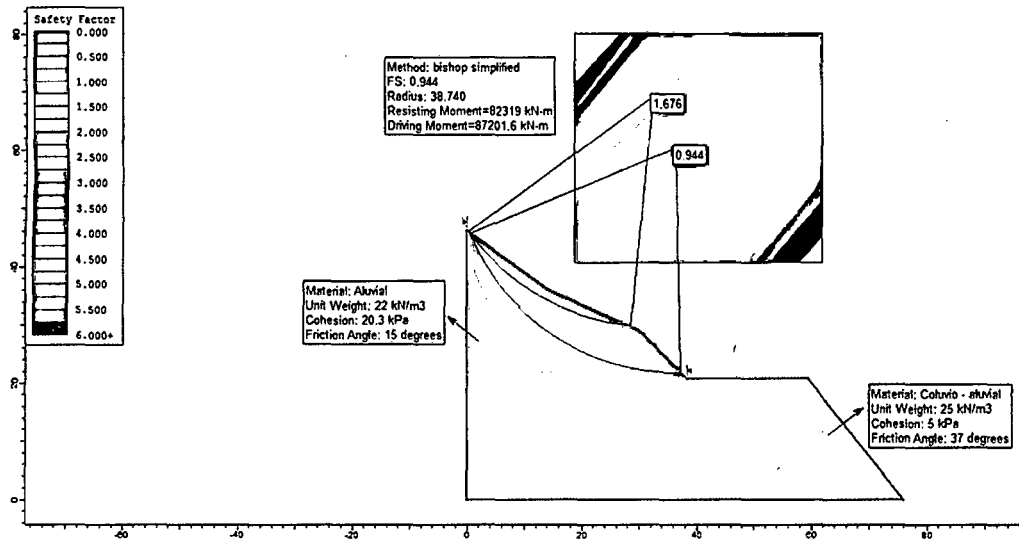


Fig. 20 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.944.

- TENSIONES EFECTIVAS**

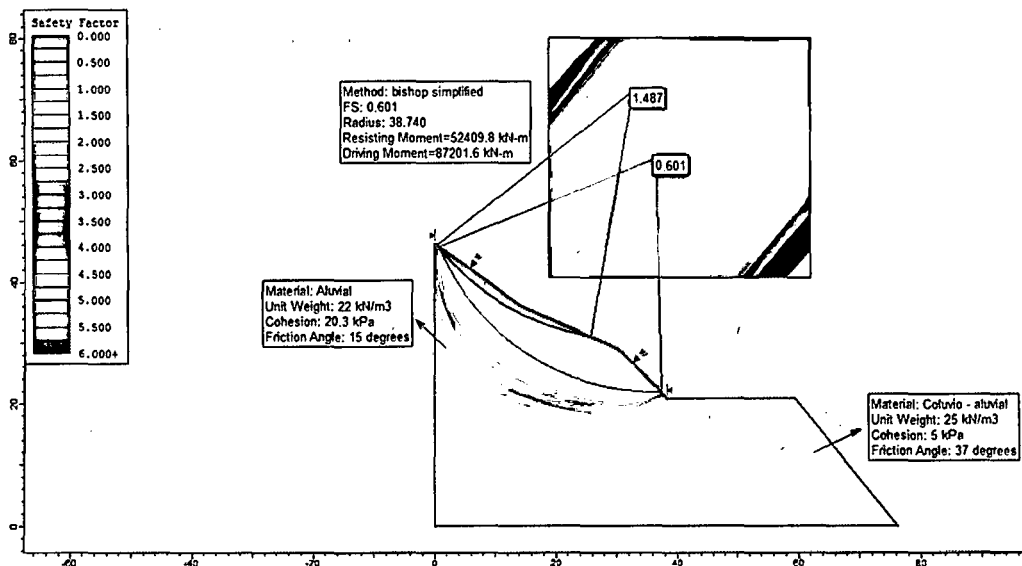


Fig. 21 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.601.

• TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD

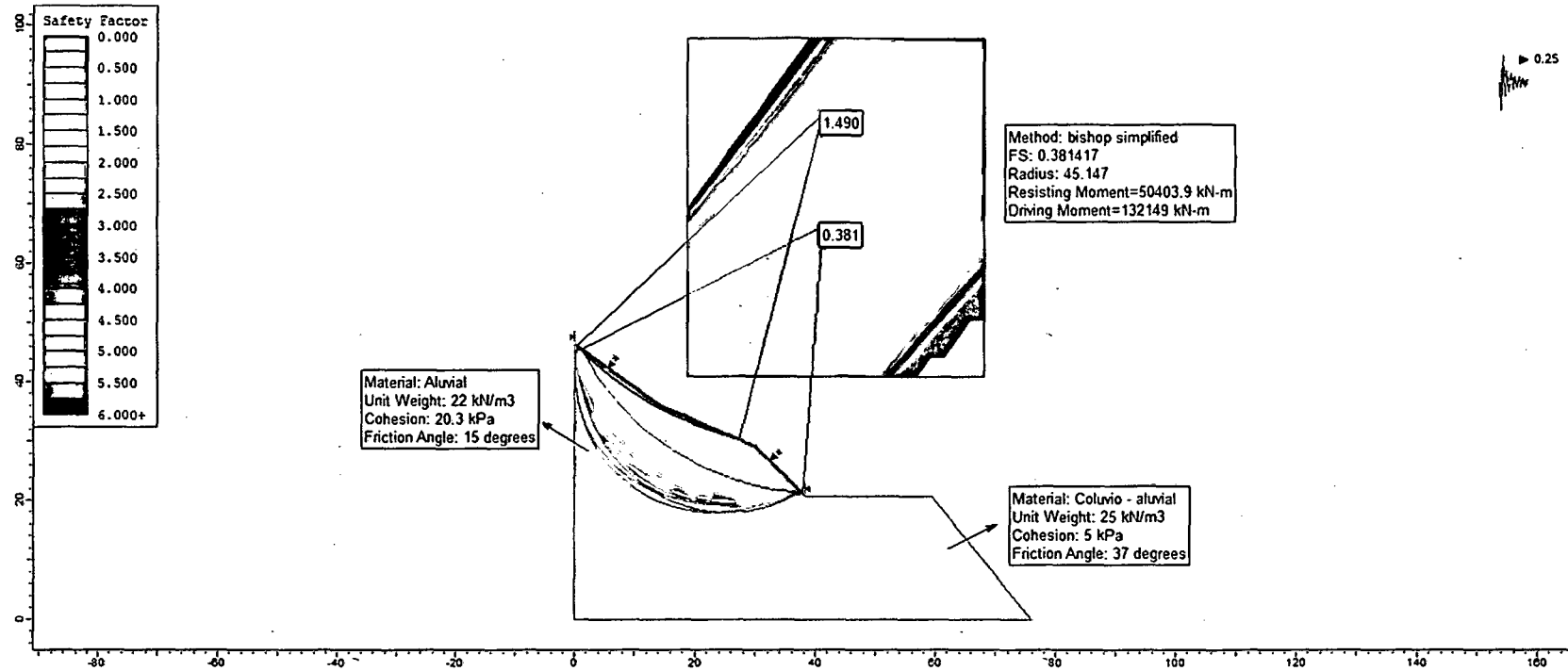


Fig. 22 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.381.



### 10.1.3 TRAMO 03 - PROGRESIVAS Km 163+250 - Km 163+350

El talud de la carretera está compuesto por cuarcitas perteneciente a la Formación Chimú (Ki-chim) con estratificación bien definida, cuyos planos están ligeramente meteorizados; conformando cuatro familias de discontinuidades, con matriz de sílice. Encontramos procesos geodinámicos cuyos resultados son derrumbes de rocas la parte superior del talud, generados por la erosión y meteorización, siendo una zona insegura por los derrumbes de rocas.

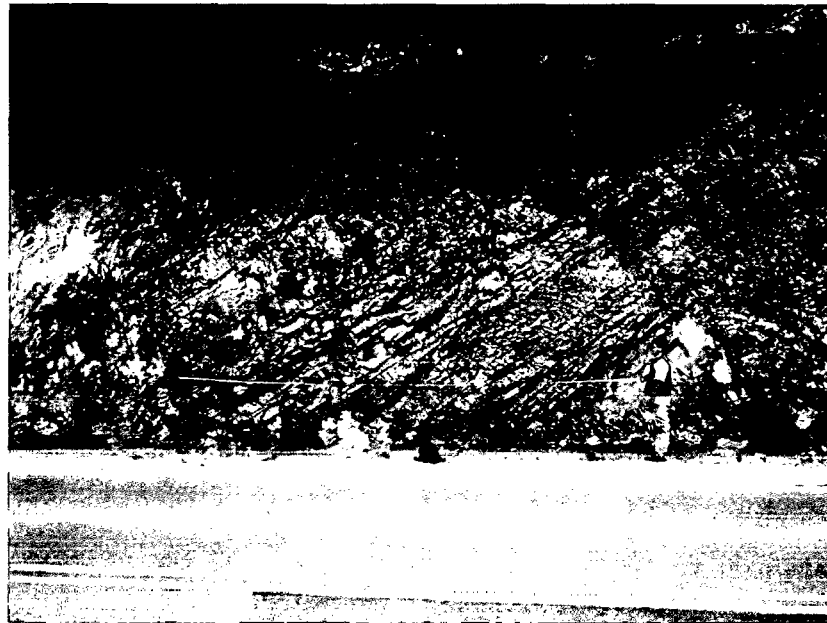


Foto. 08 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 163+250 – Km 163+350.

### PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- **Grado de Meteorización:** Grado II, Ligeramente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** Tipo VIII, 4 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** Tabular.

### PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- **Litología:** Areniscas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Fanerítica de grano medio.
- **Color:** Blanquecino.
- **Meteorización:** Grado II, Ligeramente meteorizado.
- **Resistencia:** Clase R4, Roca dura, de 50-100 MPa de resistencia a la compresión.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:**

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:

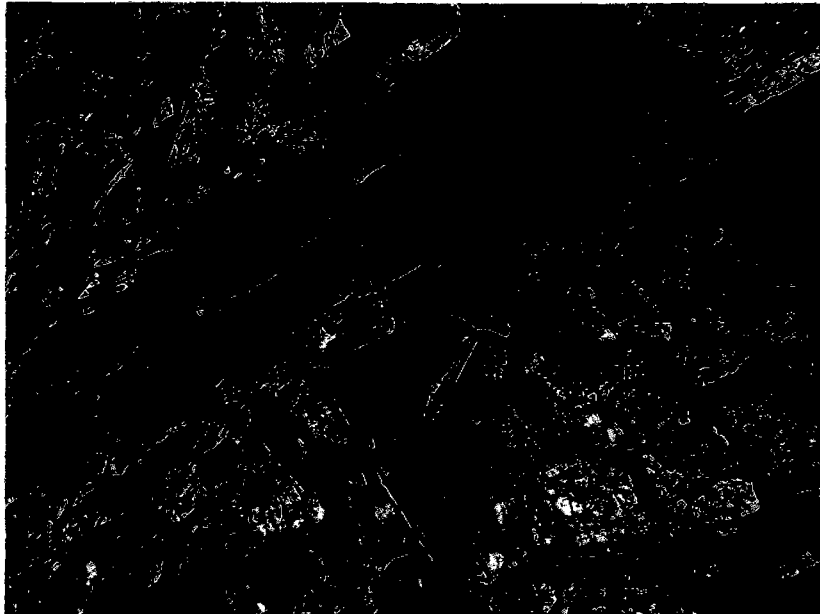


Foto. 09

Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.

- Estratificación ~~~~~
- Discontinuidad-1 ~~~~~
- Discontinuidad-2 ~~~~~
- Discontinuidad-3 ~~~~~

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	43/286	14 cm.	8 m.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.1 mm	No	Lig. húmedo
Discontinuidad-1	90/187	8 cm.	50 cm.	Rugosa	R4 de 50-100	0.5 mm	No	Lig. húmedo
Discontinuidad-2	58/65	15 cm.	65 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.4 mm	No	Lig. húmedo
Discontinuidad-3	32/131	15 cm.	27 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.5 mm	No	Lig. húmedo
Talud	84/178							

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR<sub>1989</sub>:

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES								
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa				
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa	
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%				
	VALOR	20	17	13	8	3				
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm				
	VALOR	20	15	10	8	5				
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m			
		VALOR	6	4	2	1	0			
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
		VALOR	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		VALOR	6	5	3	1	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm			
		VALOR	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
VALOR	6	5	3	1	0					
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / $\sigma$ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5			
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	VALOR	15	10	7	4	0				

## VALORES AJUSTADOS:

PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Comprensión simple (MPa)	7	8
Índice de calidad de la Roca (RQD)	13	12
Espaciado entre discontinuidades	8	7

$$\text{RMR} = 8 + 12 + 7 + 1 + 5 + 3 + 0 + 5 + 10$$

$$\text{RMR} = 51$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

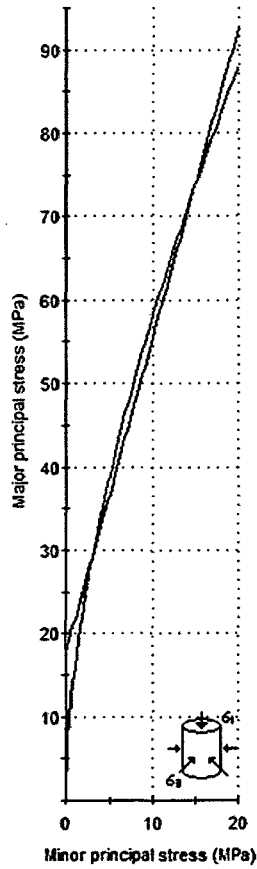
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA:

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
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.		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.	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
MUY BUENA		MUY BUENA	
BUENA		BUENA	
REGULAR		REGULAR	
MALA		MALA	
MUY MALA		MUY MALA	
<p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR FRISOS O BLOQUES DE ROCA EN TRABAZOS DE FORMA CUADRADA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.</p>		80	70
<p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR FRISOS O BLOQUES DE ROCA TRABAZADOS DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60	30
<p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO FRISADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR FRISOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		40	30
<p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y DESORDENADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABAZADO DE BLOQUES Y FRISOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS.</p>		20	10
<p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR FRISOS O BLOQUES DE ROCA EN TRABAZOS DE FORMA CUADRADA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.</p>		80	70
<p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR FRISOS O BLOQUES DE ROCA TRABAZADOS DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60	30
<p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO FRISADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR FRISOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		40	30
<p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y DESORDENADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABAZADO DE BLOQUES Y FRISOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS.</p>		20	10

**GSI = 46**

ANÁLISIS ROCLAB:

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 80 MPa  
 GSI = 46  $m_i$  = 20 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 12000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 2.907  $s$  = 0.0025  $a$  = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 4.642 MPa friction angle = 35.29 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.068 MPa  
 uniaxial compressive strength = 3.807 MPa  
 global strength = 17.943 MPa  
 deformation modulus = 2865.49 MPa

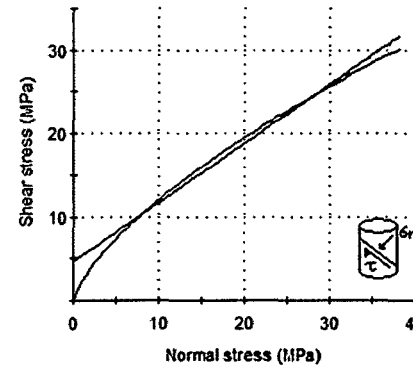


Fig. 23 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.

**ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:**

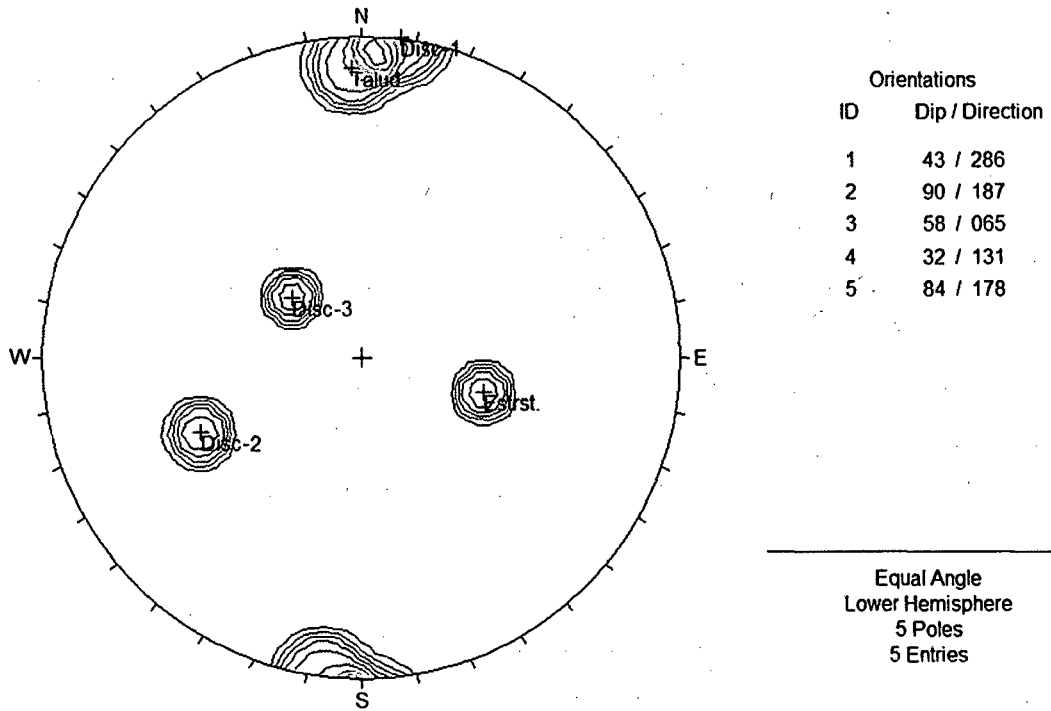


Fig. 24 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 03.

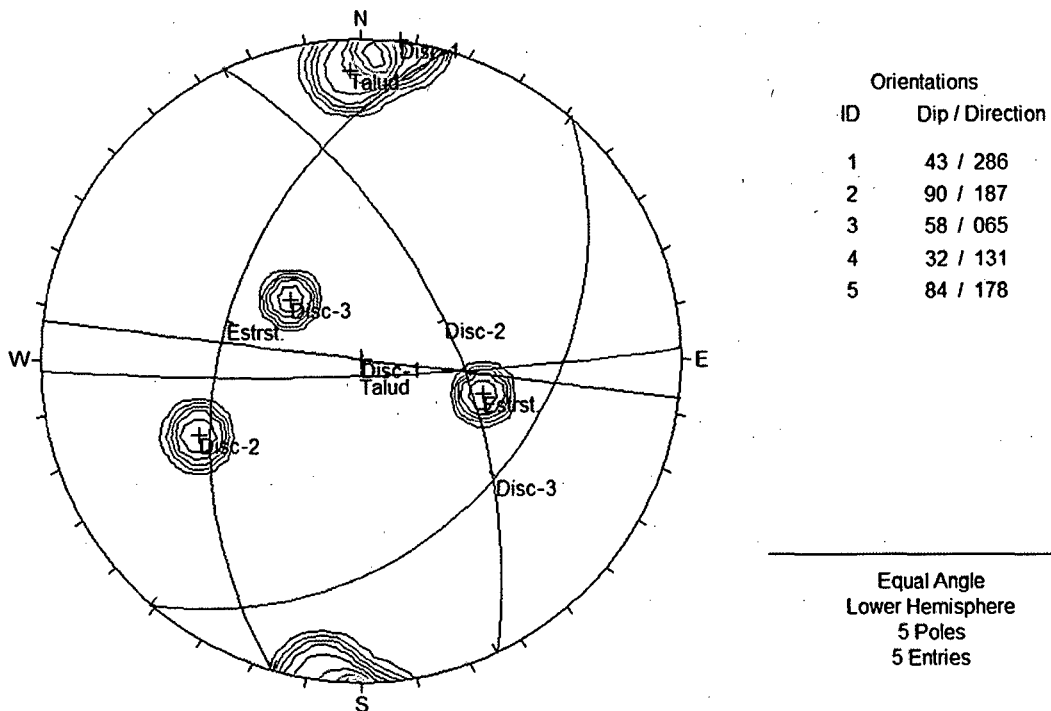


Fig. 25 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades tramo 03. Se observa que el plano del talud es cortado por la discontinuidad 1, generando rotura planar con respecto al talud.



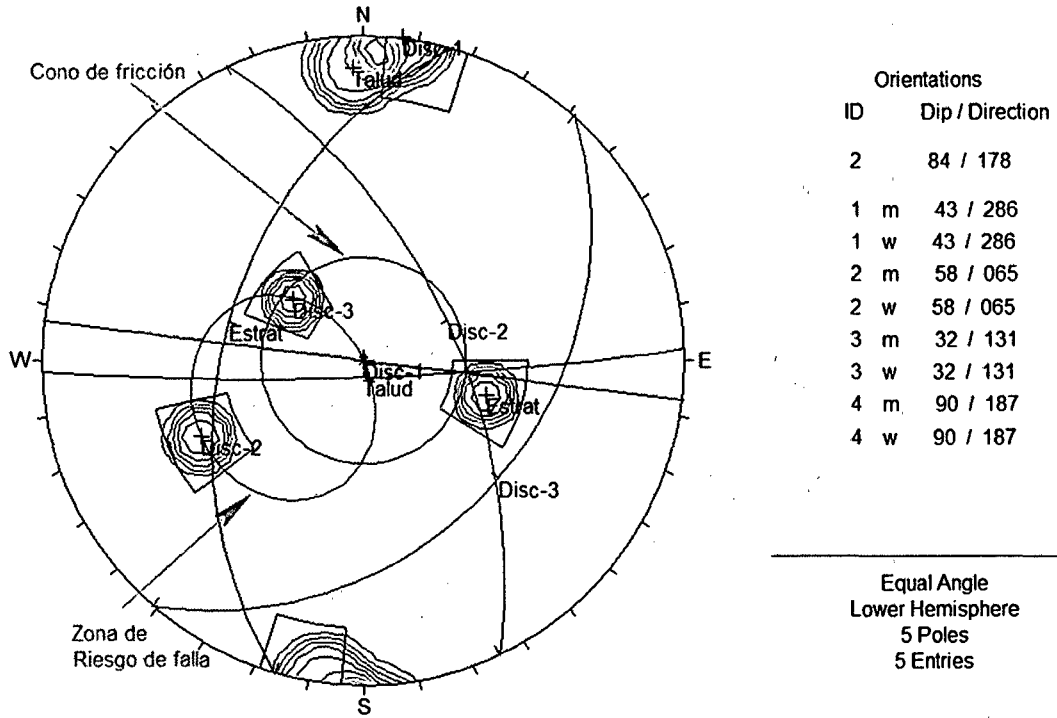


Fig. 26 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura planar con respecto al buzamiento SW de la discontinuidad 1 del tramo 03.

