

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



**EVALUACIÓN Y CONTROL DE DESLIZAMIENTO DE TALUDES ENTRE EL  
KM 59 AL KM 63 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CIUDAD DE DIOS,  
2019.**

**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**JHONY WILLIAM HUAMAN GRANDEZ**

**ASESOR:**

**ING. MARCO WILDER HOYOS SAUCEDO**

**Cajamarca – Perú 2022**

COPYRIGHT © 2022 by  
JHONY WILLIAM HUAMAN GRANDEZ  
Todos los derechos reservados

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios por guiar mis pasos enseguida a mis padres quienes con su esfuerzo y dedicación contribuyeron a mi educación haciendo hoy de mi un buen profesional.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi esposa e hijos quienes fueron mi mayor fuente de motivación e impulso para poder culminarla.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.    Introducción.....	1
1.2.    Planteamiento del problema .....	2
1.3.    Formulación del problema .....	3
1.4.    Problemas específicos.....	3
1.5.    Justificación de la investigación .....	3
1.6.    Alcances o delimitaciones de la investigación.....	3
1.7.    Objetivos .....	4
1.8.    Limitaciones.....	4
1.9.    Hipótesis.....	4
Hipótesis general .....	4
Hipótesis específicas .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.    Antecedentes Teóricos .....	6

2.1.1.	Antecedentes Internacionales .....	6
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	8
2.1.3.	Antecedentes Locales .....	10
2.2.	Bases Teóricas.....	14
2.2.1.	Teoría de deslizamientos.....	14
2.2.2.	Clasificaciones geomecánicas.....	24
2.2.3.	Definición de términos .....	32
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....		33
3.1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	33
3.2.	Vías de acceso .....	34
3.3.	Materiales y equipos.....	34
3.4.	Tipo, nivel, diseño y método de investigación .....	35
3.5.	Población de estudio .....	35
3.6.	Muestra .....	35
3.7.	Unidad de análisis .....	36
3.8.	Procedimiento.....	36
3.9.	Técnicas e instrumentos de la recolección de las muestras.....	36
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		37
4.1.	Presentación de los resultados .....	37
4.2.	Fase de análisis y discusión .....	37
4.3.	Diseño de talud en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.....	77
4.4.	Métodos de estabilización para la propuesta .....	84

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	92
5.1. Conclusiones .....	92
5.2. Recomendaciones .....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de seguridad de taludes.....	16
Tabla 2. Distancia, tiempo y tipo de vía de llegada a la zona de estudio.....	34
Tabla 3. Equipos y materiales utilizados. ....	34
Tabla 4. Coordenadas de los puntos de infiltración.....	55
Tabla 5. Datos de infiltración.....	58
Tabla 6. Presencia de agua. ....	59
Tabla 7. Determinación del RQD. ....	61
Tabla 8. Espaciado entre discontinuidades estación 1.....	61
Tabla 9. Espaciado entre discontinuidades estación 2.....	63
Tabla 10. Espaciado entre discontinuidades estación 3.....	64
Tabla 11. Descripción del espaciado. ....	65
Tabla 12. Persistencia de las discontinuidades.....	66
Tabla 13. Descripción de persistencia. ....	67
Tabla 14. Apertura de fracturas. ....	67
Tabla 15. Abertura de las discontinuidades. ....	68
Tabla 16. Clasificación de la rugosidad.....	69
Tabla 17. Relleno de las discontinuidades. ....	69
Tabla 18. Meteorización de las discontinuidades.....	70
Tabla 19. Cálculo del RMR para el macizo rocoso.....	72
Tabla 20. Clasificación RMR para el macizo rocoso. ....	74
Tabla 21. Dirección de las juntas y buzamiento.....	77
Tabla 22. Dirección de las juntas y buzamiento.....	78
Tabla 23. Dirección de las juntas y buzamiento.....	79
Tabla 24. Dirección de las juntas y buzamiento.....	80
Tabla 25. Factor de seguridad por orientación de las juntas .....	82
Tabla 26. Clases de estabilidad .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento. ....	17
Figura 2. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo con IAEG.....	20
Figura 3. Ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ). .....	21
Figura 4. Efecto del volumen del deslizamiento en la longitud de recorrido. ....	22
Figura 5. El mecanismo de falla es la explicación técnica de la forma como un talud estable se convierte en inestable, por la acción del deterioro y los agentes activadores. ....	23
Figura 6. Diferencias de valores entre $RMR_{76}$ Y $RMR_{89}$ .....	25
Figura 7. Se muestra los valores que se le asignan a cada parámetro, para el cálculo del $RMR_{89}$ . ....	26
Figura 8. Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca. ....	28
Figura 9. Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas.....	29
Figura 10. Valores del SMR.....	31
Figura 11. Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios .....	33
Figura 12. Zona por deslizar. ....	39
Figura 13. Zona de fase de rotura.....	40
Figura 14. Roca considerada como derrubio. ....	41
Figura 15. Zona de desprendimiento. ....	43
Figura 16. Zona de deslizamiento por derrubios. ....	45
Figura 17. Fallamiento planar. ....	46
Figura 18. Descripción de fallamiento planar. ....	47
Figura 19. Discontinuidades a favor del talud. ....	49
Figura 20. Rotura por cuña. ....	50
Figura 21. Fallamiento en cuña.....	52
Figura 22. Rotura por vuelco.....	53