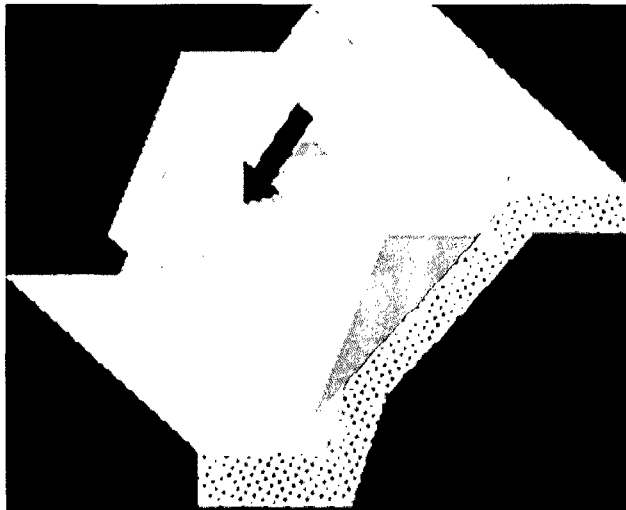


Fig. 27 Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.

#### 10.1.4 TRAMO 04 - PROGRESIVAS Km 164+240 - Km 164+280

El talud se encuentra constituido por un Basamento de rocas que se proyecta por debajo de la carretera perteneciente a la Formación Carhuaz (Ki-ca), conformando un paleocanal de 200 m. de Depósito Cuaternario. La base del talud lo conforma depósito aluvial compuesto por gravas, arenas finas con intercalaciones de lutitas muy alteradas de color rojizo.

Su geomorfológica del talud corresponde a un paleocanal formado por eventos geomorfológicos de erosión desde la base al tope como lo conforman las gravas – arcillas; formando colinas pequeñas de pendiente vertical de 85°, el cual lo vuelve inestable por su composición litológica.

El talud presenta una geodinámica casi estable por su matriz, siendo la parte posterior del talud el área donde ha ocurrido una serie de deslizamientos rotacionales arrastrando consigo las partes superiores.

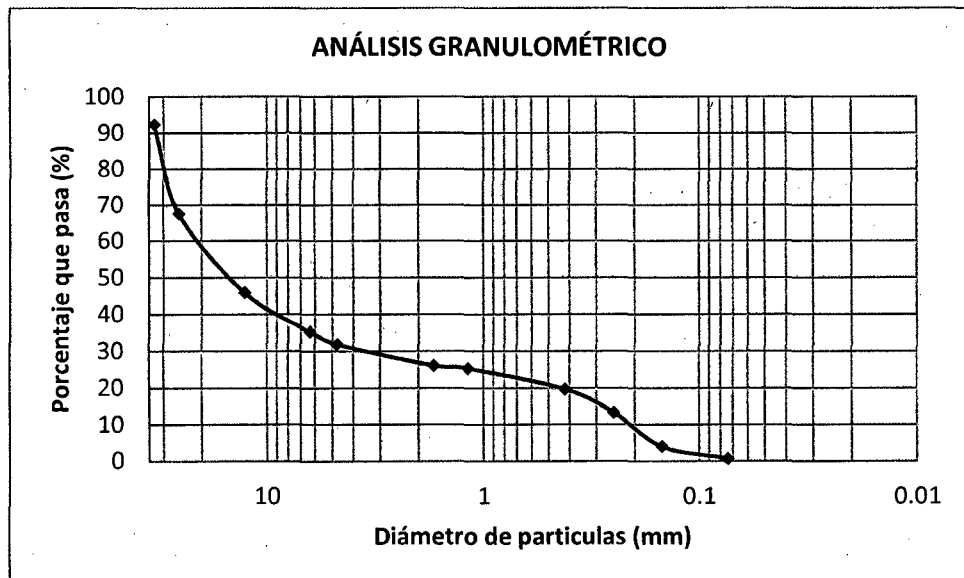


Foto. 10 Talud inestable en la progresiva Km 164+240 – Km 164+280.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO****CALICATA:** Aluvial**Pms:** 5.598 Gr.Cuadro. 12 Análisis granulométrico de la calicata M – 05, Depósito aluvial.  
Progresiva Km 164+240 – Km 164+280.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.425	7.592	7.592	92.408
1"	25.40	1.385	24.741	32.333	67.667
1/2"	12.70	1.215	21.704	54.037	45.963
1/4"	6.35	0.595	10.629	64.666	35.334
N°4	4.760	0.191	3.412	68.078	31.922
N°12	1.700	0.326	5.824	73.901	26.099
N°16	1.180	0.044	0.786	74.687	25.313
N°40	0.420	0.316	5.645	80.332	19.668
N°60	0.250	0.360	6.431	86.763	13.237
N°100	0.150	0.515	9.200	95.963	4.037
N°200	0.074	0.191	3.412	99.375	0.625
<N°200		0.035	0.625	100.000	0.000

Pms: Peso de muestra seca, P.R.P: Pesos retenidos parciales, % R.P: Porcentaje de pesos retenidos en cada tamiz, % R.A: Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz, %Pasa: Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.



Gráfica. 05 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M – 05, Depósito aluvial. Progresiva Km 164+240 – Km 164+280.

## ANÁLISIS SLIDE

- TENSIONES TOTALES

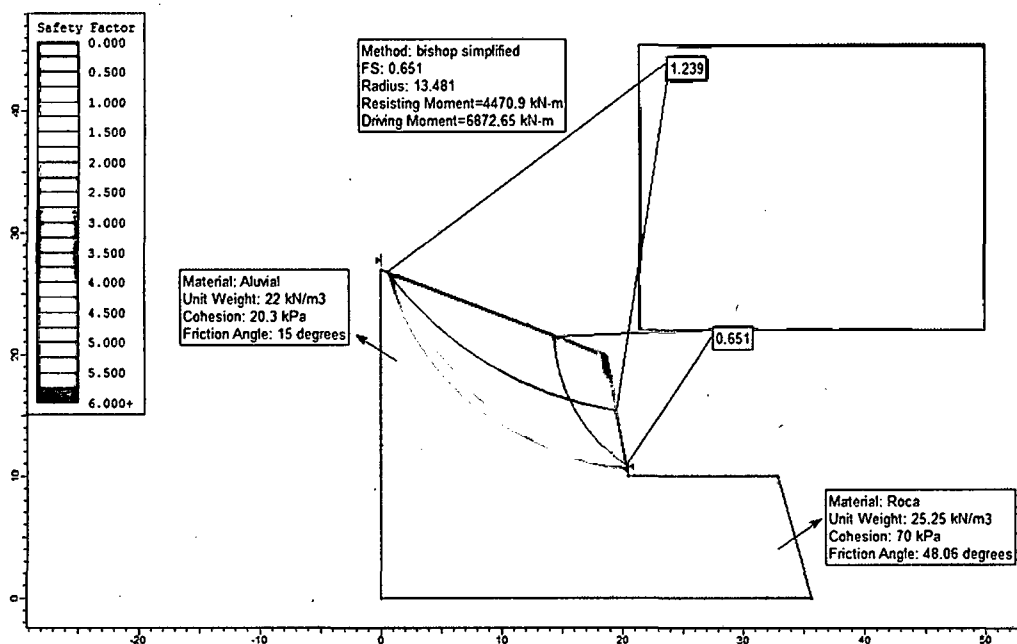


Fig. 28 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.651.

- TENSIONES EFECTIVAS

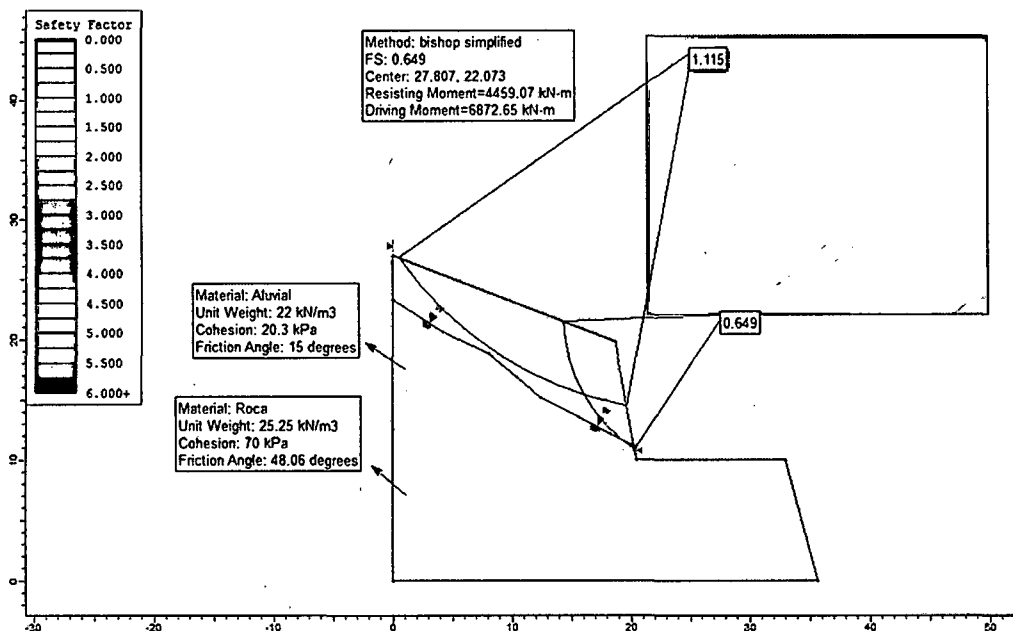


Fig. 29 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.649.

• TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD

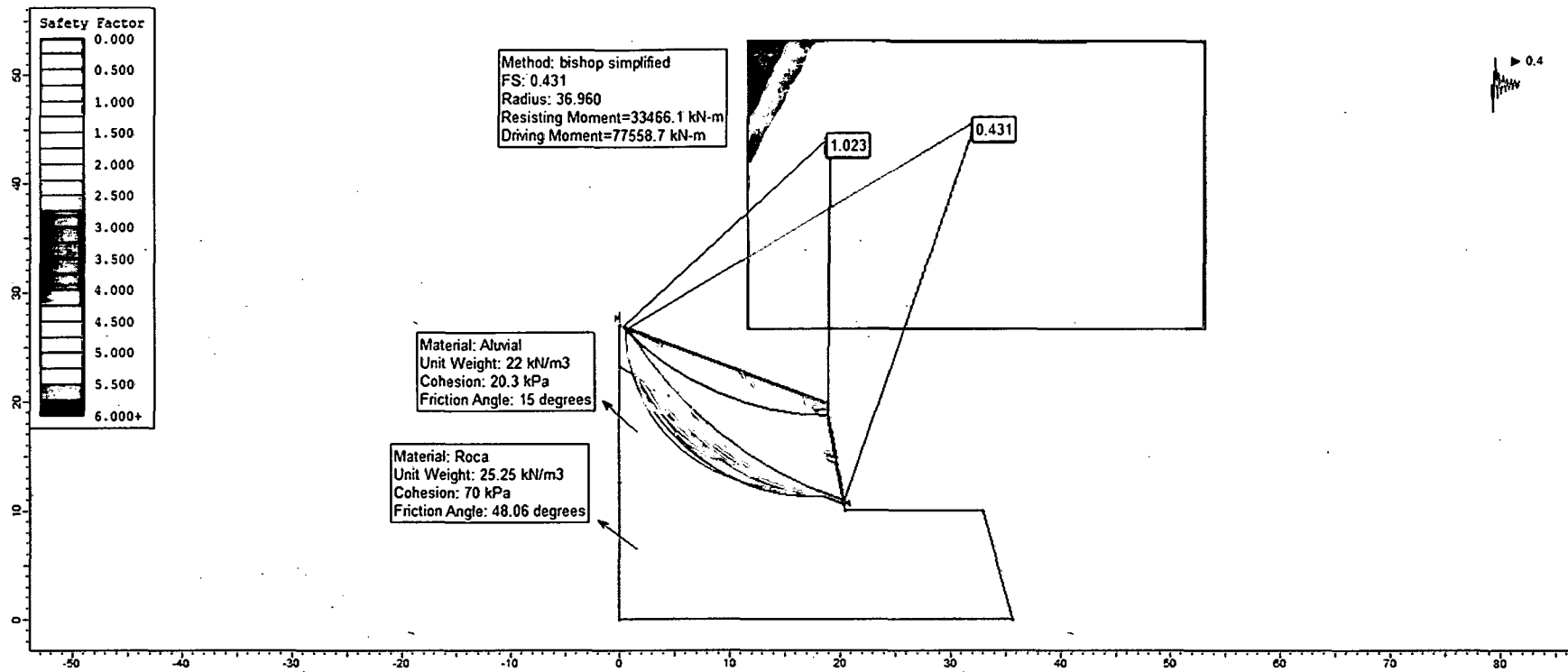


Fig. 30 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.431.

### 10.1.5 TRAMO 05 - PROGRESIVAS Km 164+400 - Km 164+450

EL talud está constituido por rocas de la Formación Carhuaz (Ki-ca); en la base la conforman rocas muy fracturadas con diámetros que van desde 0.10 - 0.15 m. conformando un deposito coluvial - aluvial con una matriz de areniscas muy deleznable actuando como relleno, en la parte intermedia a superior lo constituye un deposito aluvial con una matriz de areniscas poco consolidadas y con niveles de lutitas muy alteradas muy alteradas de color rojizo.

Geomorfológicamente está compuesta por terrazas de composición cuaternaria de gravas gruesas a finos, siguiendo la secuencia de depositación en el talud

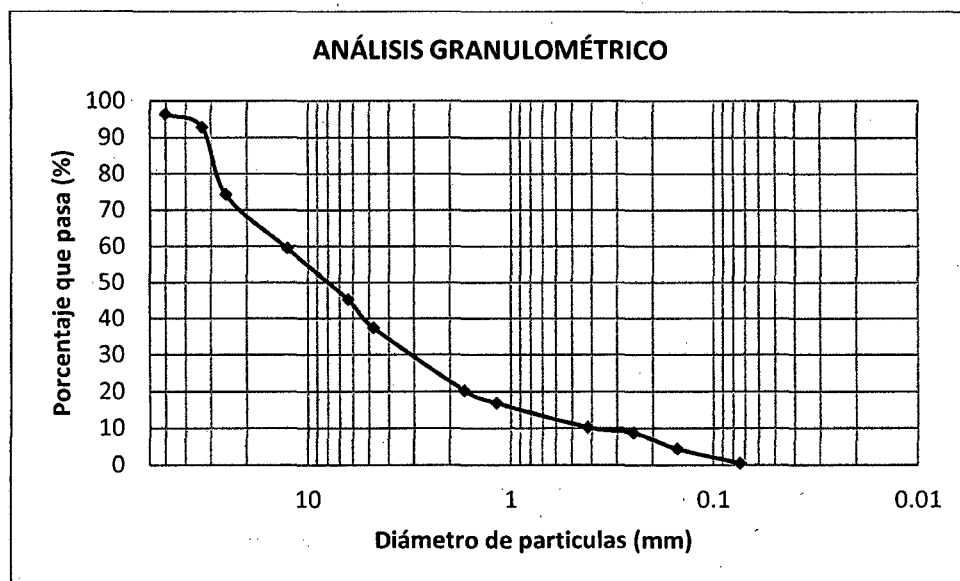


Foto. 11 Talud inestable en la progresiva Km 164+400 – Km 164+450.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO****CALICATA:** Coluvio - aluvial**Pms:** 4.540 Gr.

Cuadro. 13 Análisis granulométrico de la calicata M - 06, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 164+400 - Km 164+450.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
2"	50.3	0.162	3.568	3.568	96.432
1 1/2"	33.1	0.161	3.546	7.114	92.886
1"	25.4	0.842	18.546	25.661	74.339
1/2"	12.7	0.672	14.802	40.462	59.538
1/4"	6.35	0.642	14.141	54.603	45.397
N°4	4.760	0.357	7.863	62.467	37.533
N°12	1.700	0.782	17.225	79.691	20.309
N°16	1.180	0.155	3.414	83.105	16.895
N°40	0.420	0.301	6.630	89.735	10.265
N°60	0.250	0.070	1.542	91.277	8.723
N°100	0.150	0.199	4.383	95.661	4.339
N°200	0.074	0.180	3.965	99.625	0.375
<N°200		0.017	0.374	100.000	0.000



Gráfica. 06 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M - 06, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 164+400 - Km 164+450.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO**

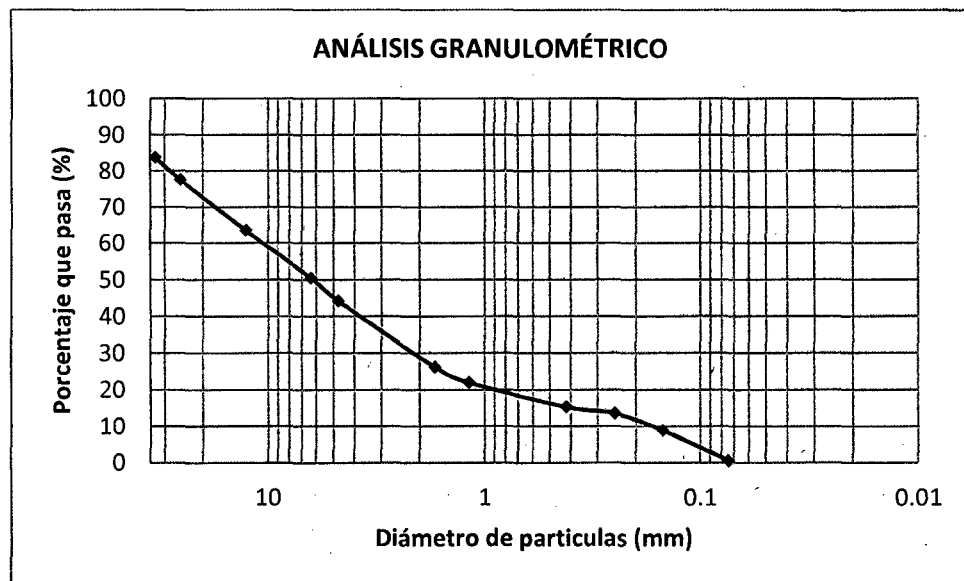
**CALICATA:** Aluvial

**Pms:** 3.015 Gr.

Cuadro. 14 Análisis granulométrico de la calicata M – 07, Depósito aluvial.  
Progresiva Km 164+400 – Km 164+450.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.489	16.219	16.219	83.781
1"	25.40	0.185	6.136	22.355	77.645
1/2"	12.70	0.424	14.063	36.418	63.582
1/4"	6.35	0.394	13.068	49.486	50.514
N°4	4.760	0.189	6.269	55.755	44.245
N°12	1.700	0.544	18.043	73.798	26.202
N°16	1.180	0.129	4.279	78.076	21.924
N°40	0.420	0.200	6.633	84.710	15.290
N°60	0.250	0.052	1.725	86.435	13.565
N°100	0.150	0.141	4.677	91.111	8.889
N°200	0.074	0.252	8.358	99.469	0.531
<N°200		0.016	0.531	100.000	0.000

Pms: Peso de muestra seca, P.R.P: Pesos retenidos parciales, % R.P: Porcentaje de pesos retenidos en cada tamiz, % R.A: Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz, %Pasa: Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.



Gráfica. 07 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M – 07, Depósito aluvial. Progresiva Km 164+400 – Km 164+450.



## ANÁLISIS SLIDE

### TENSIONES TOTALES

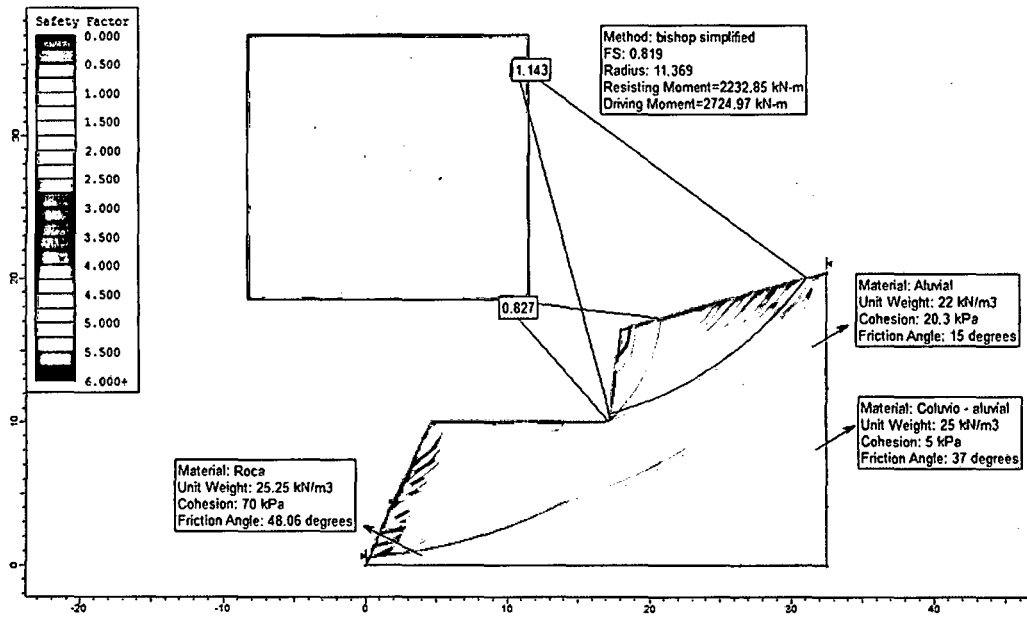


Fig. 31 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.827.