Figura 23. Discontinuidades globales. ....	54
Figura 24. Agujero de prueba .....	56
Figura 25. Colocación de probeta .....	57
Figura 26. Presencia de lluvias .....	58
Figura 27. Conteo de discontinuidades .....	60
Figura 28. Datos ingresados .....	74
Figura 29. Análisis de falla en estación 1 .....	75
Figura 30. Análisis de falla en estación 2 .....	75
Figura 31. Análisis estático .....	76
Figura 32. Datos del análisis de diaclasas software Dips V6 .....	78
Figura 33. Datos del análisis de diaclasas software Dips V6 .....	79
Figura 34. Datos del análisis de diaclasas software Dips V6 .....	80
Figura 35. Datos del análisis de diaclasas software Dips V6 .....	81
Figura 36. Diseño de talud propuesto .....	86
Figura 37. Factor de seguridad de la carretera en donde presenta roca caliza. ....	89
Figura 38. Análisis del factor de seguridad de los depósitos .....	90
Figura 39. Diseño de bancos. ....	91

## RESUMEN

Esta investigación estuvo dirigida a, evaluar y controlar los deslizamientos de los taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, 2019. Para ello se determinó el factor de seguridad de las diferentes estaciones de trabajo planificadas, en función de estos parámetros se plantearon métodos de estabilidad, como por ejemplo el rediseño de los taludes, así como también la construcción de banquetas en los taludes, en la zona de estudio, además para dicho análisis se utilizó el software Dips V6, para el análisis de fracturas y el software Slide V2, para determinar el factor de seguridad de los taludes. La investigación fue descriptiva; es descriptiva porque describió cómo es la realidad (características litológicas, estructuras, etc). También por qué y cómo se relacionan las características litológicas, estructurales, presencia de agua y en la explicación se da a conocer las razones, las causas de ¿por qué se da esta relación? Las muestras fueron los taludes en el tramo del km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios. En la zona de estudio se producen pequeñas deformaciones, a menudo imperceptibles. Las fases de rotura se evidencian por grandes fallas en conjunto provocando socavamiento en contra del talud, presentando intenso fracturamiento comportándose en algunas partes como derrubio. Dentro de las propiedades de los suelos se inició con el análisis de filtración de agua, se realizó tres puntos de muestreo, cada 30 metros en la zona de estudio, los agujeros de prueba tuvieron 15 centímetros de diámetro, con una profundidad mínima de 10 centímetros, la tasa de infiltración es de 10 min/cm.

**Palabras clave:** Talud, Deslizamiento, Factor de seguridad, RMR, índice de la calidad de la roca RQD, SMR.

## ABSTRACT

This research was aimed at evaluating and controlling the landslides of the slopes in the section km 59 to km 63 of the Cajamarca - Ciudad de Dios highway, 2019. For this, the safety factor of the different planned workstations was determined, in Based on these parameters, stability methods were proposed, such as the redesign of the slopes, as well as the construction of sidewalks on the slopes, in the study area, in addition to said analysis, the Dips V6 software was used for the analysis of fractures and the Slide V2 software, to determine the safety factor of the slopes. The research was descriptive; it is descriptive because it described what reality is like (lithological characteristics, structures, etc). Also, why and how are the lithological and structural characteristics related, and the presence of water, and in the explanation the reasons are disclosed, the causes of why this relationship occurs? The samples were the slopes in the section from km 59 to km 63 of the Cajamarca - Ciudad de Dios highway. Small, often imperceptible, deformations occur in the study area. The breaking phases are evidenced by large faults as a whole causing undermining against the slope, presenting intense fracturing behaving in some parts as debris. Within the properties of the soils, the analysis of water filtration began, three sampling points were carried out, every 30 meters in the study area, the test holes were 15 centimeters in diameter, with a minimum depth of 10 centimeters, the infiltration rate is 10 min/cm.

**Keywords:** Slope, Landslide, Safety factor, RMR, rock quality index RQD, SMR.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Introducción**

El hombre en la prehistoria es el que vivió a la intemperie durante millones de años, valiéndose dentro de una naturaleza brutal, en la cual buscaba refugio en esos tiempos el refugio fue en cuevas, mientras vislumbraba otras formas o nuevas para refugiarse, al mismo tiempo que recolectaba sus alimentos y también hacía parte de su uso diario la utilización del fuego, y luego más adelante la construcción de sus primeros utensilios, también debería lidiar con la topografía, la geología y el fenómeno sísmico que en ese entonces había en todo el planeta, luego ha estado muy relacionada con la utilización y modificación de las zonas de la geografía en donde habitaba. Más adelante ya con el pasar del tiempo realizó el emplazamiento de habitaciones construyendo estructuras como por ejemplo para los diferentes proyectos productivos y al mismo tiempo también para proyectos militares o de defensa, y para ello siempre se ha necesitado realizar diversos y específicos movimientos de suelos y rocas, como también para los caminos, los canales, los acueductos, para la construcción de viviendas multifamiliares o edificios, para defenderse de la naturaleza, también contra los enemigos, teniendo en cuenta la soberanía de una nación o pueblo; ya en la era más moderna para la exploración y explotación de yacimientos mineros o metalúrgicos, para las grandes extensiones de campos agrícolas o forestales. Todo ello no es ajeno al estudio que se realizó en esta investigación, ya que fue importante realizar este análisis y de esa manera determinar los aspectos que se deben tener en cuenta.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Los deslizamientos son uno de los procesos más destructivos que afectan a las carreteras ocasionando pérdidas económicas y a veces daños a las propiedades aledañas. Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos y afecta las carreteras.

Un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anticipación y se implementa las medidas preventivas. En el tramo de los km 59 y 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, se encontró vulnerable, por lo tanto, la investigación se torna riesgosa, existen diferentes zonas donde se producen deslizamientos de taludes y se intensifican en tiempo de lluvia, en cualquier terreno que no sea horizontal, la fuerza de gravedad, filtración, presión del agua en las diaclasas, etc.; el talud se hace inestable. Para ello el uso de los suelos y las rocas se ha usado como materiales de construcción y han estado presentes desde el desarrollo de las urbes más conocidas en el mundo, pero para ello el hombre debió primero identificar las diferentes características, las bondades y también los defectos de los distintos tipos de los suelos. La carretera en esta investigación es una de las más transitadas en el norte del país, por lo que realizar en este tramo la investigación es importante para conocer el comportamiento de los suelos y mediante ello prever contextos futuros que se pudieran suscitar más adelante, aplicar remedios para poder controlar las situaciones futuras que se desarrollen.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuáles son las causas que originan los deslizamientos de taludes y cómo controlarlos en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, 2019?