### TENSIONES EFECTIVAS

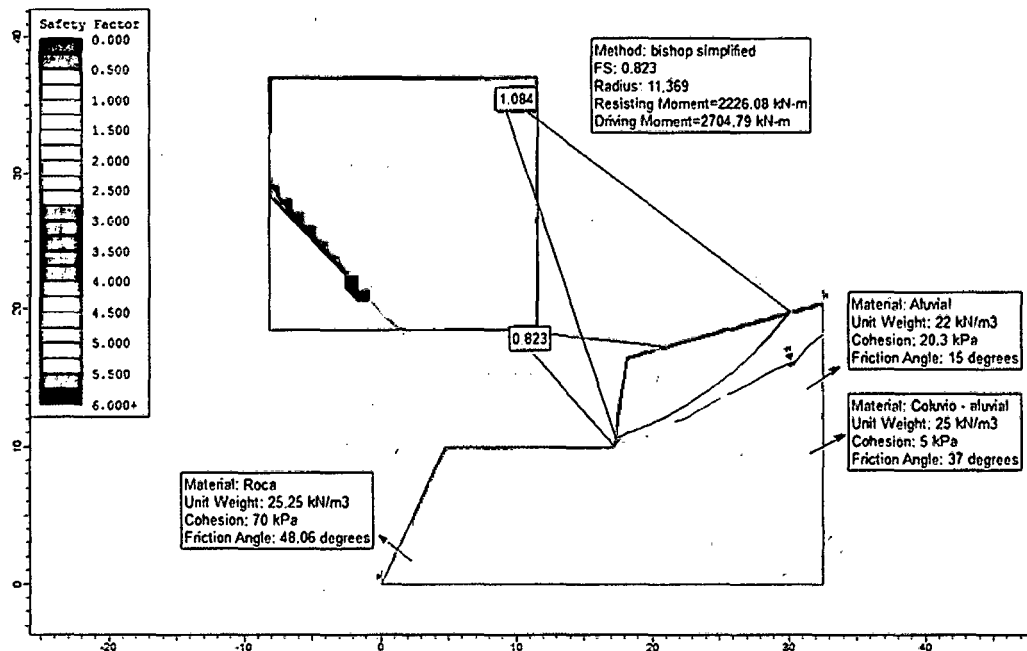


Fig. 32 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.823.

• TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD

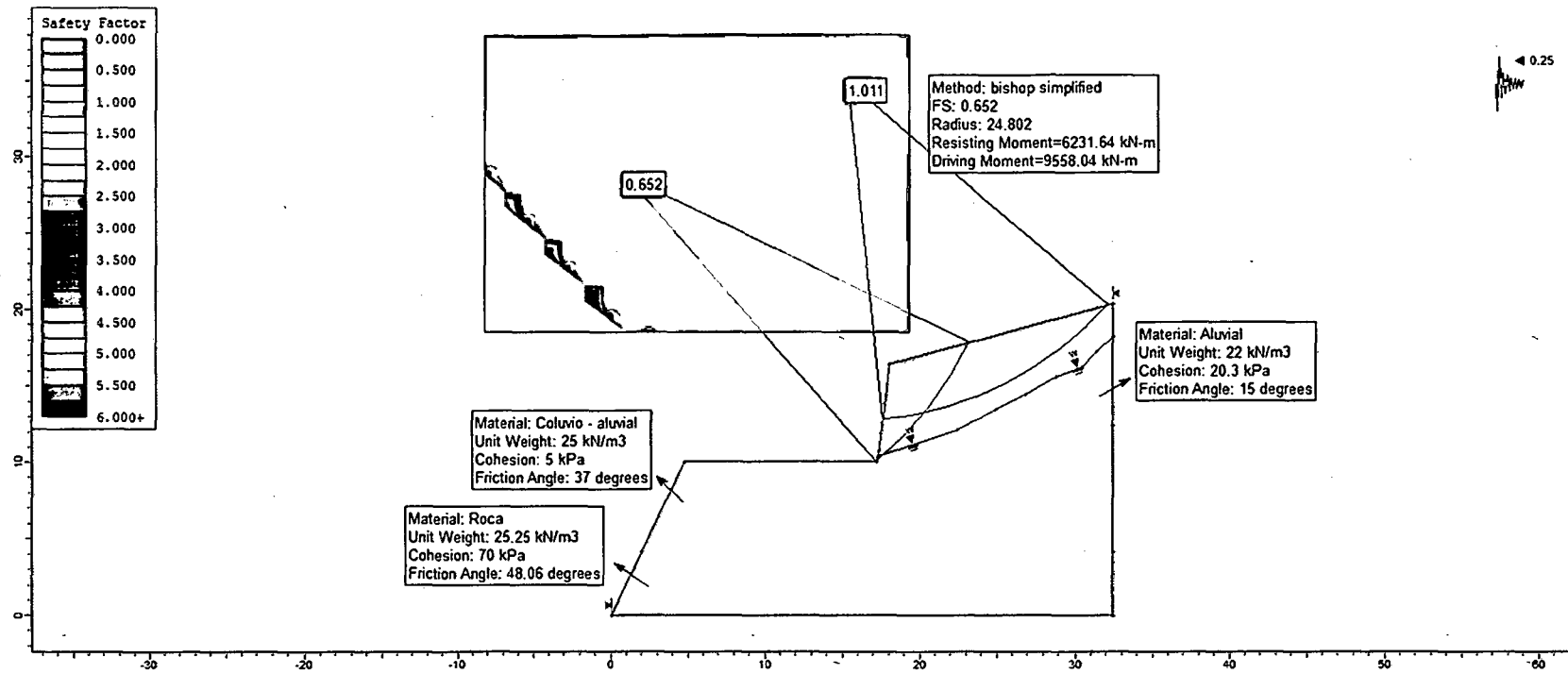


Fig. 33 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.652.

### 10.1.6 TRAMO 06 - PROGRESIVAS Km 164+750 - Km 164+850

Su composición litológica está constituida por dos taludes: el primer talud lo constituye un depósito aluvial de rocas meteorizadas con un matriz de lutitas alteradas de color rojizo y el segundo talud lo constituye un depósito coluvial de rocas, poco inalteradas y de consistencia no consolidada, la cual lo hace más susceptible a deslizamientos y derrumbes.

La unidad geomorfológica principalmente está conformada por terrazas de altura media que fluctúan entre los 9 m. – 8 m., ayudando por las pendientes que van entre 30° - 60° de forma irregular con pequeños saltos de inestabilidad.

Su geodinámica externa que presenta el talud, corresponde a un talud en forma de media luna, con superficies de deslizamiento, asumiéndose características geológicas existentes. En el flanco derecho de la carretera ha sido modificado con la acumulación de material de desmonte, lo cual impide una mejor interpretación.

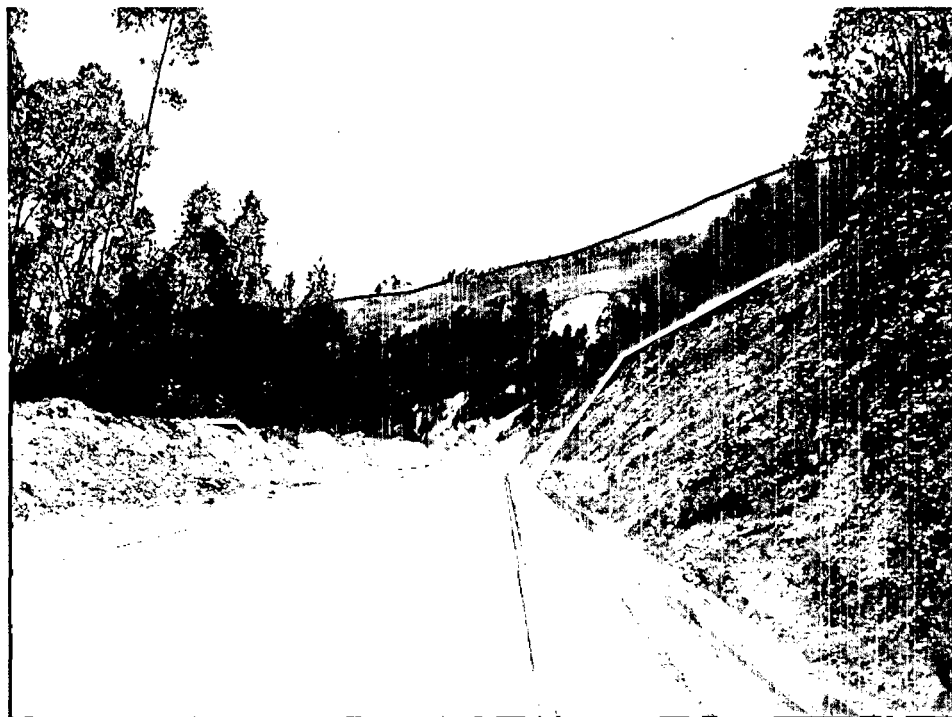
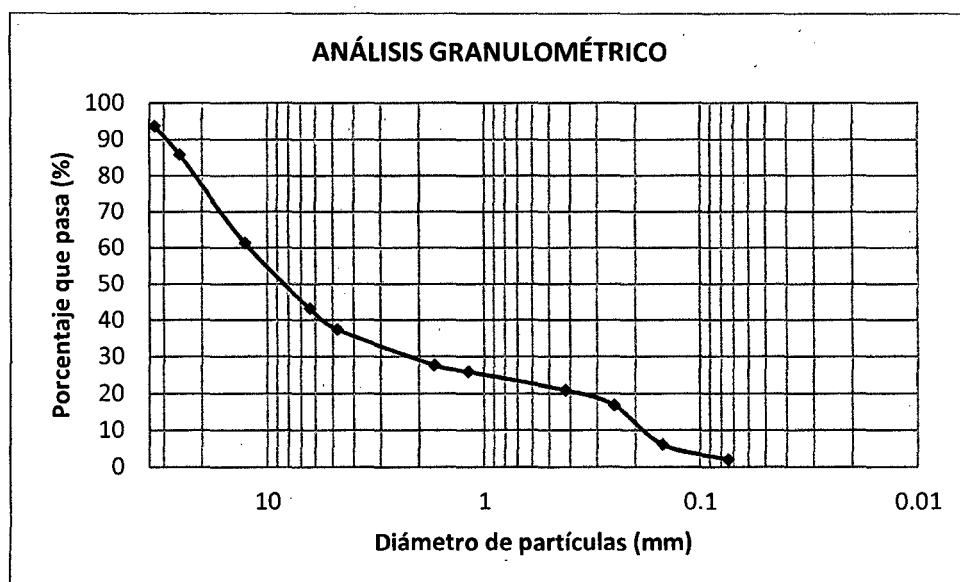


Foto. 12 Talud inestable en la progresiva Km 164+750 – Km 164+850.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO****CALICATA: Aluvial****Pms: 4.935 Gr.**Cuadro. 15 Análisis granulométrico de la calicata M - 08, Depósito aluvial.  
Progresiva Km 164+750 - Km 164+850.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R:A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.310	6.282	6.282	93.718
1"	25.40	0.385	7.801	14.083	85.917
1/2"	12.70	1.210	24.519	38.602	61.398
1/4"	6.35	0.895	18.136	56.738	43.262
N°4	4.760	0.285	5.775	62.513	37.487
N°12	1.700	0.485	9.828	72.341	27.659
N°16	1.180	0.088	1.783	74.124	25.876
N°40	0.420	0.247	5.005	79.129	20.871
N°60	0.250	0.203	4.113	83.242	16.758
N°100	0.150	0.525	10.638	93.881	6.119
N°200	0.074	0.205	4.154	98.035	1.965
<N°200		0.097	1.966	100.000	0.000



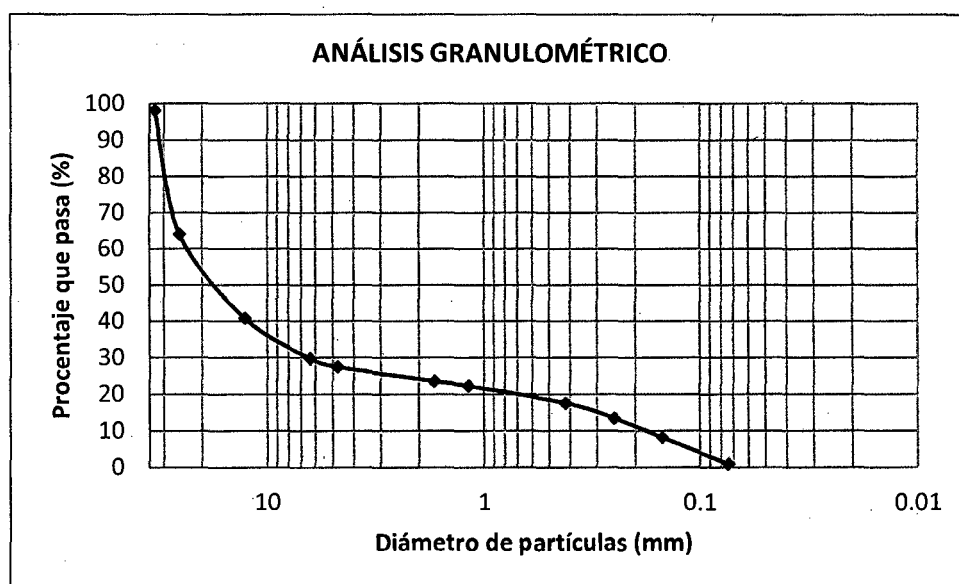
Gráfica. 08 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M - 08, Depósito aluvial. Progresiva Km 164+750 - Km 164+850.

**CALICATA:** Coluvio - aluvial**Pms:** 4.535 Gr.

Cuadro. 16 Análisis granulométrico de la calicata M - 09, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 164+750 - Km 164+850.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.085	1.874	1.874	98.126
1"	25.40	1.540	33.958	35.832	64.168
1/2"	12.70	1.055	23.264	59.096	40.904
1/4"	6.35	0.505	11.136	70.231	29.769
N°4	4.760	0.105	2.315	72.547	27.453
N°12	1.700	0.177	3.903	76.450	23.550
N°16	1.180	0.059	1.301	77.751	22.249
N°40	0.420	0.212	4.675	82.425	17.575
N°60	0.250	0.188	4.146	86.571	13.429
N°100	0.150	0.238	5.248	91.819	8.181
N°200	0.074	0.331	7.299	99.118	0.882
<N°200		0.040	0.882	100.000	0.000

Pms: Peso de muestra seca, P.R.P: Pesos retenidos parciales, % R.P: Porcentaje de pesos retenidos en cada tamiz, % R.A: Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz, %Pasa: Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.



Gráfica. 09 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M - 09, Depósito coluvio - aluvial. Progresiva Km 164+750 - Km 164+850.

## ANÁLISIS SLIDE

- TENSIONES TOTALES

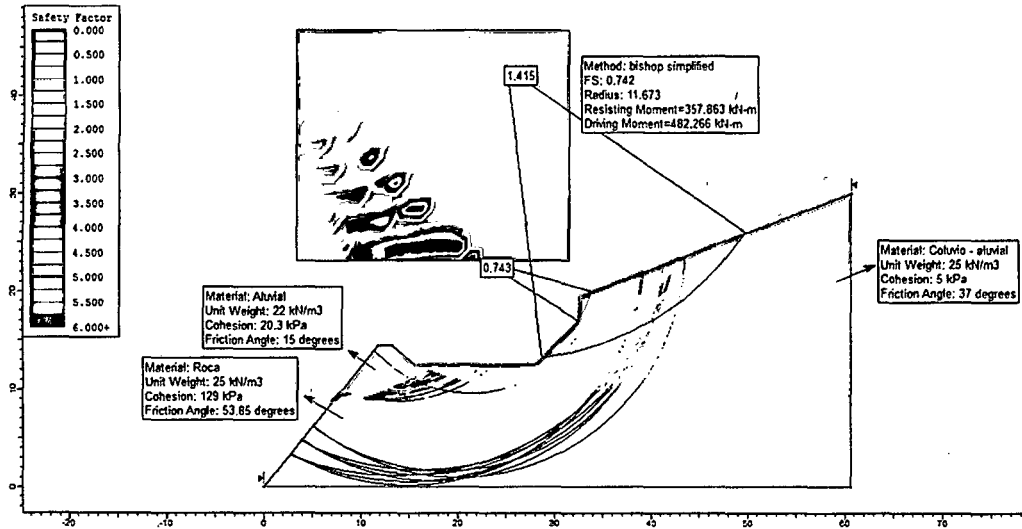


Fig. 34 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.743.

- TENSIONES EFECTIVAS

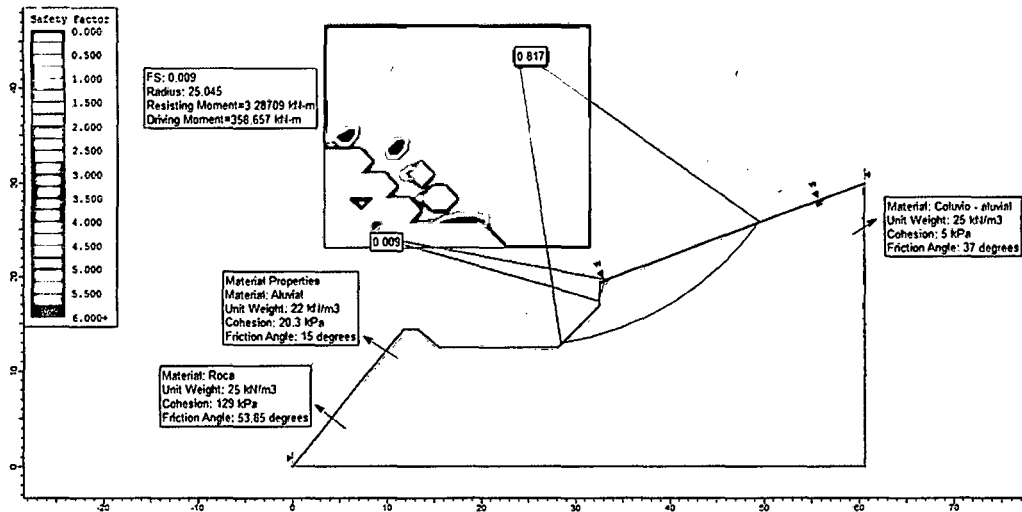


Fig. 35 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.009.

• TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD

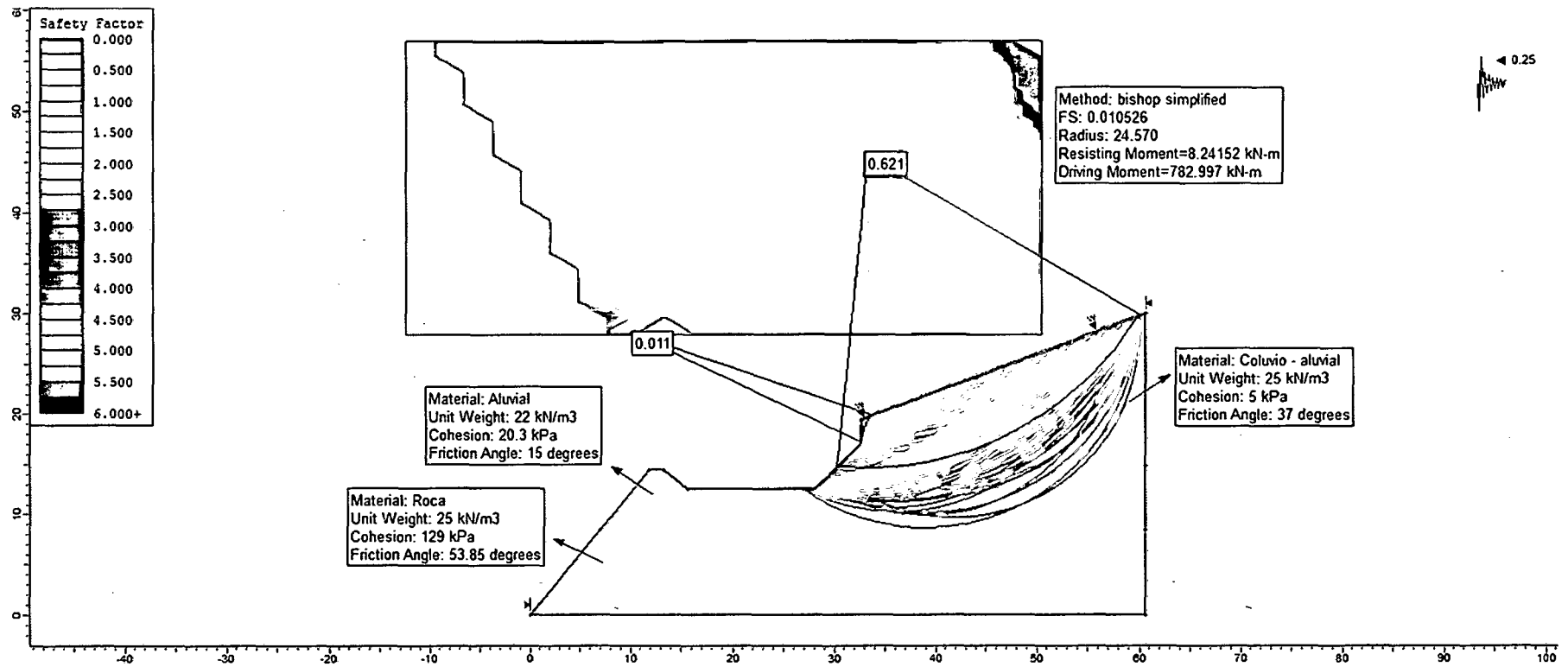


Fig. 36 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.011.

### 10.1.7 TRAMO 07 - PROGRESIVAS Km 165+240 - Km 165+290

El talud está constituido por rocas de la Formación Farrat (Ki-Fa), de color blanquecino; formando una inflexión de un sinclinal delimitados por sus flancos. Geodinámicamente los planos de estratificación están buzando a favor de la carretera, los cuales están generando caídas de rocas en forma sucesiva por su foliación y diaclasamiento de la matriz rocosa; siendo afectada por: la precipitación y sismicidad; los cuales lo inestabilizan y erosionan en forma planar siguiendo su secuencia estratigráfica. Presentándose moderadamente meteorizadas; conformando tres familias de discontinuidades.



Foto. 13 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 165+240 – Km 165+290.



### PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- **Grado de Meteorización:** Grado III, Moderadamente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** Tipo VI, 3 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** Cúbico.

### PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- **Litología:** Areniscas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Fanerítica de grano medio.
- **Color:** Blanquecino.
- **Meteorización:** Grado III, Moderadamente meteorizado.
- **Resistencia:** Clase R3, Roca moderadamente dura, de 25-50 MPa de resistencia a la compresión.

### CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:

Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:



Foto. 14

Tres familias de discontinuidades en el macizo rocoso.