### **1.4. Problemas específicos**

- ¿Cómo identificar las causas que originan el deslizamiento de los taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019?
- ¿Cuáles son las medidas de control para deslizamiento de taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019?
- ¿Cuál sería el modelo de talud en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019?

### **1.5. Justificación de la investigación**

El tramo que se estudió, sobre todo en épocas de lluvia es muy propenso a sufrir una serie de roturas en taludes de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios en sus kilómetros 59 al 63. Estas ocurrencias, por lo general, perjudican considerablemente el tránsito de vehículos, en el aspecto de la seguridad y en lo económico, considerando que no se cuenta con información de ningún trabajo detallado en la zona de estudio, para analizar la estabilidad de taludes; por lo cual se justifica que haya realizado este estudio con la finalidad de estabilizar taludes y que puedan ayudar a la solución de los problemas de deslizamientos.

### **1.6. Alcances o delimitaciones de la investigación**

Es una investigación que generalmente busca dar a conocer la importancia de conocer la capacidad de deslizamiento de los suelos en el sector donde se realizó el estudio, para las construcciones, o el desarrollo de proyectos, que son de vital importancia en la fase de diseño, esto conlleva a que también exista una reducción significativa de costos.

Será una investigación básicamente dirigida a estudiantes y profesionales de la ingeniería y arquitectura, donde también los organismos públicos y privados están interrelacionados al momento de realizar una construcción inmobiliaria o construcciones familiares ya sea dentro o fuera de la urbe.

## **1.7. Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar las causas que originan los deslizamientos de taludes y medidas de control en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, 2019.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Identificar las causas que originan el deslizamiento de los taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019.
- ✓ Determinar las medidas de control para deslizamiento de taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019.
- ✓ Proponer un modelo de talud en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019.

## **1.8. Limitaciones**

Fue el poder encontrar el transporte adecuado para la movilización de los equipos de medición hasta el tramo señalado en la investigación, sin embargo, se priorizó utilizando transporte con contrato de dos semanas de anticipación.

## **1.9. Hipótesis**

### **Hipótesis general**

Existe relación entre las causas que originan los deslizamientos de taludes y las medidas de control en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, 2019.

### **Hipótesis específicas**

- Las causas son múltiples las que originan el deslizamiento de los taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019.
- Las medidas de control son múltiples para deslizamiento de taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019.
- El modelo de talud es óptimo en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, 2019?

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes Teóricos

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**Gonzáles, (2019) en su investigación Cálculo simplificado de capacidad portante de cimientos superficiales en ladera, de la Escuela Colombiana de Ingeniería.**

En esta investigación el autor menciona que la capacidad portante de los suelos en los últimos años se ha solucionado con la teoría de la plasticidad, suponiendo siempre el terreno de apoyo horizontal y también la extensión lateral infinita, pues la teoría de la plasticidad no incluye el peso propio de la masa del suelo que falla y esto al involucrarlo con el factor  $N_g$ , pues se apela a valores que muchas veces son semiempíricos u otros que son experimentales, y para ello existe una gran variedad de soluciones, las cuales esos valores son muy dispares en sus extremos. De acuerdo a ello en la investigación se consideran algunas ventajas que puede existir un método analítico que ha sido validado por varios autores, no hay necesidad de usar factores de corrección por la pendiente del terreno, no existe necesidad de usar gráficos, ya que se puede programar o usar una hoja de cálculo, aunque muchas veces es una estimación, pero permite estimaciones que son acertadas.