Estratificación      ~  
 Discontinuidad-1    ~  
 Discontinuidad-2    ~

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	39/34	27 cm.	21 m.	Ligeramente Rugosa	R3 de 25-50	0.1 mm	No	Húmedo
Discontinuidad-1	57/158	15 cm.	60 cm.	Rugosa	R3 de 25-50	0.6 mm	No	Húmedo
Discontinuidad-2	77/302	35 cm.	1.5 cm.	Ligeramente Rugosa	R3 de 25-50	4.0 mm	No	Húmedo
Talud	55/28							

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR<sub>1989</sub>:**

RANGO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%		
	VALOR		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	VALOR		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / $\sigma$ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR		15	10	7	4	0		

**VALORES AJUSTADOS:**

PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Compresión simple (MPa)	4	4.5
Índice de calidad de la Roca (RQD)	17	16
Espaciado entre discontinuidades	10	8.5

$$\text{RMR} = 4.5 + 16 + 8.5 + 1 + 5 + 3 + 6 + 5 + 7$$

$$\text{RMR} = 56$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA:

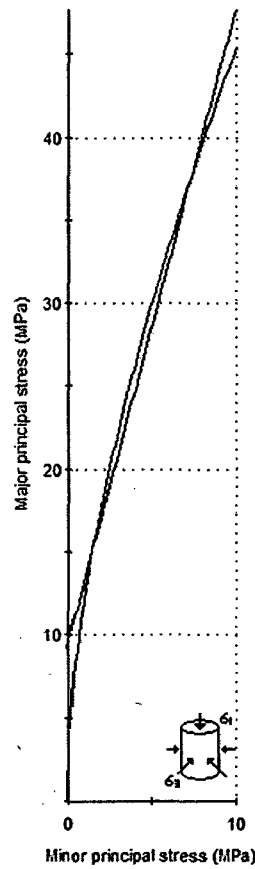
INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, 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.		Superficies rugosas y/o cajas frías (sin serfajas de intersección ni de afriación)	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO COMPROMETIDO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA 2 EN TRAZADOS, DE FORMA CUADRADA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, COMPROMETIDO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA TRAZADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO FLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, COMPROMETIDO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE MÚLTIPLOS SETS DE ESTRUCTURAS.	40	30
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACURADO Y DESORDENADO, COMPROMETIDO POR UN CONJUNTO POSIBLEMENTE TRAZADO DE BLOQUES Y TRAZOS DE ROCA ANGULOSOS Y TAMBIEN RECORCADOS.	20	10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA	
		<b>MUY BUENA</b> Superficies rugosas y/o cajas frías (sin serfajas de intersección ni de afriación)	
		<b>BUENA</b> Superficies rugosas, cajas ligeramente interpenetradas y/o serfajas, compuestas de bloques de fierro	
		<b>REGULAR</b> Superficies lisas, cajas moderadamente interpenetradas y/o serfajas	
		<b>MALA</b> Superficies lisas y/o cajas, cajas interpenetradas y/o serfajas, con fragmentos granulares y/o arcillosos finos	
		<b>MUY MALA</b> Superficies lisas y/o cajas, cajas muy interpenetradas y/o serfajas, con fragmentos arcillosos blandos	

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
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.		Superficies rugosas y/o cajas frías (sin serfajas de intersección ni de afriación)	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO COMPROMETIDO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA 2 EN TRAZADOS, DE FORMA CUADRADA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, COMPROMETIDO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA TRAZADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO FLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, COMPROMETIDO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE MÚLTIPLOS SETS DE ESTRUCTURAS.	40	30
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACURADO Y DESORDENADO, COMPROMETIDO POR UN CONJUNTO POSIBLEMENTE TRAZADO DE BLOQUES Y TRAZOS DE ROCA ANGULOSOS Y TAMBIEN RECORCADOS.	20	10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA	
		<b>MUY BUENA</b> Superficies rugosas y/o cajas frías (sin serfajas de intersección ni de afriación)	
		<b>BUENA</b> Superficies rugosas, cajas ligeramente interpenetradas y/o serfajas, compuestas de bloques de fierro	
		<b>REGULAR</b> Superficies lisas, cajas moderadamente interpenetradas y/o serfajas	
		<b>MALA</b> Superficies lisas y/o cajas, cajas interpenetradas y/o serfajas, con fragmentos granulares y/o arcillosos finos	
		<b>MUY MALA</b> Superficies lisas y/o cajas, cajas muy interpenetradas y/o serfajas, con fragmentos arcillosos blandos	

GSI = 31

ANÁLISIS ROCLAB:

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 40 MPa  
 GSI = 51  $m_i$  = 18 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

$m_b$  = 3.128  $s$  = 0.0043  $a$  = 0.505

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.413 MPa friction angle = 35.88 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.055 MPa  
 uniaxial compressive strength = 2.554 MPa  
 global strength = 9.449 MPa  
 deformation modulus = 3913.80 MPa

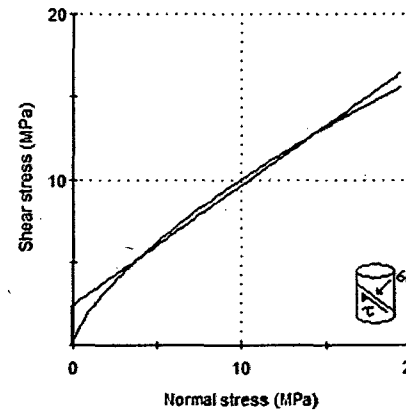


Fig. 37 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Farrat.

**ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:**

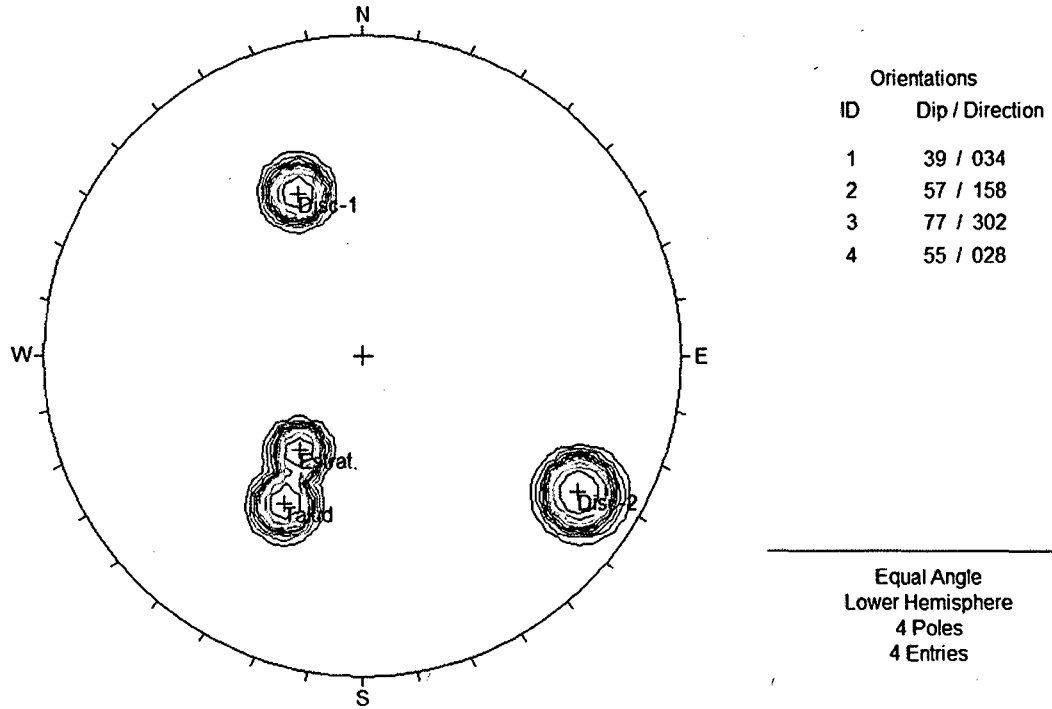


Fig. 38 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 07.

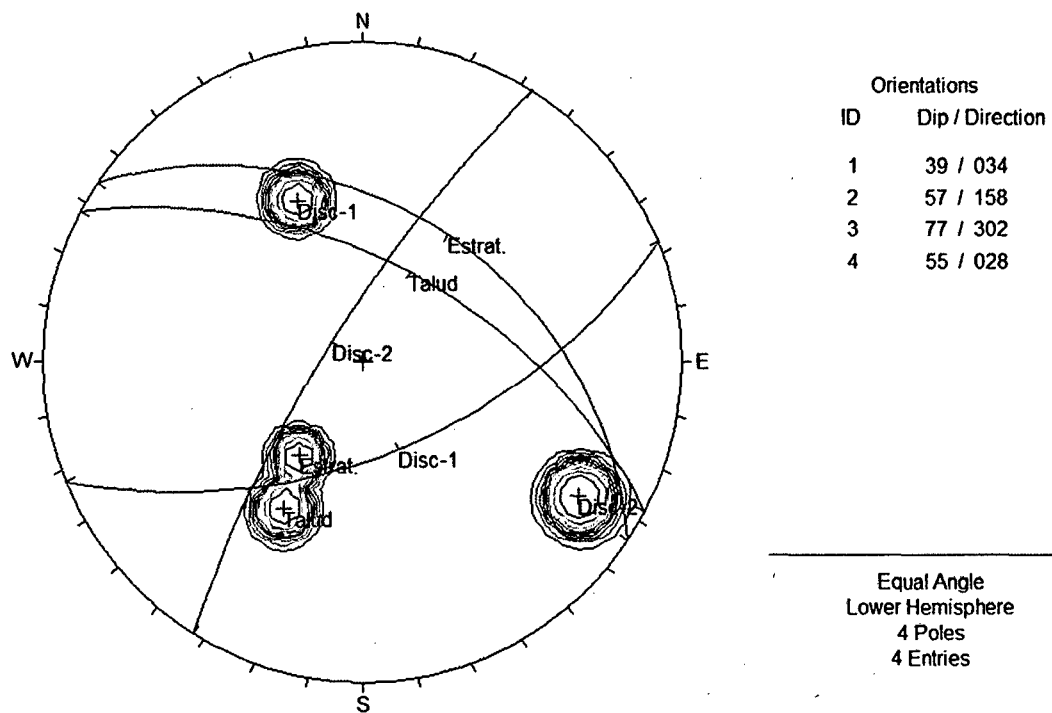


Fig. 39 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades tramo 07. Se observa que el plano del talud es cortado por la estratificación, generando rotura planar con respecto al talud.

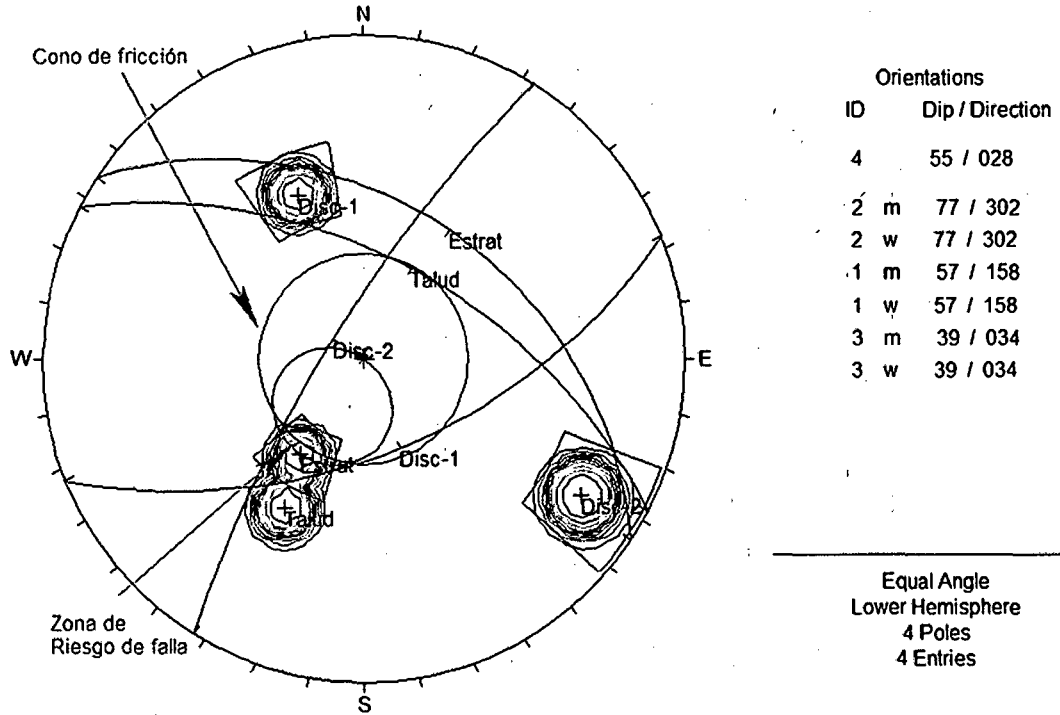


Fig. 40 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican roturas planar con respecto al buzamiento NE de la estratificación del tramo 07.

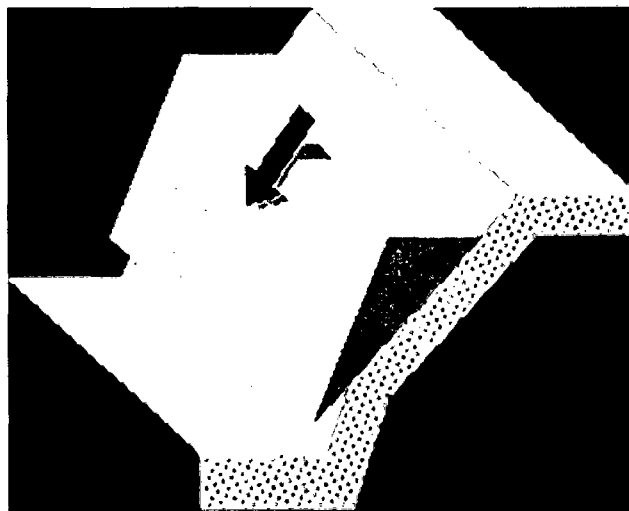


Fig. 41 Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.



### 10.1.8 TRAMO 08 - PROGRESIVAS Km 165+700 - Km 165+850

El talud presenta rocas con estratificaciones verticales con intercalaciones de lutitas, constituyendo la parte superior del talud por un depósito aluvial, deslizándose forma progresiva de la corona del talud, englobado en una matriz areno limosa de grano fino a grueso. La geomorfología lo constituye un talud de altura 12 m., con una pendiente de 78°. Su geodinámica está conformado por derrumbes y deslizamientos de la de la corona del talud, siendo la lluvia uno de los principales desencadenantes de deslizamientos y derrumbes de rocas en forma constante, arrastrando consigo depósitos cuaternarios.

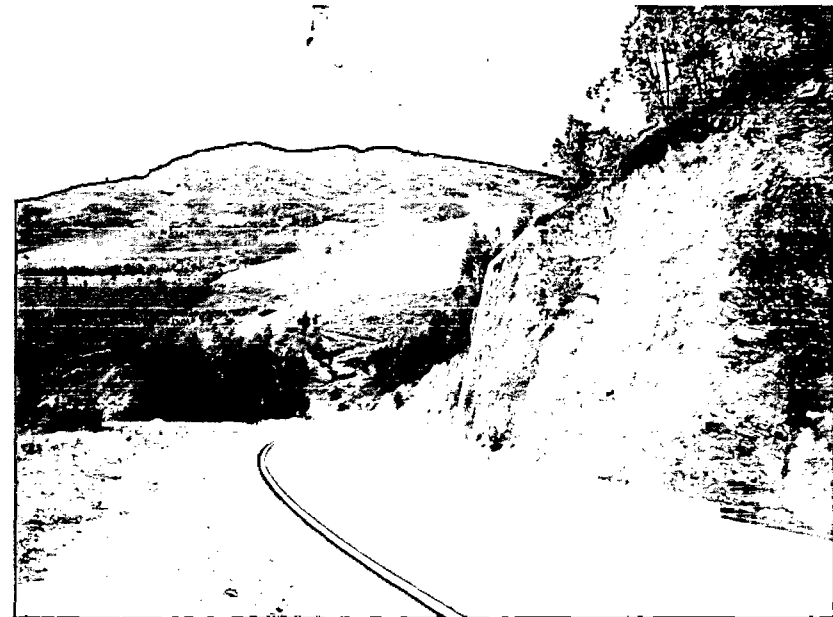


Foto. 15 Afloramiento del macizo rocoso en la Progresiva Km 165+700 – Km 165+850.

### PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- **Grado de Meteorización:** Grado II, Ligeramente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** Tipo VIII, 4 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** Romboédrico.

### PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- **Litología:** Areniscas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Afanítica de grano medio a fino.
- **Color:** Blanquecino – amarillento.
- **Meteorización:** Grado II, Ligeramente meteorizado.
- **Resistencia:** Clase R3, Roca moderadamente dura de 25-50 MPa de resistencia a la compresión.

### CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:

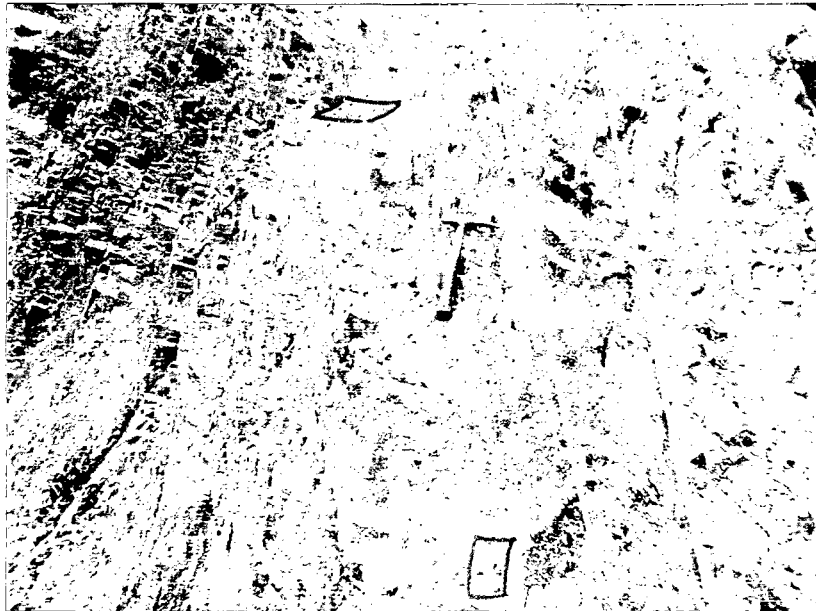






Foto. 16

Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.

- Estratificación 
- Discontinuidad-1 
- Discontinuidad-2 
- Discontinuidad-3 

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	79/152	15 cm.	14 m.	Rugosa	R3 de 25-50	4.0 mm	Arcilloso	Húmedo
Discontinuidad-1	46/55	15 cm.	50 cm.	Ligeramente Rugosa	R3 de 25-50	0.5 mm	Óxidos	Húmedo
Discontinuidad-2	80/246	16 cm.	40 cm.	Rugosa	R3 de 25-50	0.4 mm	Óxidos	Húmedo
Discontinuidad-3	10/86	20 cm.	50 cm.	Rugosa	R3 de 25-50	0.5 mm	Óxidos	Húmedo
Talud	78/92							

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR<sub>1989</sub>:**

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%			
	VALOR	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / $\sigma$ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR	15	10	7	4	0			

## VALORES AJUSTADOS:

PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Comprensión simple (MPa)	4	4.5
Índice de calidad de la Roca (RQD)	13	12
Espaciado entre discontinuidades	8	7.5

$$\text{RMR} = 4.5 + 12 + 7.5 + 1 + 3 + 5 + 2 + 3 + 7$$

$$\text{RMR} = 45$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA:

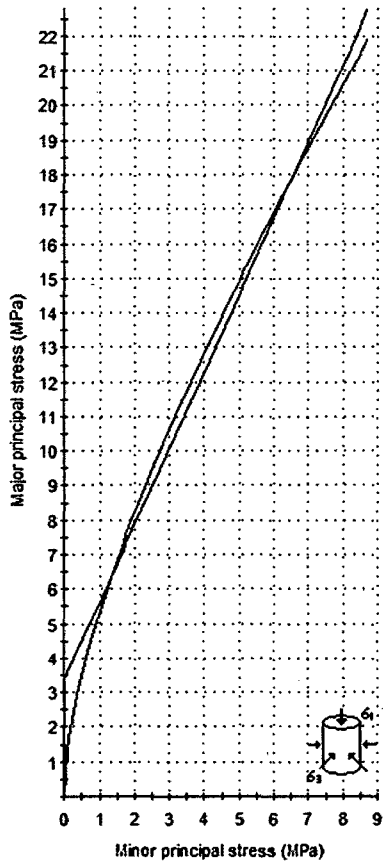
INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, 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.		MUY BUENA Superficies rugosas y/o cajas frías (sin senos de interpenetración ni de aferramiento)	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO COMPARTADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA 2 EN TRABADOS, DE FORMA CUADRADA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, COMPARTADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, COMPARTADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE MAS DE DOS SETS DE ESTRUCTURAS.	40	30
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRAGMENTADO Y DESORGANIZADO, COMPARTADO POR UN CONJUNTO DEBILMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TRAZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS.	20	10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA	

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
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.		MUY BUENA Superficies rugosas y/o cajas frías (sin senos de interpenetración ni de aferramiento)	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO COMPARTADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA 2 EN TRABADOS, DE FORMA CUADRADA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, COMPARTADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, COMPARTADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE MAS DE DOS SETS DE ESTRUCTURAS.	40	30
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRAGMENTADO Y DESORGANIZADO, COMPARTADO POR UN CONJUNTO DEBILMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TRAZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS.	20	10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA	

GSI = 40

ANÁLISIS ROCLAB:

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 35 MPa  
 GSI = 40  $m_i$  = 16 Disturbance factor (D) = 0.7  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 12000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.592  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 1.144 MPa friction angle = 22.22 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.010 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.410 MPa  
 global strength = 3.407 MPa  
 deformation modulus = 698.76 MPa

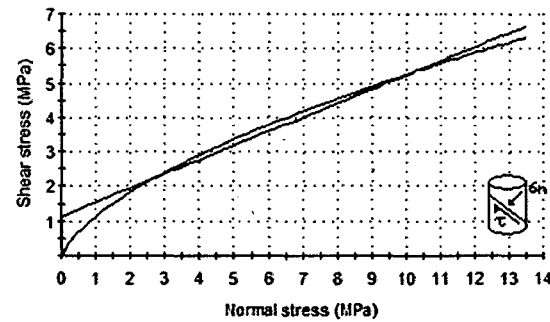


Fig. 42 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Farrat.

**ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:**

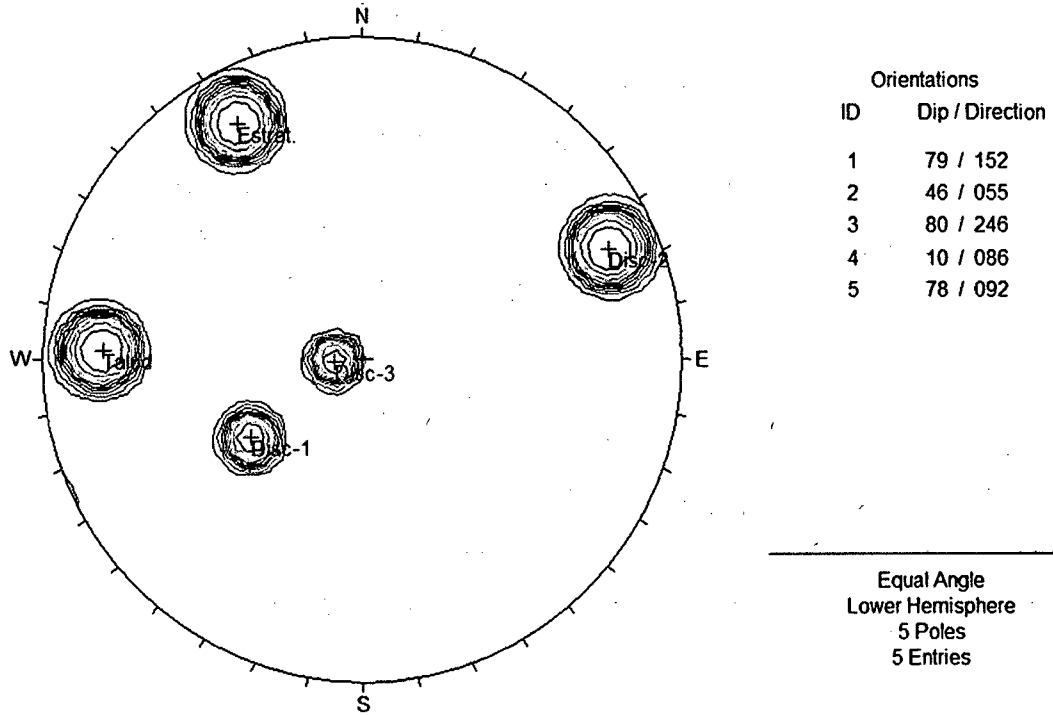


Fig. 43 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 08.

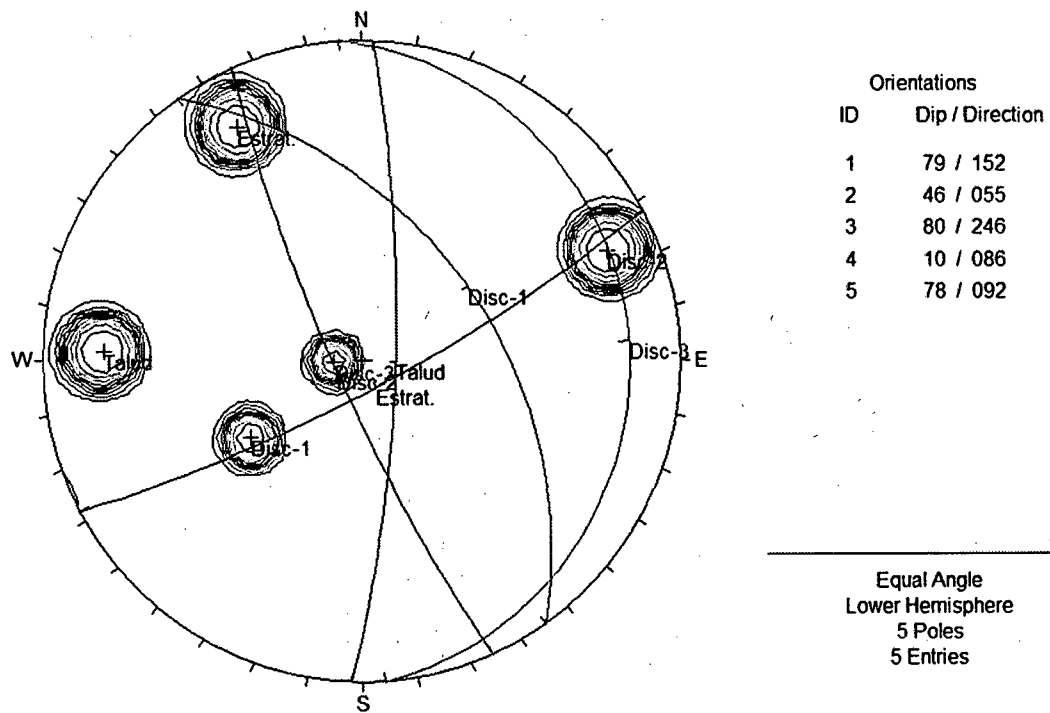


Fig. 44 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades tramo 08. Se observa que el plano del talud es cortado por la discontinuidad 1 - 2, generando rotura en cuña con respecto al talud.



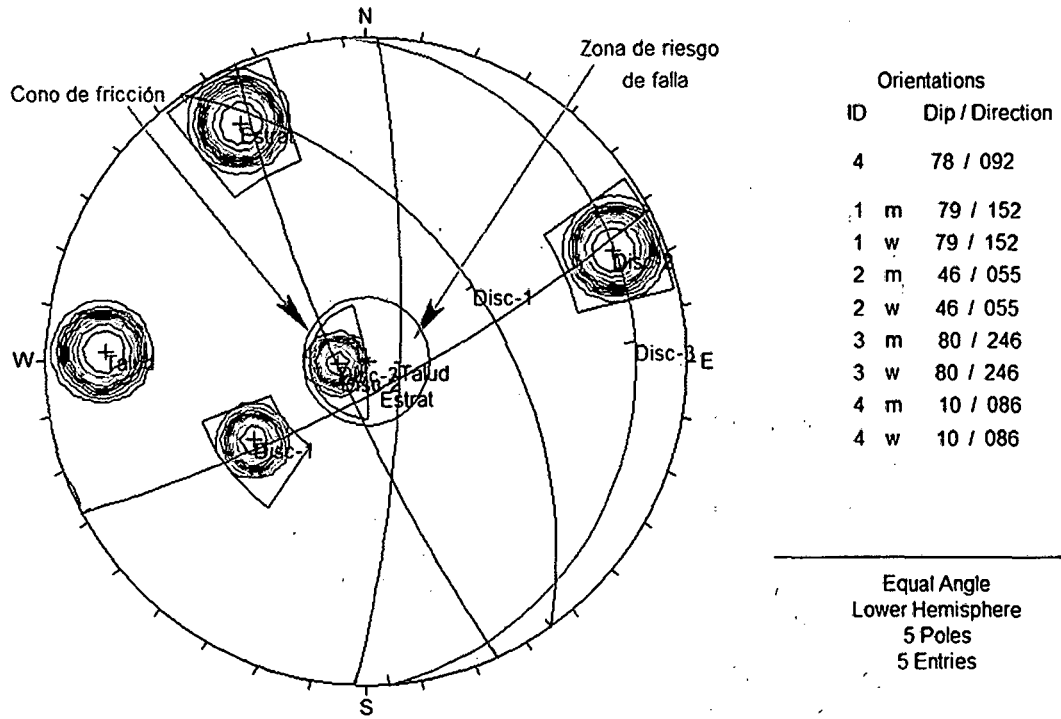


Fig. 45 El Diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña con respecto al buzamiento NE de la discontinuidad1 - 2 del tramo 08.

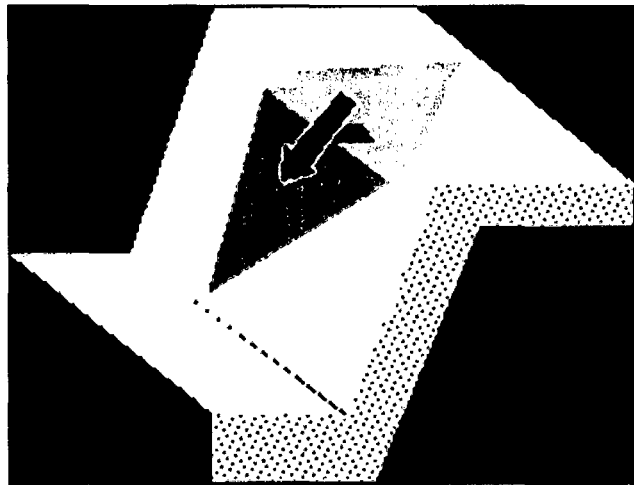


Fig. 46 Diagrama de deslizamiento en cuña en función del análisis de la proyección estereográfica.

### 10.1.9 TRAMO 09 - PROGRESIVAS Km 166+585 - Km 166+655

En el talud presenta un basamento de rocas cuarzosas horizontales bien definidas de color rojizo medianamente alteradas pertenecientes a la Formación Farrat (Ki-Fa). Suprayaciendo a dicha Formación, un depósito coluvial – aluvial constituido por gravas, con un mayor porcentaje gravas medias angulares de 60%. El flanco derecho del talud compuesto por cantos y bloques de tamaño de 0.20 - 0.40 m

La unidad geomorfológica principal lo constituye un cerro de altura 10 m., con una pendiente de 60°; formando en la parte superior una terraza de gran extensión, aprovechados para la siembra de eucaliptos.

Su geodinámica los constituye un deslizamiento rotacional en toda la cara del talud arrastrando consigo árboles y depósitos cuaternarios, de la parte superior y depositándolos en la parte inferior; por los consiguiente destruyendo la cuneta.

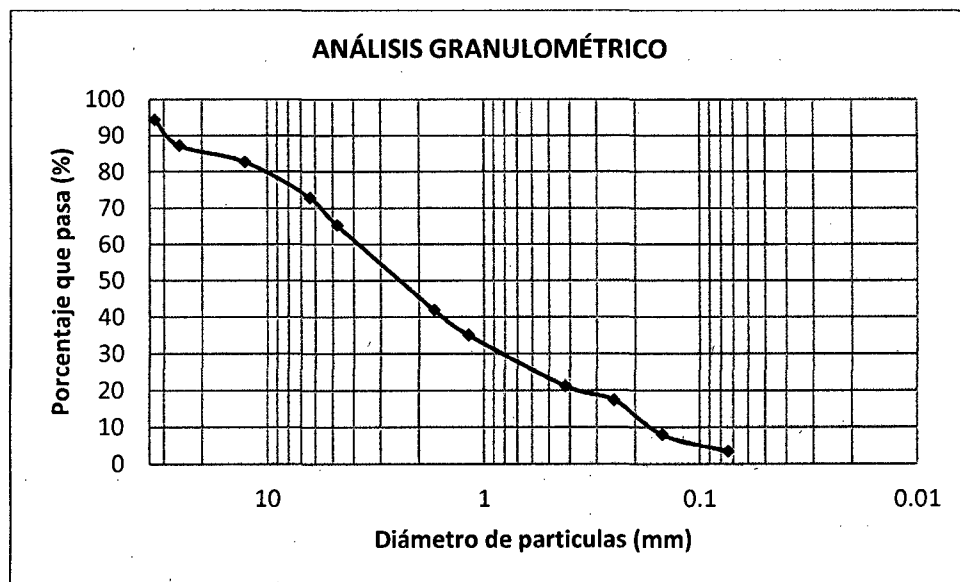


Foto. 17 Talud inestable en la progresiva Km 166+585 – Km 166+655.

**ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN SECO****CALICATA:** Aluvial**Pms:** 1.625 Gr.Cuadro. 17 Análisis granulométrico de la calicata M – 10, Depósito aluvial.  
Progresiva Km 166+585 – Km 166+655.

Malla	$\phi$ (mm)	P.R.P.	%R.P	%R.A	%PASA
1 1/2"	33.10	0.092	5.662	5.662	94.338
1"	25.40	0.116	7.138	12.800	87.200
1/2"	12.70	0.072	4.431	17.231	82.769
1/4"	6.35	0.161	9.908	27.139	72.861
N°4	4.760	0.123	7.569	34.708	65.292
N°12	1.700	0.380	23.385	58.093	41.907
N°16	1.180	0.111	6.831	64.924	35.076
N°40	0.420	0.226	13.908	78.831	21.169
N°60	0.250	0.063	3.877	82.708	17.292
N°100	0.150	0.152	9.354	92.062	7.938
N°200	0.074	0.075	4.615	96.677	3.323
<N°200		0.054	3.323	100.000	0.000

Pms: Peso de muestra seca, P.R.P: Pesos retenidos parciales, % R.P: Porcentaje de pesos retenidos en cada tamiz, % R.A: Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz, %Pasa: Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.



Gráfica. 10 Curva granulométrica en escala semilogarítmica de la calicata M – 10, Depósito aluvial. Progresiva Km 166+585 – Km 166+655.

## ANÁLISIS SLIDE

- TENSIONES TOTALES

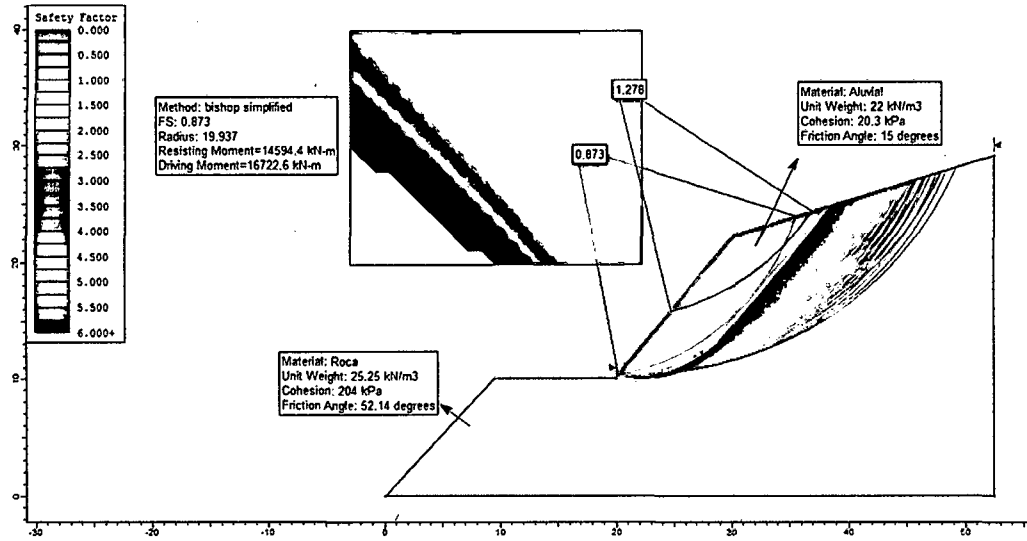


Fig. 47 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.873.

- TENSIONES EFECTIVAS

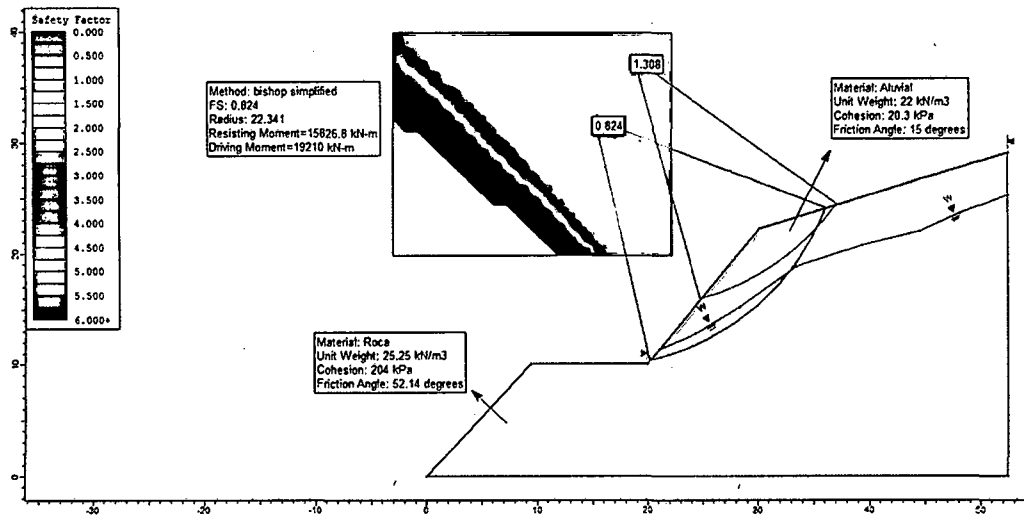


Fig. 48 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.824.

• TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD

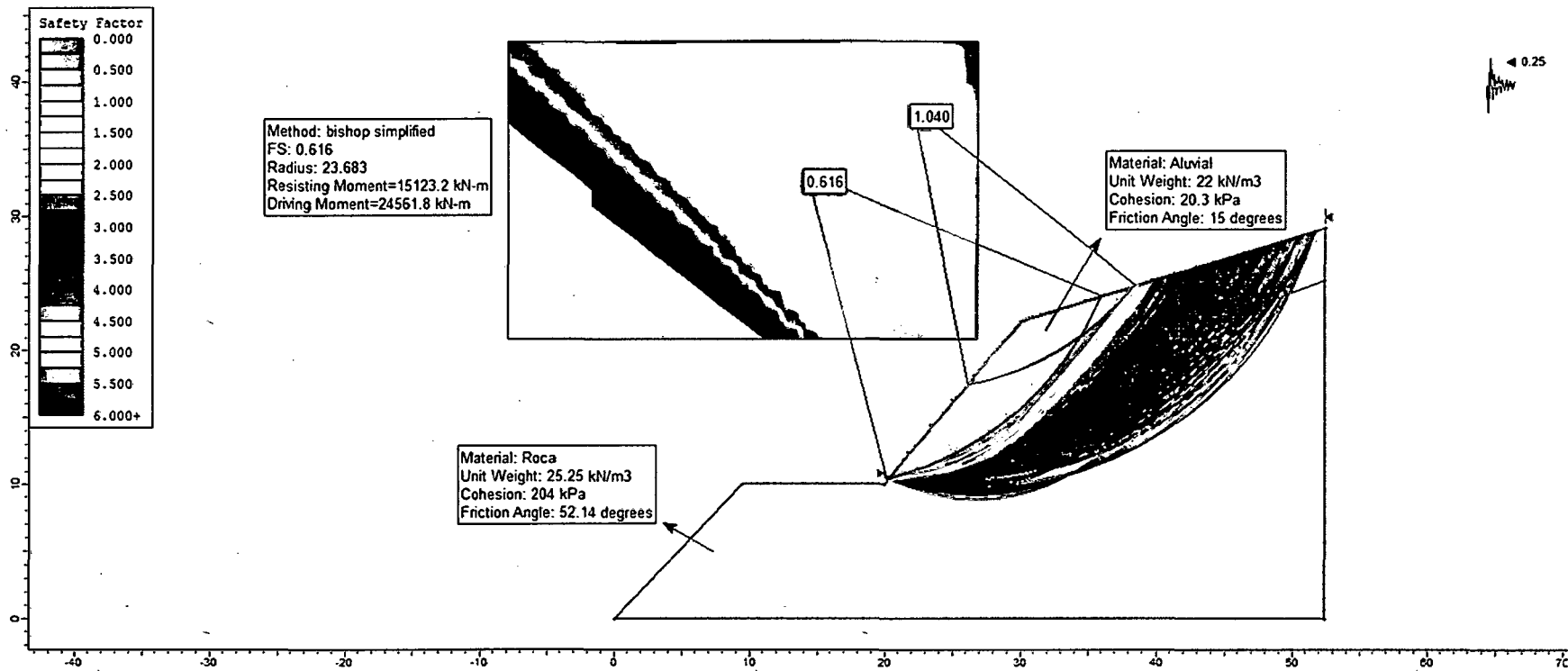


Fig. 49 Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.616.

### 10.1.10 TRAMO 10 - PROGRESIVAS Km 166+655 - Km 166+780

El talud está constituido por un basamento de rocas cuarzosas sub-horizontales de color rojizo, pertenecientes a la Formación Farrat (Ki-Fa), ligeramente meteorizadas; conformándolo cuatro familias de discontinuidades. Geodinamicamente lo constituye derrumbes generados por su rotura en cuña con respecto a sus discontinuidades críticas.



Foto. 18 Afloramiento del macizo rocoso en la progresiva Km 166+655 – Km 166+780.

### PARÁMETROS DE MACIZO ROCOSO:

- **Grado de Meteorización:** Grado II, Ligeramente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** Tipo VIII, 4 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** Tabular.

### PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- **Litología:** Areniscas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Afanítica de grano medio.
- **Color:** Rojizo.
- **Meteorización:** Grado II, Ligeramente meteorizado.
- **Resistencia:** Clase R4, Roca dura, de 50-100 MPa de resistencia a la compresión.





**CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:**

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:



Foto. 19

Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.