**Barreto, Valencia, & Echeverri, (2017) en su investigación, Evaluación comparativa de la capacidad de Carga en cimentaciones profundas, fórmulas analíticas y ensayos de carga, de la revista ciencias de la tierra, de la Universidad Nacional de Colombia.**

En esta investigación los autores mencionan que es importante por ejemplo calcular y comprender con precisión la capacidad de carga para las

cimentaciones que se van profundas ya que ellas son de uso común, cuando las cargas sean elevadas, y para ello los suelos superficiales no tienen la capacidad de soporte, al final esto también genera mucha incertidumbre en la relación a la metodología que sea la más apropiada, también al momento de hacer los cálculos la precisión, y también la manera de optimizar los diseños, pues para ello no siempre o existe escasos estudios en donde se detallan las complejas condiciones geotécnicas de un sector de suelo, pues ello nos lleva a pensar que es importante los estudios para observar la capacidad de carga que tiene un terreno, los autores mencionan que es necesario ajustar los métodos de cálculo de capacidad de carga para condiciones particulares de la existencia de los suelos de la geografía que hay en Colombia y eso debe venir de acuerdo con el método constructivo, al hacer el análisis del comportamiento de carga se determinó que las diferencias en los mecanismos de falla entre pilotes cuya capacidad de carga muchas veces depende solo de la fricción lateral y también los aportes por punta y fricción, esto nos hace ver que los mecanismos de seguridad son diferentes, dependiendo mucho del mecanismo de trabajo.

**Albarracín, Gómez, Alarcón, & Zandoval, (2009) Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Con El Proyecto: “Zonificación Geotécnica De La Zona Centro Del Área Urbana Del Municipio De Sangamosa Por Medio De Un Sig. – Bogotá – Colombia”.**

Concluyen en esta investigación que las exploraciones en donde se conforman toda la base de datos de la geotecnia este no supera los 10 metros de profundidad, para ello no se logra cubrir un porcentaje importante de toda el área de la ciudad, esto fue uno de los más importantes insumos para la definición de la zonificación geotécnica de manera superficial, este es el motivo por el cual se ha realizado como único un modelo de zonificación en el área central del municipio. Pero finalmente con el fin de que la caracterización sea la

mejor en la dinámica del subsuelo, es de vital importancia y necesario que se haga la realización de sondeos geotectónicos y también de ensayos en el lugar de origen de algunas zonas de la ciudad en donde se enmarca este estudio.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Toro, (2014). Presentó su tesis titulada “Evaluación de la inestabilidad de taludes en la carretera las Pirias - Cruce Lambayeque, San Ignacio”, a la Universidad Nacional de Cajamarca.**

De acuerdo al criterio que se tiene en la falla de taludes generalmente esto está basado en la ley de Mohr – Coulumb, y para ello al mismo tiempo en el método conocido como de fricción, no es otra cosa esto que se menciona que cuando el esfuerzo cortante y al mismo tiempo actuante llega a un nivel máximo que puede ser igual a su resistencia, entonces debido a ello esta masa que es del suelo tiende a deslizarse a través del plano de la falla que este a su vez forma un ángulo con la dirección que permite el esfuerzo, y a este ángulo se le conoce como el de fricción, Esta fricción se da porque existe un contacto entre las partículas, para ello más adelante también se dan algunas orientaciones a manera de cómo se puede identificar las diferentes inestabilidades según sea el caso del material y de acuerdo a ello también la forma en la que se configura, y de acuerdo a ello también se puede determinar todos sus parámetros respectivos, luego de ello para el resultado y el respectivo análisis también se denota que generalmente en gran cantidad de taludes éstos no se cumplen con la inclinación que es la adecuada de acuerdo al tipo de suelo, entonces debido a ello se recomienda que se tomen algunas soluciones que sean las más óptimas y adecuadas.