- Estratificación 
- Discontinuidad-1 
- Discontinuidad-2 
- Discontinuidad-3 

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	30/257	40 cm.	21 m.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.4mm	Óxidos	Seco
Discontinuidad-1	62/68	25 cm.	30 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.1 mm	Óxidos	Seco
Discontinuidad-2	74/7	12 cm.	20 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.1 mm	Óxidos	Seco
Discontinuidad-3	57/121	25 cm.	80 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 de 50-100	0.5 mm	Óxidos	Seco
Talud	85/61							



**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR<sub>1989</sub>:**

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%			
	VALOR	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / $\sigma$ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR	15	10	7	4	0			

## VALORES AJUSTADOS:

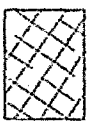







PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Compresión simple (MPa)	7	8.5
Índice de calidad de la Roca (RQD)	20	18.5
Espaciado entre discontinuidades	10	9

$$\text{RMR} = 8.5 + 18.5 + 9 + 0 + 3 + 3 + 4 + 5 + 15$$

$$\text{RMR} = 68$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

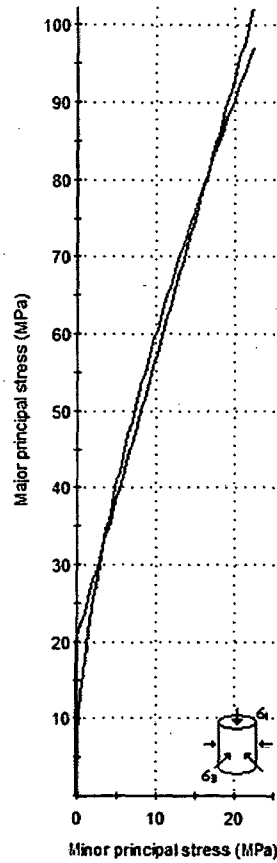
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA:

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
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 38 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		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 38 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
		MUY BUENA Superficies rugosas y de caliza y escasas (sin ser lizas de interrupción ni de alfilerado)	MUY BUENA Superficies rugosas y de caliza y escasas (sin ser lizas de interrupción ni de alfilerado)
		BUENA Superficies rugosas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas, compuestas de bloques de tamaño irregular	BUENA Superficies rugosas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas, compuestas de bloques de tamaño irregular
		REGULAR Superficies lizas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas	REGULAR Superficies lizas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas
		MALA Superficies lizas y/o alfileradas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas, con reflejos de fragmentos granulares y/o alfilerados	MALA Superficies lizas y/o alfileradas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas, con reflejos de fragmentos granulares y/o alfilerados
		MUY MALA Superficies lizas y/o alfileradas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas, con reflejos de fragmentos granulares y/o alfilerados	MUY MALA Superficies lizas y/o alfileradas, casi totalmente interrumpidas y/o alfileradas, con reflejos de fragmentos granulares y/o alfilerados
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	
EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA	
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TRUZZOS O BLOQUES DE ROCA EN FRACCIONES DE FORMA CUADRADA Y RECTANGULARES POR TRAZOS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TRUZZOS O BLOQUES DE ROCA TRABAZADOS, DE VARIAS CAPAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS TRAZOS DE ESTRUCTURAS.	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO POCO O MODERADAMENTE AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TRUZZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CAPAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE MAYOR O MENOS TRAZOS DE ESTRUCTURAS.	40	38
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y DESORDENADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO PREFERENTE TRABAZADO DE BLOQUES Y TRUZZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN EN REDONDEADOS.	20	10
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TRUZZOS O BLOQUES DE ROCA EN FRACCIONES DE FORMA CUADRADA Y RECTANGULARES POR TRAZOS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TRUZZOS O BLOQUES DE ROCA TRABAZADOS, DE VARIAS CAPAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS TRAZOS DE ESTRUCTURAS.	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO POCO O MODERADAMENTE AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TRUZZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CAPAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE MAYOR O MENOS TRAZOS DE ESTRUCTURAS.	40	38
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y DESORDENADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO PREFERENTE TRABAZADO DE BLOQUES Y TRUZZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN EN REDONDEADOS.	20	10

GSI = 63

ANÁLISIS ROCLAB:

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 90 MPa  
 GSI = 63  $m_i$  = 21 Disturbance factor (D) = 0.7  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 12000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 2.750  $s$  = 0.0047  $a$  = 0.502

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 5.293 MPa friction angle = 34.73 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.153 MPa  
 uniaxial compressive strength = 6.088 MPa  
 global strength = 20.217 MPa  
 deformation modulus = 2859.67 MPa

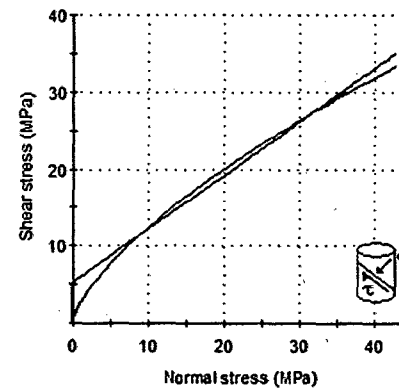


Fig. 50 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de Fm. Farrat.

**ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:**

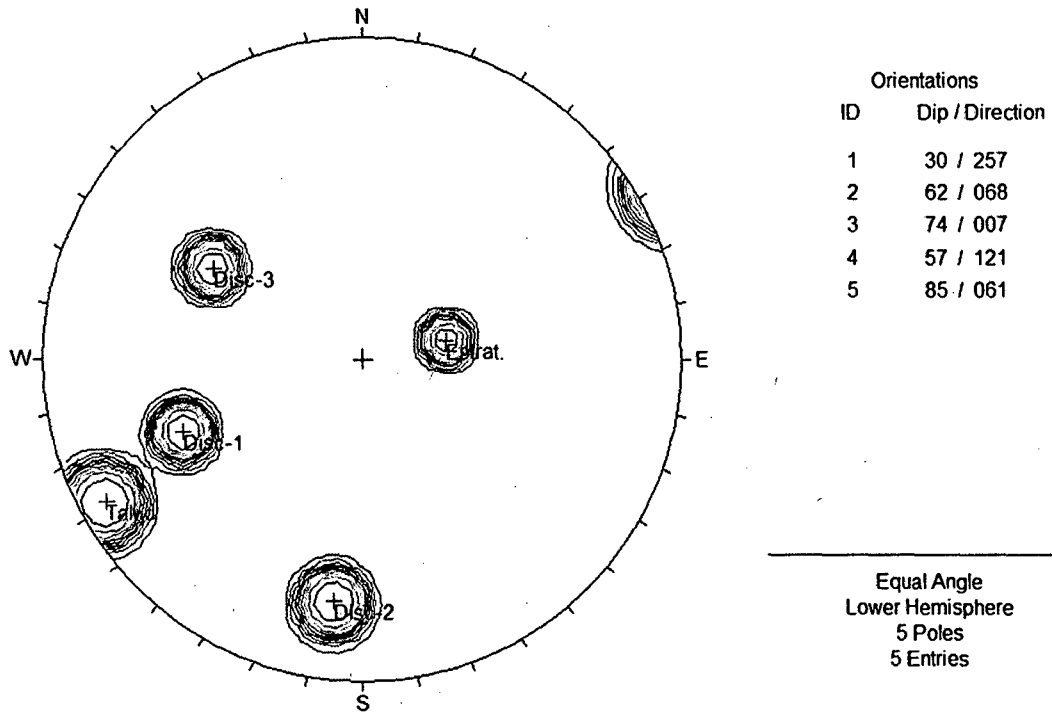


Fig. 51 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 10.

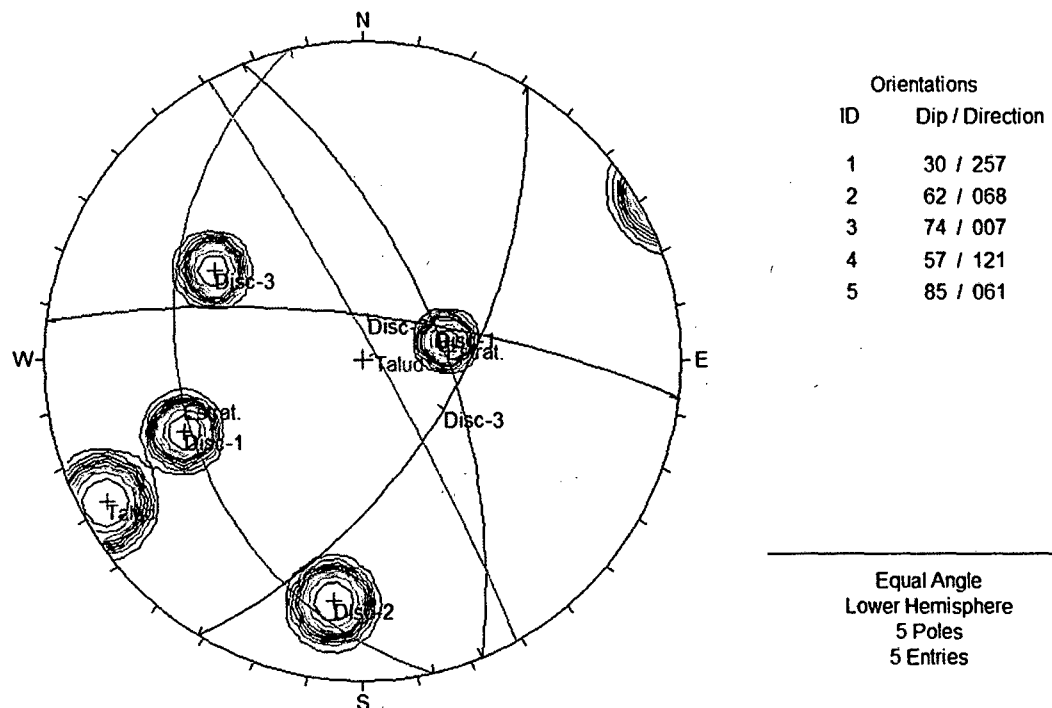


Fig. 52 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades tramo 10. Se observa que el plano del talud es cortado por la discontinuidad 1 - 2 - 3, generando rotura en cuña con respecto al talud.

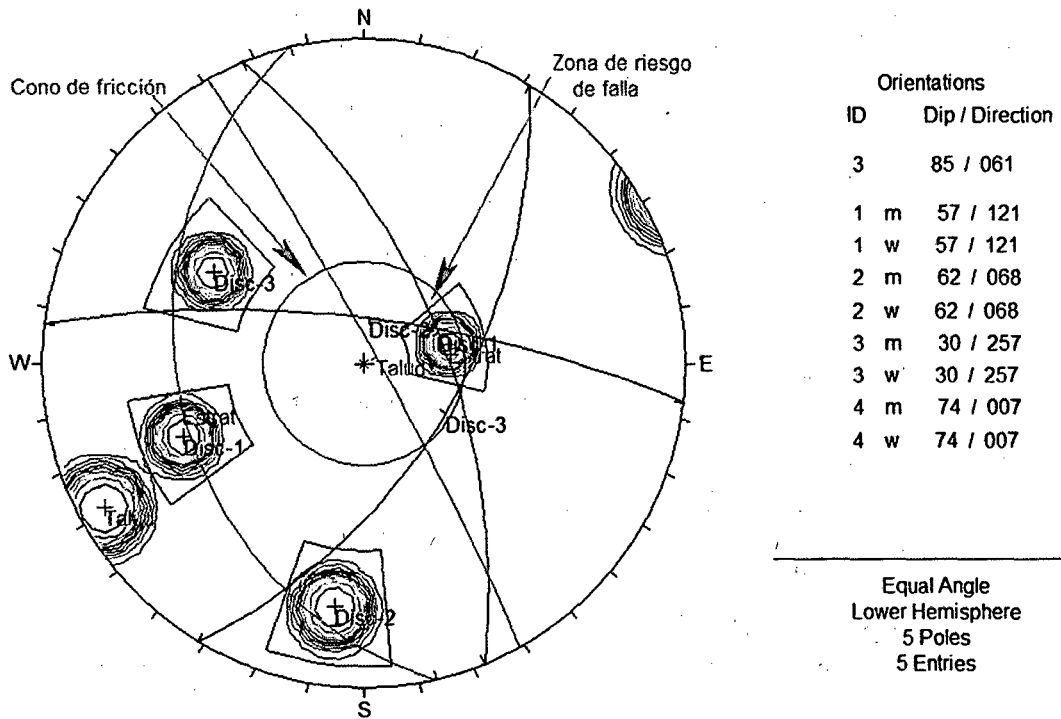


Fig. 53 Diagrama de la proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican roturas en cuña con un al buzamiento NE en el tramo 10.

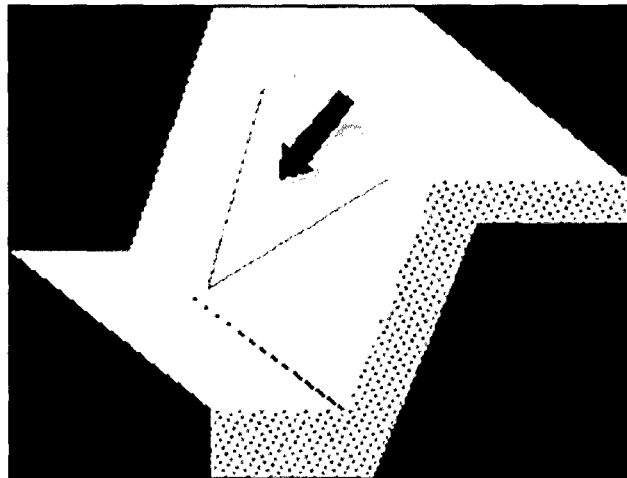


Fig. 54 Diagrama de deslizamiento en cuña en función del análisis de la proyección estereográfica.

### 10.1.11 TRAMO 11 - PROGRESIVAS Km 167+070 - Km 167+210

Su litología está conformada por rocas de la Formación Chulec (Ki-Chu), con intercalaciones de lutitas y calizas margosas altamente meteorizadas, evidenciándose en su tonalidad amarillenta. Lo constituyen derrumbes corona del talud en forma progresiva por su matriz altamente alterada de calizas, formando surcos en la parte frontal del talud por la precipitación, socavando de manera progresiva e inestabilizando el talud.



Foto. 20 Afloramiento de calizas margosas en la progresiva Km 167+070 – Km 167+210, altamente alterado, compuesto por intercalaciones de lutitas y calizas de textura packstone.

### PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- **Grado de Meteorización:** Grado IV, Altamente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** Tipo VIII, 4 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** Poliédrico

### PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- **Litología:** Calizas margosas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Packstone y microcristalina.
- **Color:** Amarillento.
- **Meteorización:** Grado IV, Altamente meteorizado.
- **Resistencia:** Clase R2, Roca blanda, de 5.0-25 MPa de resistencia a la compresión.



**CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:**

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:



Foto. 21

Cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso.

- Estratificación ~~~~~
- Discontinuidad-1 ~~~~~
- Discontinuidad-2 ~~~~~
- Discontinuidad-3 ~~~~~

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	23/346	10 cm.	12 m.	Ondulada	R2 de 5.0-25	7 mm	Arcilloso	Agua fluyendo
Discontinuidad-1	87/240	12 cm.	7 cm.	Ondulada	R2 de 5.0-25	6 mm	Arcilloso	Agua fluyendo
Discontinuidad-2	69/150	12 cm.	6 cm.	Ondulada	R2 de 5.0-25	5 mm	Arcilloso	Agua fluyendo
Discontinuidad-3	42/193	20 cm.	2.5 cm.	Ondulada	R2 de 5.0-25	6 mm	Arcilloso	Agua fluyendo
Talud	70/85							

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR<sub>1989</sub>:**

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 - 4 MPa	4 - 2 MPa	2 - 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 - 100 MPa	100 - 50 MPa	50 - 25MPa	25 - 5 MPa	5 - 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25%		
	VALOR		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	6 - 20 cm	< 6 cm		
	VALOR		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / $\sigma$ principal	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR		15	10	7	4	0		

## VALORES AJUSTADOS:

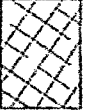



PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Compresión simple (MPa)	2	2.5
Índice de calidad de la Roca (RQD)	8	7.5
Espaciado entre discontinuidades	8	7

$$\text{RMR} = 2.5 + 7.5 + 7 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 0$$

$$\text{RMR} = 23$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA:

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
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 38 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frías (sin seriales de interpenetración de la roca)		MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frías (sin seriales de interpenetración de la roca)	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
		BUENA Superficies rugosas, con seriales interpenetrables y/o alfilerada, compuestas de vidrio de hierro		BUENA Superficies rugosas, con seriales interpenetrables y/o alfilerada, compuestas de vidrio de hierro	
		REGULAR Superficies lisas, cajas mal o no interpenetrables y/o alfilerada		REGULAR Superficies lisas, cajas mal o no interpenetrables y/o alfilerada	
		MALA Superficies lisas y/o alfilerada, cajas interpenetrables y/o alfilerada, con refajos de fragmentos grandes y/o alfilerada fina		MALA Superficies lisas y/o alfilerada, cajas interpenetrables y/o alfilerada, con refajos de fragmentos grandes y/o alfilerada fina	
		MUY MALA Superficies lisas y/o alfilerada, cajas muy interpenetrables y/o alfilerada, con refajos de fragmentos muy finos		MUY MALA Superficies lisas y/o alfilerada, cajas muy interpenetrables y/o alfilerada, con refajos de fragmentos muy finos	
	<b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA EN TRABAZOS, DE FORMA CUADRADA Y DEFORMADOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.	80	70	80	70
	<b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA TRABAZADOS, DE VARIAS CAPAS, ANGULOSOS Y DEFORMADOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.	60	30	60	30
	<b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TRAZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CAPAS, ANGULOSOS Y DEFORMADOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.	40	30	40	30
	<b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y DESINTEGRADO, CONFORMADO POR UN CONCRETO PORFIRENTE TRABAZADO DE BLOQUES Y TRAZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS	20	10	20	10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA	

GSI = 18

ANÁLISIS ROCLAB:

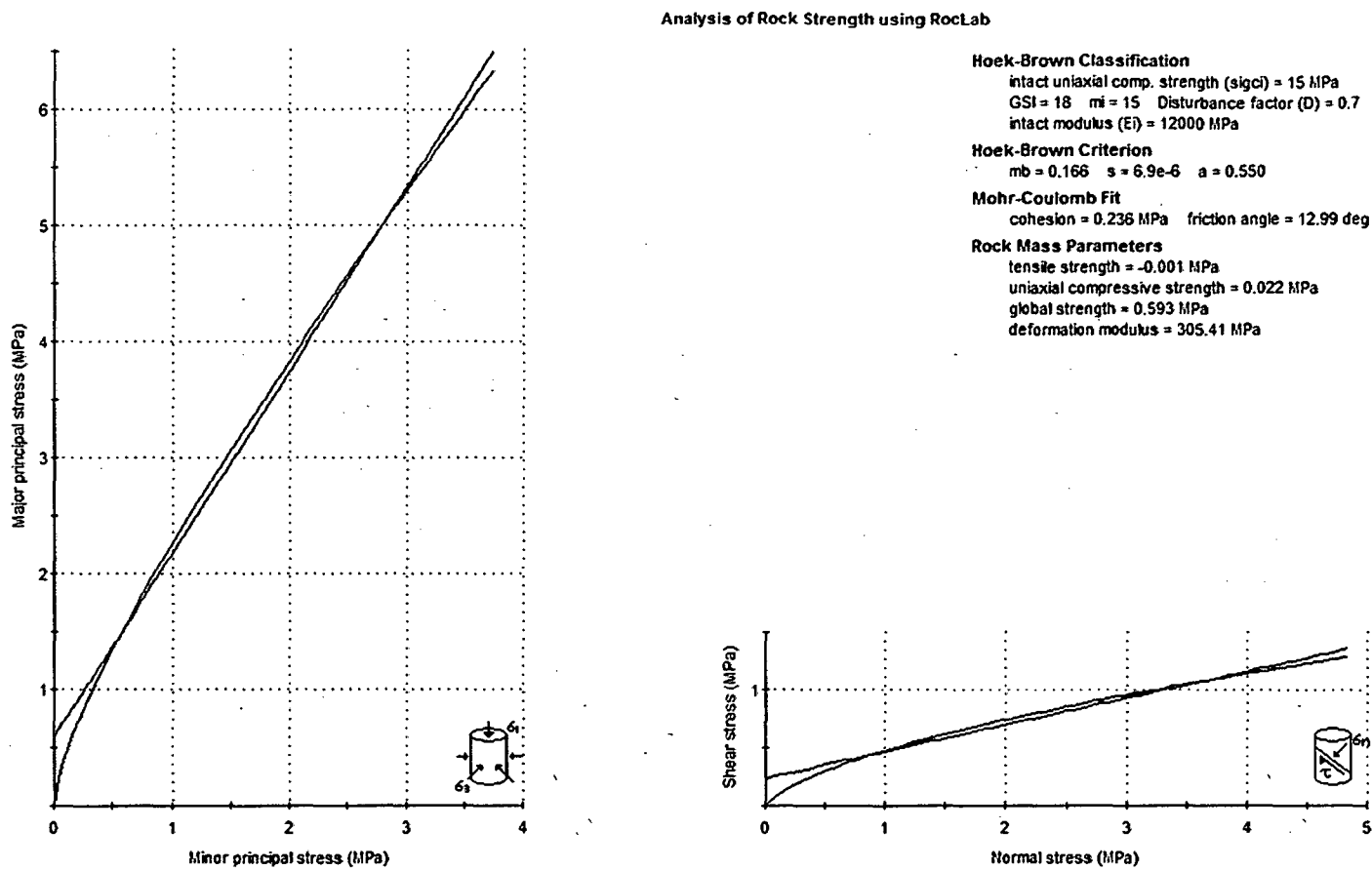


Fig. 55 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Calizas margosas.

**ANÁLISIS DE DISCONTINIUIDADES DIPS:**

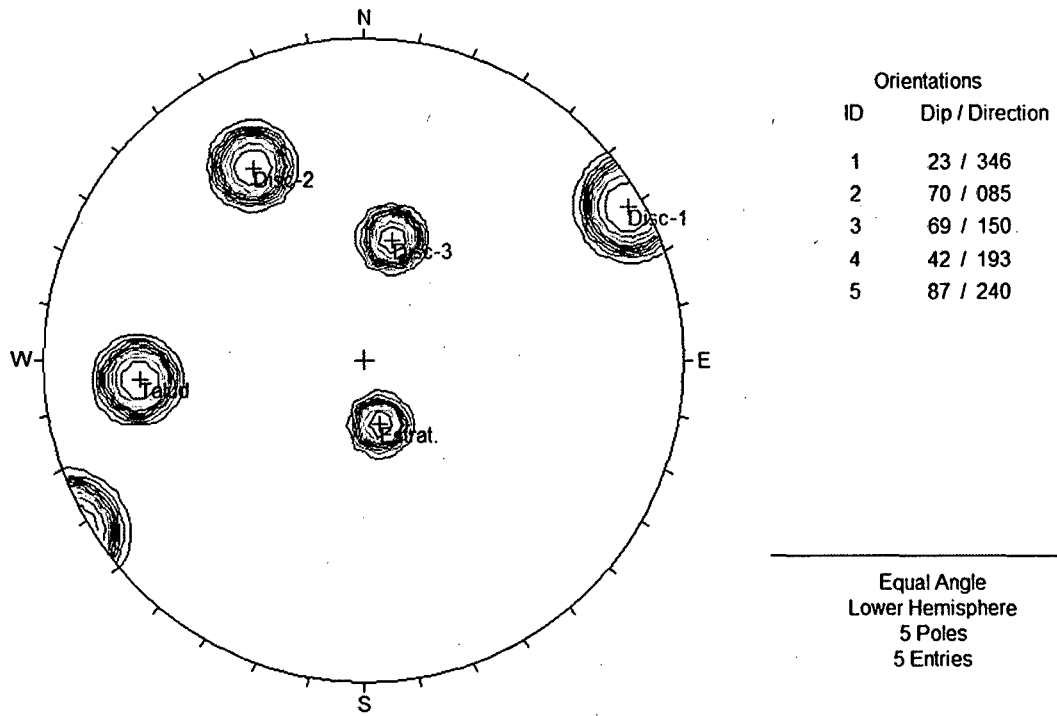


Fig. 56 Diagrama de polos de las discontinuidades del tramo 11.

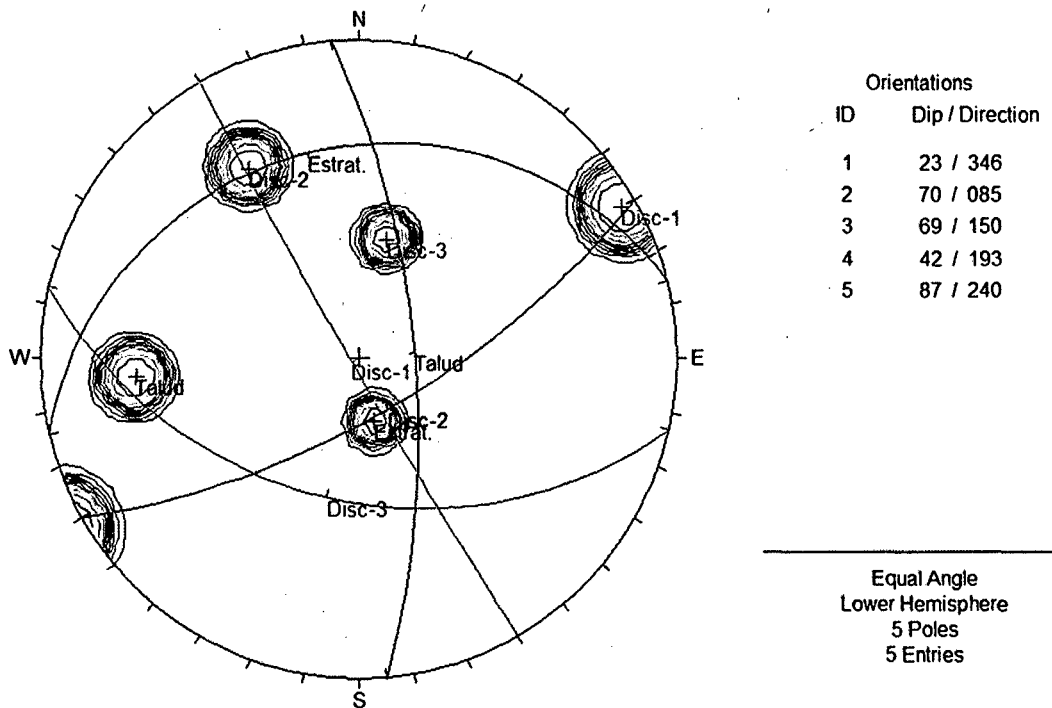


Fig. 57 Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades tramo 11. Se observa que el plano del talud es cortado por el plano de estratificación y la discontinuidad 2, generando rotura con respecto al talud.

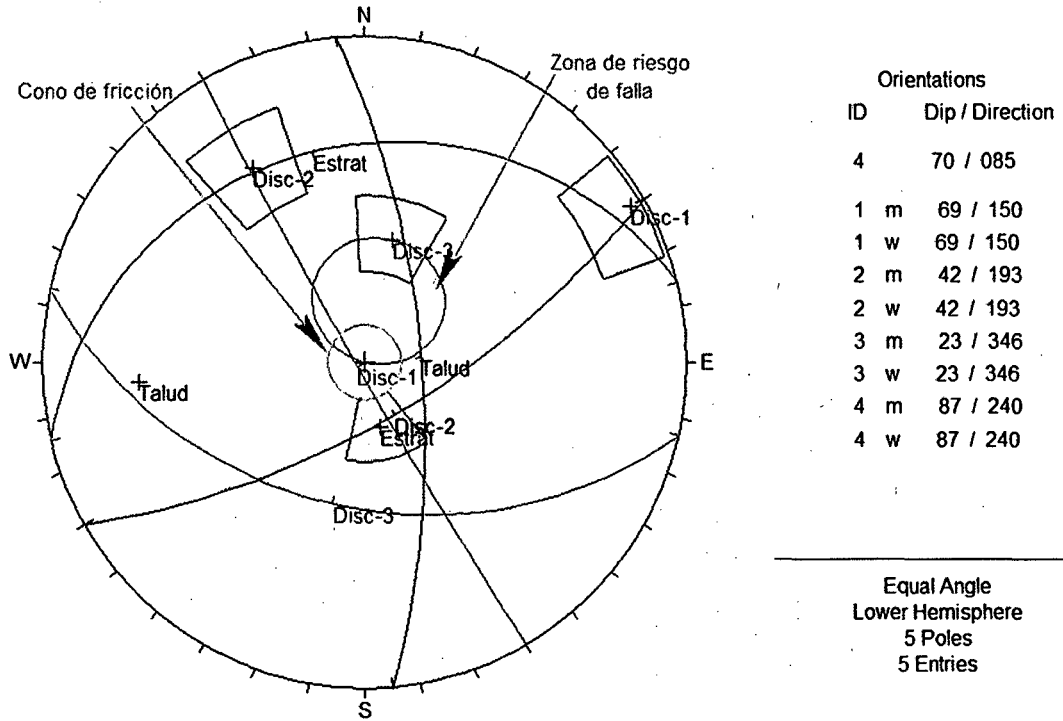


Fig. 58 Diagrama de la proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican roturas en cuña con respecto al buzamiento NE de la discontinuidad 1 – 2 del tramo 11.

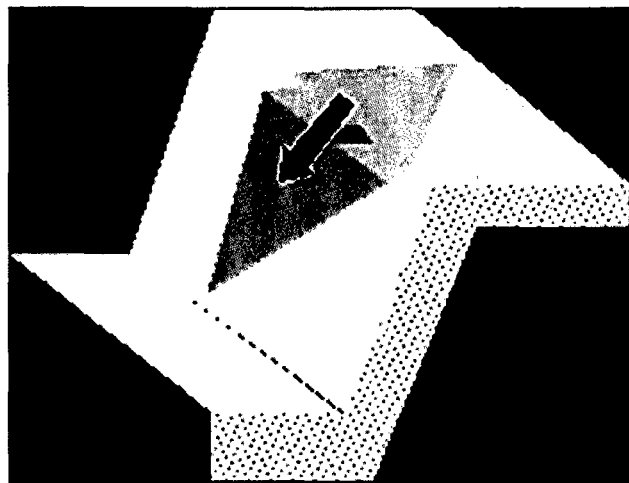


Fig. 59 Diagrama de deslizamiento en cuña en función del análisis de la proyección estereográfica.

## 10.2 ESTABILIDAD DE TALUDES

### 10.2.1 TRAMO 01 - PROGRESIVAS Km 162+110 - Km 162+230

Se recomienda remover la base del talud e implementar geomuros (muros cribas), los cuales se traban ortogonalmente estabilizando en forma interna y externa del talud. En cuanto a la parte superior para evitar el efecto erosivo del agua de escorrentía sobre los taludes de corte se deberá prever cunetas o zanjas de coronación (tendrán una forma trapezoidal cuyas medidas son: la parte libre como mínimo 1.00 m., en la base 0.50 m. y la altura 0.50 m). También se puede mejorar mediante la construcción de aliviaderos para mejor disipación de corrientes de agua de escorrentía o pluviales.

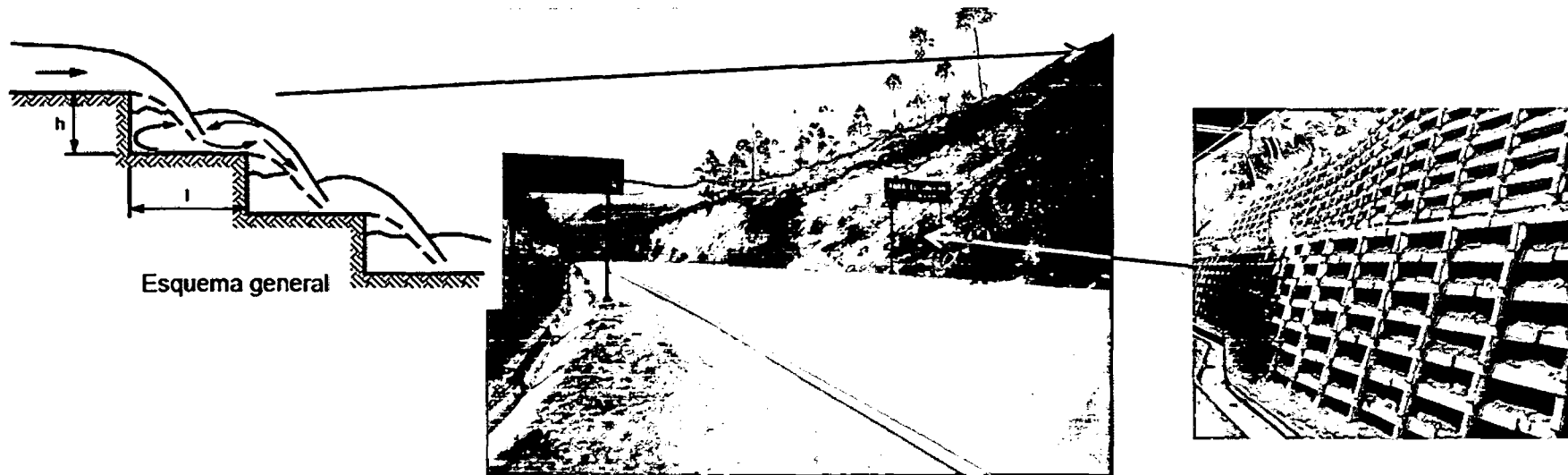


Foto. 22 Estabilización en la progresiva Km 162+110 – Km 162+230.



### 10.2.2 TRAMO 02 - PROGRESIVAS Km 162+750 - Km 162+860

Se recomienda construir banquetas, que estarán ubicadas en diferentes taludes, las que están en función de la altura y la pendiente. Entre banquetas se construirá cunetas o zanjas de coronación (tipo según párrafo 8.2.1), para evitar la formación de cárcavas y erosión. Las que irán recubiertas con biomantas, que servirán para estabilidad al talud.

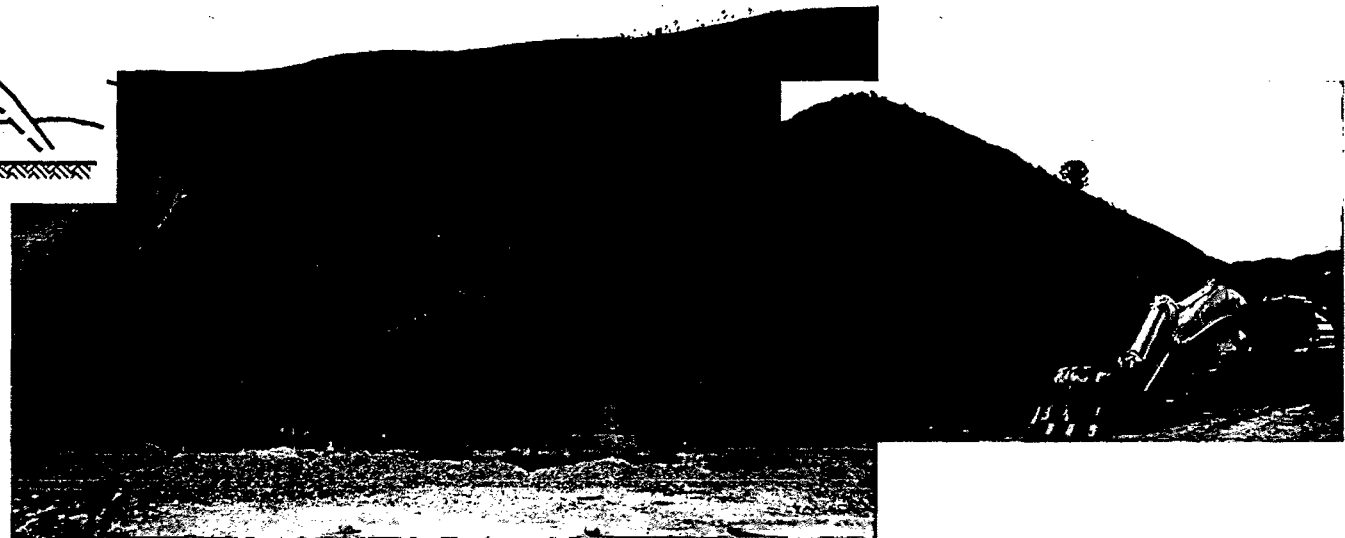
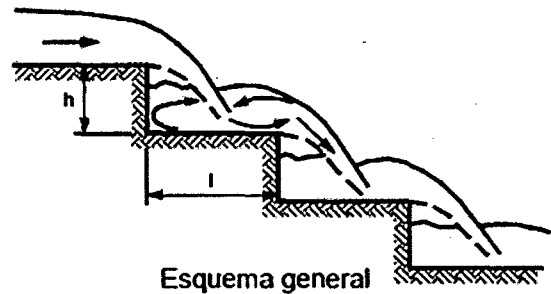


Foto. 23 Estabilización en la progresiva Km 162+750 - Km 162+860.

10.1.3 TRAMO 03 - PROGRESIVAS Km 163+250 - Km 163+350

Se recomienda utilizar anclajes cada 1.5 m. y una longitud de 4 m. Siendo una de las mejores maneras de estabilizar el macizo rocoso. Para reducir los derrumbes en la zona rocosa.

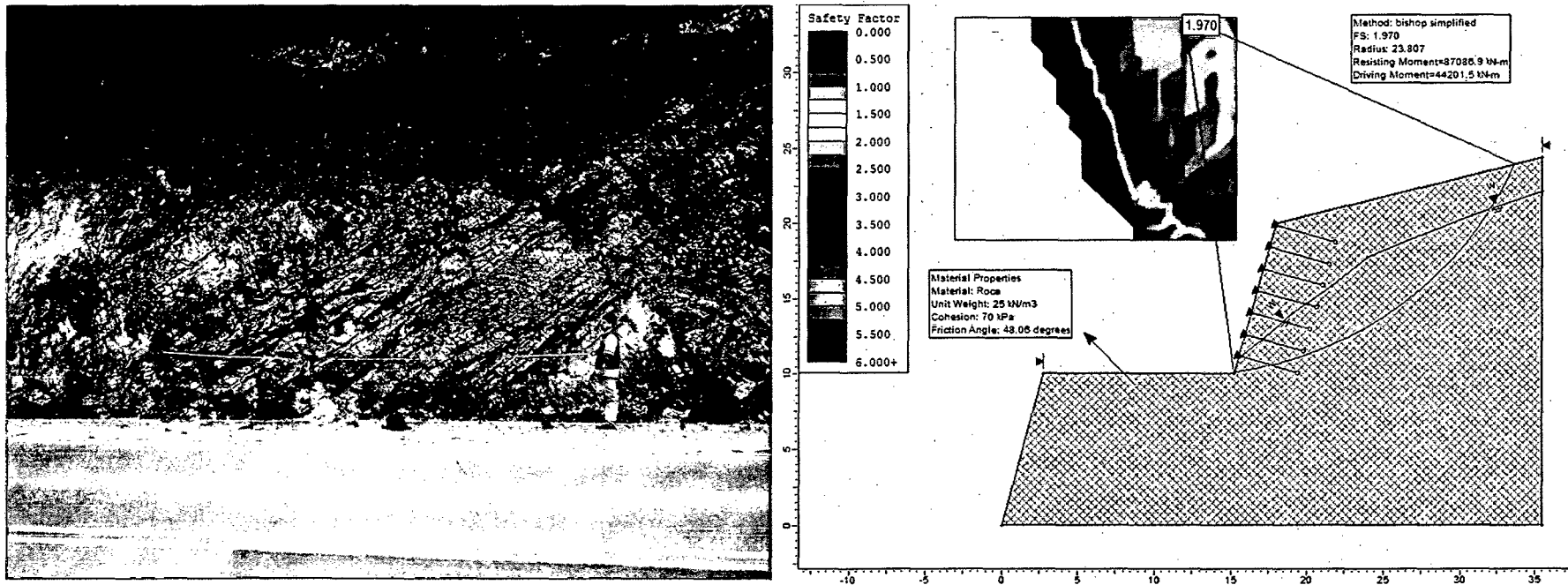


Foto. 24 Estabilización en la progresiva Km 163+250 – Km 163+350.

#### 10.2.4 TRAMO 04 - PROGRESIVAS Km 164+240 - Km 164+280

Se recomienda construir banquetas, que estarán en función de la altura y la pendiente. Entre banquetas se construirá cunetas o zanjas de coronación (tipo según párrafo 8.2.1), para evitar la formación de cárcavas y erosión. Las que irán recubiertas con biomantas, que servirán para estabilidad al talud.



Foto. 25 Estabilización en la progresiva Km 164+240 – Km 164+280.

### 10.2.5 TRAMO 05 - PROGRESIVAS Km 164+400 - Km 164+450

Se recomienda bajar la pendiente del talud hasta llegar a un ángulo entre  $60^\circ$  -  $65^\circ$  para una mejor estabilidad; hacer un retiro de 1.00 m. de la cuneta, para que no genere acumulaciones de material cuaternario.



Foto. 26 Estabilización en la progresiva Km 164+400 – Km 164+450.

### 10.1.6 TRAMO 06 - PROGRESIVAS Km 164+750 - Km 164+850

Se recomienda remover la base del talud e implementar geomuros (muros cribas), los cuales se traban ortogonalmente estabilizando en forma interna y externa del talud. En cuanto a la parte superior para evitar el efecto erosivo del agua de escorrentía sobre los taludes de corte se deberá prever cunetas o zanjas de coronación; mejorando mediante la construcción de aliviaderos para mejor disipación de corrientes de agua de escorrentía.



Foto. 27 Estabilización en la progresiva Km 164+750 – Km 164+850.

10.1.7 TRAMO 07 - PROGRESIVAS Km 165+240 - Km 165+290

Se recomienda para mitigar estos derrumbes a favor de la pendiente se debe realizar un desquinchado y limpieza total del talud, de bloques y rocas; para un posterior anclamiento del talud cada un 1.5m. de longitud entre anclaje y una longitud de 4m.

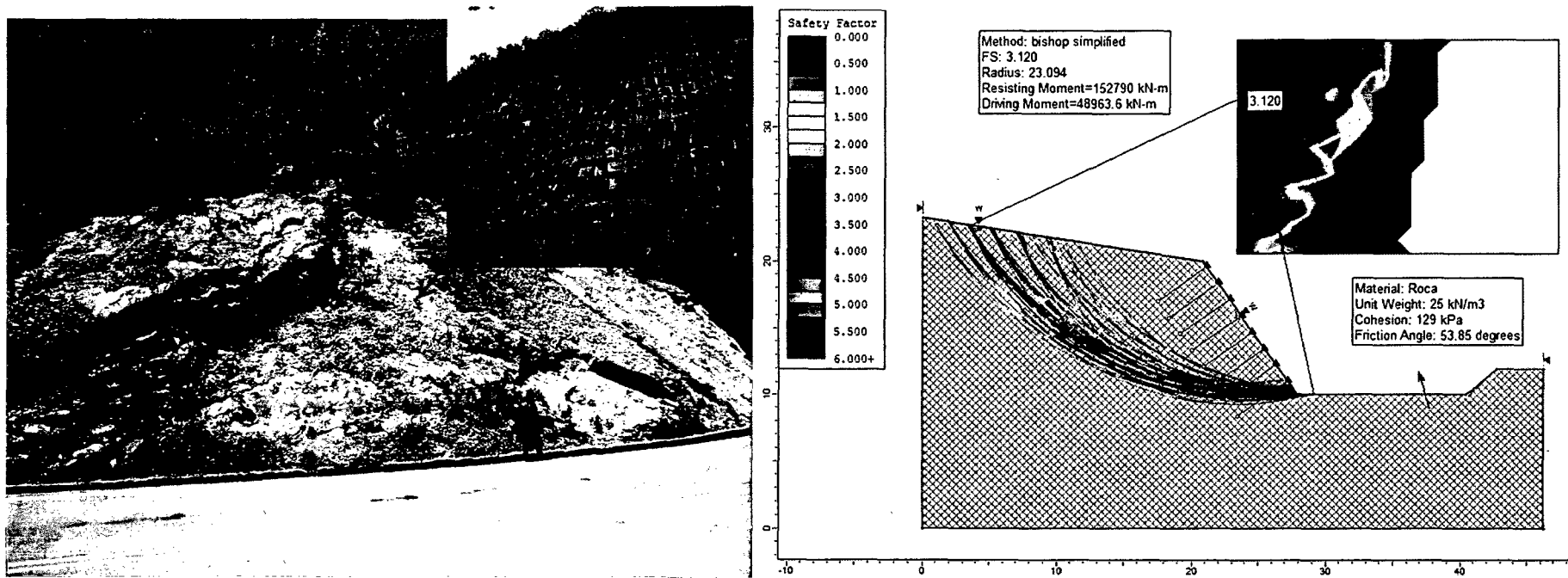


Foto. 28 Estabilización en la progresiva Km 165+240 – Km 165+290.

### 10.1.8 TRAMO 08 - PROGRESIVAS Km 165+700 - Km 165+850

La recomendación es un desquinchado de todo el talud para evitar derrumbe de rocas, siendo la mejor solución un enmallado anclado, funcionando como receptor de caídas de rocas.



Foto. 29 Estabilización en la progresiva Km 165+700 – Km 165+850.

### 10.1.9 TRAMO 09 - PROGRESIVAS Km 166+585 - Km 166+655

Se recomienda utilizar geomuros por el tipo de deslizamiento rotacional, removiendo toda la base del talud y material suelto para una estabilización. El geomuro actuara en forma externa e interna, la cual indica mitigara posibles deslizamientos y caídas de rocas, al mismo tiempo por su forma de oquedades evacuara agua, siendo una mejor alternativa.



Foto. 30 Estabilización en la progresiva Km 166+585 – Km 166+655.



### 10.1.10 TRAMO 10 - PROGRESIVAS Km 166+655 - Km 166+780

Se recomienda un desquinchado para evitar caídas de rocas y sobre todo en las discontinuidades críticas y procederá implantar un enmallado anclado, funcionando como receptor de caídas de rocas.

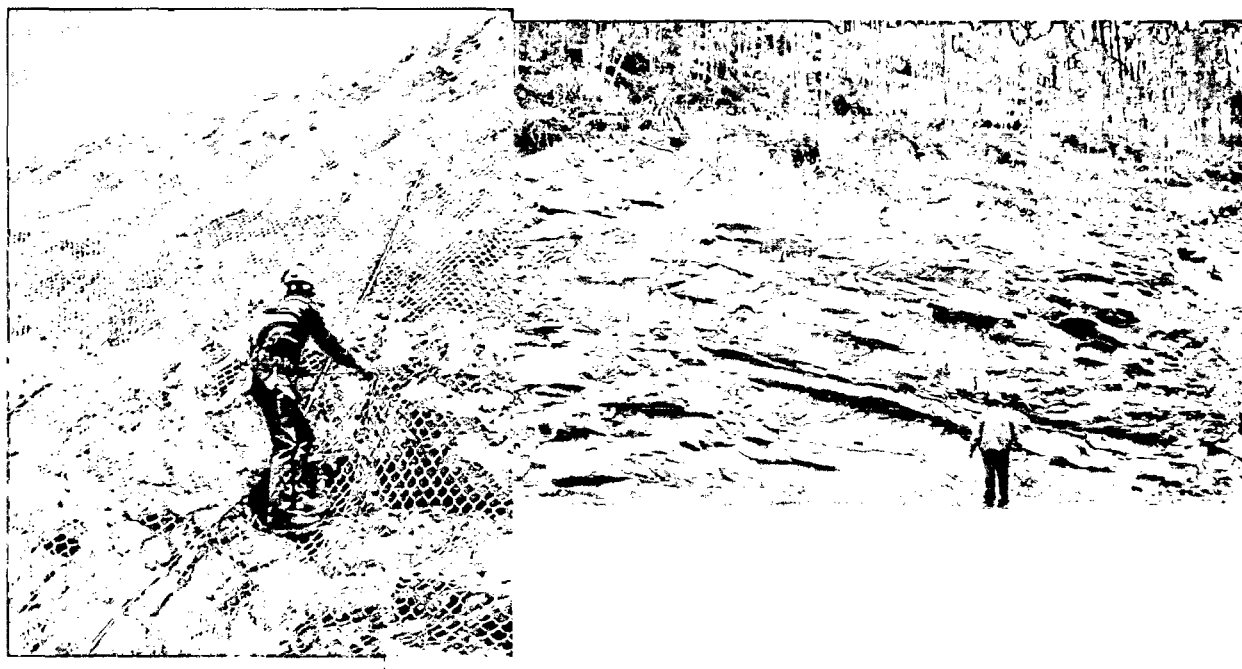


Foto. 31 Estabilización en la progresiva Km 166+655 – Km 166+780.

### 10.1.11 TRAMO 11 - PROGRESIVAS Km 167+070 - Km 167+210

Se recomienda utilizar geomuros, para lo cual realiza una limpieza del todo el talud de 140 m. ya se en la base sí como en la cara del talud para evitar posibles derrumbes de rocas y deslizamientos.

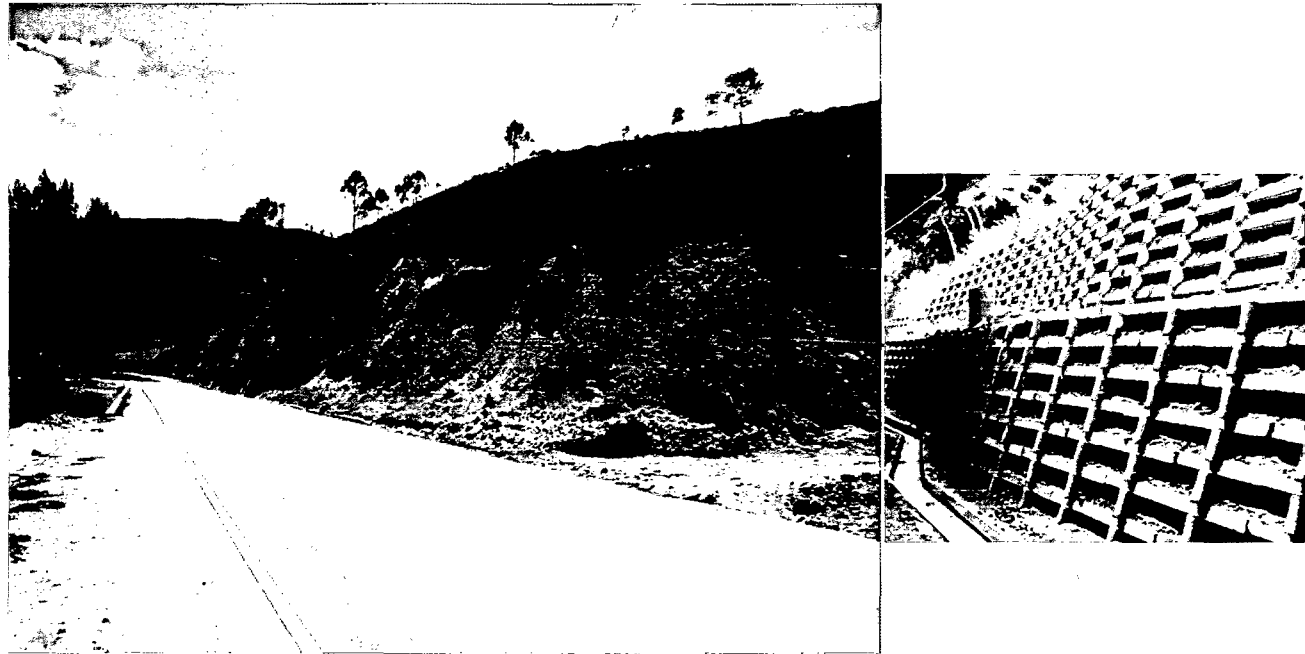


Foto. 32 Estabilización en la progresiva Km 167+070 – Km 167+210.

## **CAPÍTULO XII**

### **CANTERAS**

En el trayecto de la carretera se reconocieron una serie de canteras en varias progresivas, las cuales proporcionan materiales para obras de construcción, muchos de los cuales lo explotan por bancos

#### **9.1 CANTERA GAVILÁN**

Se encuentra ubicada en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 162+355, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 60000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con contenidos de arena fina. Los fragmentos tienen una forma angulosa. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM

#### **9.2 CANTERA EL BOSQUE**

Se encuentra ubicada en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 162+840, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 80000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con contenidos de arena fina. Los fragmentos tienen una forma subangulosa. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM

#### **9.3 CANTERA LOS ALCONES**

Se encuentra ubicada en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 163+600, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 50000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con contenidos de arena fina y arcilla. Los fragmentos tienen una forma subangulosa. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM – ML

#### **9.4 CANTERA DON LUCHO N° 2**

Se encuentra ubicada en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 164+060, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 60000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con contenidos altos de arcilla. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM – ML

#### **9.5 CANTERA ADRIAN MFC**

Se encuentra ubicada en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 165+360, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 10000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con contenidos bajos de arcilla. Los fragmentos tienen una forma subangulosa - angulosa. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM – ML

#### **9.6 CANTERA DON LUCHO N° 01**

Se encuentra ubicada en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 171+500, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 200000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con impurezas de lutitas y limolitas . Los fragmentos tienen una forma subangulosa. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM – ML

#### **9.7 CANTERA C&M**

Se encuentra ubicado en la carretera Cruz Blanca –El Gavilán en la progresiva Km 172+150 - Km 172+400, en el flanco izquierdo. Se estima un volumen de 250000m<sup>3</sup>. de material gravo - arenoso con contenidos arcillas en mayor proporción y limolitas. Los fragmentos tienen una forma subangulosa. Dentro de la clasificación del Sistema Unificado SUCS, ha sido identificado como: GM – SM – ML

## **CAPÍTULO XII**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **12.1 RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Los resultados de la investigación han determinado factores de seguridad en los taludes ya sea en: suelos y rocas ubicadas en las progresivas de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán. Así mismo he terminado medidas de estabilización de acuerdo a las condiciones: geológicas, geotécnicas, hidrológicas y ambientales que permitan tener el conocimiento completo del comportamiento del talud, siendo el ingeniero el responsable del diseño.

#### **12.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para la interpretación de la información de los taludes se han elaborado modelamientos de perfiles 2D en suelos y en cambio en rocas se determinó el tipo de rotura que ocasiona los derrumbes y caídas de rocas, en las progresivas críticas de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán. Las secciones elaboradas son transversales al eje de la carretera, analizando así su composición litología del talud en 6 secciones críticas en suelos, dividiéndose cada una en tres condiciones establecidas para su mejor zonificación como : tensiones totales, tensiones efectivas y tensiones efectivas + sismicidad; determinando así sus factores de seguridad en función de las condiciones ya estipuladas.

#### **12.3 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES**

A partir de los análisis se obtuvo los parámetros geotécnicos descriptos anteriormente, clasificando estos taludes en: suelos y rocas. Zonificando factores de seguridad en función del tipo de litología. Para esta clasificación se tuvo en

cuenta Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), Rock Mass Rating (RMR<sub>1989</sub>), Geological Strength Index (GSI).

**TRAMO 01 - PROGRESIVAS Km 162+110 - Km 162+230**, compuesta por dos tipos de depósitos cuaternarios:

**Aluvial**, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) está compuesta por: Arena: 23.52%, Limo: 69.18%, Arcilla: 7.31%; siendo arenas arcillosas (SC), englobando una matriz arenosa de grano fino a medio, con poco porcentaje de finos. La curva granulométrica presenta los siguientes coeficientes: Cu: 11.33, Cc: 0.69, representando un suelo heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 0.42, D60:1.70.

**Coluvial**, compuesta por Grava: 61.54%; Arena: 33.58%, Finos: 4.88%, siendo Grava limosa (GM), compuesta por gravas finas a gruesas de 0.20 m de diámetro, presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 19.04, Cc: 2.43, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.25, D30: 1.70, D60: 4.76.

TRAMO 01									
Potencia	Litología	SUCS	AASHTO	Ws	Cu	Cc	F.S.(T.T.)	F.S.(T.E.)	F.S.(T.E. + S.)
0.00 - 0.70	Aluvial	SC	A-2-6	4.159	11.33	0.69	0.759	0.049	0.009
0.70 - 1.40	Coluvial	GP	A-1	5.700	19.04	2.43			

**TRAMO 02 - PROGRESIVAS Km 162+750 - Km 162+860**, compuesta por dos tipos de depósitos cuaternarios:

**Coluvio - aluvial**, compuesta por Grava: 61.65%; Arena: 29.68%, Finos: 8.67%; siendo Grava mal graduada (GP), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 84.67, Cc: 1.52, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 1.70, D60: 12.70.

**Aluvial**, compuesta por Grava: 64.76%; Arena: 29.00%, Finos: 6.24%; siendo Grava limosa (GM), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 50.80, Cc: 0.91, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.25, D30: 1.70, D60: 12.70.

TRAMO 02									
Potencia	Litología	SUCS	AASHTO	Ws	Cu	Cc	F.S.(T.T.)	F.S.(T.E.)	F.S.(T.E. + S.)
0.00 - 0.75	Coluvio - aluvial	GP	A-1	3.450	84.67	1.52	0.944	0.601	0.381
0.75 - 1.60	Aluvial	GP	A-2-5	3.110	50.80	0.91			

**TRAMO 03 - PROGRESIVAS Km 163+250 - Km 163+350**, arenisca cuarzosa, ligeramente meteorizada de Grado: II; presentando 4 familias de discontinuidades, RQD: 50 – 75%. Asignando un RMR: 51 (Regular). Determinándose por sus familias una rotura planar.

Tramo 03					
$\sigma_{ci}$	GSI	$c'$	$\phi'$	$E_m$	Rotura
80 MPa	46	4.642 MPa	35.29°	2865.49 MPa	Planar

**TRAMO 04 - PROGRESIVAS Km 164+240 - Km 164+280**, compuesta por un deposito **aluvial**, compuesta por Grava: 68.08%; Arena: 27.88%, Finos: 4.04%; siendo Grava mal graduada (GP), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 84.67, Cc: 1.52, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 1.70, D60: 12.70.

TRAMO 04									
Potencia	Litología	SUCS	AASHTO	Ws	Cu	Cc	F.S.(T.T.)	F.S.(T.E.)	F.S.(T.E. + S.)
0.00 - 1.80	Aluvial	GP	A-2-6	5.598	84.67	1.52	0.651	0.649	0.431

**TRAMO 05 - PROGRESIVAS Km 164+400 - Km 164+450**, compuesta por dos tipos de depósitos cuaternarios:

**Coluvio - aluvial**, compuesta por Grava: 62.47%; Arena: 33.19%, Finos: 4.34%; siendo Grava mal graduada (GP), presentando en la curva granulométrica los

siguientes coeficientes: Cu: 30.24, Cc: 0.54, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.42, D30: 1.70, D60: 12.70.

**Aluvial**, compuesta por Grava: 55.75%; Arena: 35.36%, Limo: 8.89%; siendo Grava limosa (GM), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 42.33, Cc: 3.03, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 1.70, D60: 6.35.

TRAMO 05									
Potencia	Litología	SUCS	AASHTO	Ws	Cu	Cc	F.S.(T.T.)	F.S.(T.E.)	F.S.(T.E. + S.)
0.00 - 0.80	Aluvial	GM	A-2-5	3.015	42.33	3.03	0.827	0.823	0.652
0.80 - 2.10	Coluvio - aluvial	GP	A-2-4	4.540	30.24	0.54			

**TRAMO 06 - PROGRESIVAS Km 164+750 - Km 164+850**, compuesta por dos tipos de depósitos cuaternarios:

**Aluvial**, compuesta por Grava: 62.51%; Arena: 31.37%, Limo: 6.12%; siendo Grava limosa (GM), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 84.67, Cc: 1.52, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 1.70, D60: 12.7.

**Coluvio - aluvial**, compuesta por Grava: 72.55%; Arena: 19.27%, Finos: 8.18%; siendo Grava limosa (GP), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 84.67, Cc: 3.24, representando un suelo muy heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 6.35, D60: 12.70.

TRAMO 06									
Potencia	Litología	SUCS	AASHTO	Ws	Cu	Cc	F.S.(T.T.)	F.S.(T.E.)	F.S.(T.E. + S.)
0.00 - 0.65	Coluvio - aluvial	GP	A-2-4	4.535	84.67	3.24	0.743	0.009	0.011
0.65 - 1.60	Aluvial	GM	A-2-5	4.935	84.67	1.52			



**TRAMO 07 - PROGRESIVAS Km 165+240 - Km 165+290**, arenisca moderadamente meteorizada de Grado: III; presentando 3 familias de discontinuidades, RQD: 75 – 90%. Asignando un RMR: 56 (Regular). Determinándose por sus familias una rotura planar.

Tramo 07					
$\sigma_{ci}$	GSI	$c'$	$\phi'$	$E_m$	Rotura
40 MPa	51	2.413 MPa	35.88°	3913.8 MPa	Planar

**TRAMO 08 - PROGRESIVAS Km 165+700 - Km 165+850**, arenisca ligeramente meteorizada de Grado: II; presentando 4 familias de discontinuidades, RQD: 50 – 75%. Asignando un RMR: 45 (Regular). Determinándose por sus familias una rotura en cuña.

Tramo 08					
$\sigma_{ci}$	GSI	$c'$	$\phi'$	$E_m$	Rotura
35 MPa	40	1.144 MPa	22.22°	698.76 MPa	Cuña

**TRAMO 09 - PROGRESIVAS Km 166+585 - Km 166+655**, compuesta por un deposito aluvial, compuesta por Arena: 34.71%; Limo: 57.36%, Arcilla: 7.94%; siendo arena arcillosa (SC), presentando en la curva granulométrica los siguientes coeficientes: Cu: 11.33, Cc: 0.69, representando un suelo heterogéneo, para esto se ha teniendo en cuenta: D10: 0.15, D30: 0.42, D60: 1.70.

TRAMO 09									
Potencia	Litología	SUCS	AASHTO	Ws	Cu	Cc	F.S.(T.T.)	F.S.(T.E.)	F.S.(T.E. + S.)
0.00 - 2.60	Aluvial	SC	A-2-6	1.625	11.33	0.69	0.873	0.824	0.616

**TRAMO 10 - PROGRESIVAS Km 166+655 - Km 166+780**, arenisca ligeramente meteorizada de Grado: II; presentando 4 familias de discontinuidades, RQD: 90 – 100%. Asignando un RMR: 68 (Buena). Determinándose por sus familias una rotura en cuña.

Tramo 10					
$\sigma_{ci}$	GSI	$c'$	$\phi'$	$E_m$	Rotura
90 MPa	63	5.293 MPa	34.73°	2859.67 MPa	Cuña

**TRAMO 11 - PROGRESIVAS Km 167+070 - Km 167+210**, arenisca altamente meteorizado de Grado: IV; presentando 4 familias de discontinuidades, RQD: 25 – 50%. Asignando un RMR: 23 (Mala). Determinándose por sus familias una rotura en cuña.

Tramo 11					
$\sigma_{ci}$	GSI	$c'$	$\phi'$	$E_m$	Rotura
15 MPa	18	0.236 MPa	12.99°	305.41 MPa	Cuña

## CONCLUSIONES

- El comportamiento litomorfoestructural de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán, es compleja por la presencia por la presencia de estructuras fuertemente disturbadas, que originan plegamientos, fallamientos y alto fracturamiento en los macizos rocosos y condiciones inestables en los depósitos cuaternarios.
- Los resultados obtenidos del cálculo geotécnico reportan valores del macizo rocoso y la matriz rocosa, de mayor influencia teniendo una estimación del factor de seguridad y así como: Resistencia a la compresión simple (MPa), Índice Geológico de Resistencia (GSI), Dip y Dip Direction.
- Lo resultados obtenidos del programa Dips reporta un análisis geotécnico con respecto a su Dip y Dip Direction, en rocas tenemos: 2 roturas planares y 3 roturas en cuña, siendo estas el ángulo de fricción un de los parámetros importantes para determinar la zona de riesgo de falla en el talud.
- Los factores de seguridad han sido determinados en condiciones: tensiones totales, tensiones efectivas, tensiones efectivas + sismicidad, para obtener las condiciones geotécnicas de los taludes, como se muestra en el cuadro siguiente:

Nombre	T.T.	T.E.	T.E + SISMICIDAD
Tramo 01	0.759	0.049	0.009
Tramo 02	0.944	0.601	0.381
Tramo 04	0.651	0.649	0.431
Tramo 05	0.827	0.823	0.652
Tramo 06	0.743	0.009	0.011
Tramo 09	0.873	0.824	0.616

- Las zonas críticas se distinguen:

Zona altamente peligrosa, sectorizado en un tramo progresiva Km 162+100 – Km 163+750; caracterizada por presentar: cárcavas, derrumbes, deslizamientos, caída de rocas y agrietamiento.

Zona peligrosa sectorizado en tres tramos tenemos: tramo 01 – progresiva Km 164+150 – Km 165+400, tramo 02 – progresiva Km 165+450 – Km 166+150 y tramo 03 – progresiva Km 167+400 – Km 167+800; caracterizada por presentar: cárcavas, derrumbes, deslizamientos y caída de rocas.

Zona moderadamente peligrosa en tres tramos tenemos: tramo 01 – progresiva Km 166+450 – Km 166+700, tramo 02 – progresiva Km 169+650 – Km 170+400 y tramo 03 – progresiva Km 173+050 – Km 173+500; caracterizada por presentar: deslizamientos escarpe de deslizamiento y reptaciones.

- Los métodos estabilizadores aplicados en suelos y rocas están basados en una análisis completo de las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y ambientales que permitan tener el conocimiento completo del comportamiento del talud, siendo el ingeniero el responsable del diseño e implementación.
- En todas las progresivas de la carretera, no se han encontrado trabajos de estabilización y conservación de taludes.

## RECOMENDACIONES

- La existencia de algunos tramos críticos están en peligro de colapso, como consecuencia del periodo de lluvias, es recomendable que se adopte medidas inmediatas, así como el mantenimiento y limpieza de alcantarillas para evitar de esta manera que se ocasionen peligros.
- Se recomienda la realización de ensayos triaxiales para determinar las propiedades de los macizos rocosos como son:  $\sigma_{ci}$ , GSI,  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$ ,  $\phi'$ ,  $c'$ ,  $E_m$ ; siendo obtenidos del Roclab.
- Se recomienda tener cuidado al momento de la toma de datos en campo y/o laboratorio; así como; al momento de ingresarlos en la aplicación, ya que la fiabilidad de los resultados depende de la precisión de estos.
- Los tramos de mayor peligrosidad, se encuentran entre los tramos 01 - Progresivas Km 162+110 - Km 162+230 y Tramo 02 - Progresivas Km 162+750 - Km 162+860, produciéndose deslizamientos y erosiones progresivas con respecto a los taludes y partes bajas de la carretera formándose cárcavas de grandes dimensiones, para lo cual se recomienda estabilizar a los taludes.

## BIBLIOGRAFÍA

- B. E. HOBBS, W. D. MEANS, P. F. WILLIAMS (1981), Geología Estructural, EDICIONES OMEGA. Barcelona.
- E. HOEK (1997), Confiabilidad de las Estimaciones de Hoek – Brown de las Propiedades del Macizo Rcoso y su Impacto en el Diseño, Chuquicamata – Chile, Pág. 65 – 72.
- E. HOEK, C. CARRANZA – TORRES, B. CORKUM (2008), Criterio de Hoek – Brown – Edición 2002
- E. HOEK & E. T. BROWN (1997), Estimación de la Resistencia de Macizos Rcosos en la Práctica, Chuquicamata – Chile, Pág. 33 – 64.
- ETSECCPB (1998), 3 Criterios de rotura y clasificaciones Geomecánicas, Pág. 17 – 31.
- F. P. MARÍN, P. F. MARTÍN, M. A. PARRA (2004), La Linealización del Criterio de Hoek – Brown en el Análisis de la estabilidad General de Taludes en Roca, Pág. 37 – 44.
- GAVILANES et al (2004), Introducción a la Ingeniería de Túneles, Edit. AIME, Quito – Ecuador.
- GONZALES DE VALLEJO. L. (2002), Ingeniería Geológica. PEARSON. Madrid.
- L.U. DE SITTER (1976), Geología Estructural, EDICIONES OMEGA. Barcelona.
- LARA M. & SEPULVEDA S. (2008), Remoción de masas. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- P. W. WICKE (1989), Mecánica de suelos I y II. Laboratorio de mecánica de suelos.
- PMA: GCA. (2007), “Movimientos en masas en la región andina: Guía para la evaluación de amenazas”. Edición N° 04.
- REYES. (1980), “Boletín N°31 Geología de los cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16g)”.

- SAMPIERI, A. (2010), Metodología de la Investigación Científica. Diseños con hipótesis explicativas. UDEGRAF SA. Lima, Perú.
- ZAVALA B. & ROSADO M. (2010), Riesgos Geológicos en la Región de Cajamarca INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396p., 19 mapas Lima, Perú.

## ANEXOS