**Muñoz, 2019. “Evaluación de soluciones de estabilidad para deslizamientos en tres tramos críticos de la carretera Ilabaya – Cambaya – camilaca, distrito de ilabaya – Jorge Basadre - Tacna” Tesis de grado (UPCA).**

Este estudio se realizó mediante 3 tramos, que fueron llamados tramos críticos que se ubicaron en los kilómetros 6, en el kilómetro 13 y finalmente en el kilómetro 17 a lo largo de la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca, todo esto en la primera etapa de todo este tramo, que haciendo las mediciones tiene una longitud de 32 km y se encuentra en la región de Tacna, en el distrito de Ilabaya, en la provincia de Jorge Basadre, En el análisis se empleó para la estabilidad algunos datos geotécnicos, y de acuerdo a ello también analizar los 3 tramos críticos de la longitud de esta carretera, que se tomó desde el expediente técnico de la empresa súper concreto del Perú sociedad anónima, esta empresa fue la encargada de ejecutar el proyecto, luego de ello se pudo comprobar de acuerdo a las visitas que se realizó a campo, luego de ello el cálculo para la estabilidad se realizó siguiendo el análisis del talud en el estado actual en el que se encontraba, es decir el talud con el llamado corte de banquetas, y también el talud con los muros de concreto de acuerdo al programa Slide 6.0.

**Germán & Pérez, (2019) en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Correlación de los valores en los ensayos SPT, DPL y corte directo del suelo en el asentamiento humano Virgen del Carmen-Lagunas-Mocupe, de la Universidad Señor de Sipán, Lambayeque.**

Los autores en esta investigación se centran en la problemática de las construcciones sin hacer un previo estudio de los suelos en donde se pretenden realizar las construcciones, que más adelante con el pasar de los años se ven reflejados los daños en las estructuras de la construcción, la investigación tuvo como objetivo realizar un estudio de la mecánica de suelos,

y de esa manera determinar las características físicas y también las características mecánicas de la zona en donde se realiza el estudio, de tal manera que se correlacionen los valores DPL con los valores SPT, para poder correlacionar la capacidad portante en los ensayos DPL y también del corte directo, en la investigación llegando a las siguientes conclusiones: Se determinó las características físicas y mecánicas del suelo del Asentamiento Humano Virgen del Carmen; las muestras alteradas e inalteradas presentaron un color marrón oscuro, marrón claro; con un índice que plasticidad que varía entre 1.67% y 35.56%; con contenido de humedad que está entre 9.02% y 27.54% y una capacidad portante que varía de 0.41 kg/cm<sup>2</sup> a 0.87 kg/cm<sup>2</sup>, Con las correlaciones del número de golpes entre los ensayos SPT y DPL, se deduce que para las 12 correlaciones que se establecieron, estas se ajustan al diagrama de dispersión lineal generadas por cada uno de los ensayos; siendo la más representativa la del Punto 2 (Tabla 53) con una ecuación:  $y=0.8122x-0.7164$ ; y con un coeficiente de Determinación  $R^2=0.9993$  cercano a 1.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

**Breña, 2019. “Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, Cajamarca-Perú” Tesis de grado (UNMSM)**, realizó el estudio de estabilidad de taludes, para determinar los factores que influyen en la interacción roca-suelo en los taludes de la, carretera Longitudinal de la sierra tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, El procesamiento de datos se hizo en tiempo real, información o datos que se acopio para determinar los parámetros geotécnicos insitu como: Factor de seguridad estático, factor de seguridad pseudoestáticos, cálculos de carga admisible, carga única e hidrogeología. Las obras de arte se hicieron para canalizar las aguas y evitar que se filtren y proporciona los factores de

corrección en diferentes ambientes para conseguir la estabilidad de los taludes.

**Huamán, (2017). Presentó su tesis titulada “Geotecnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba - Cungunday, Cajamarca, Cajabamba”, a la Universidad Nacional de Cajamarca.**

Los principales parámetros geomecánicos identificados en el tramo de la carretera Huañimba – Cungunday, fueron el factor de seguridad, así como también la litología que está caracterizada en su mayoría por la Formación Condebamba y la Formación Cajabamba; influenciando en la inestabilidad de los taludes. Se determinó el factor de seguridad en cada uno de los taludes, clasificando de esta manera en 3 grupos a las zonas críticas en función a su factor de seguridad obtenido; teniendo, así como zonas altamente inestables a las estaciones N°05 y N° 10, zonas medianamente inestables a las estaciones N° 01, N° 02, N° 03, N° 04, N° 06 y como zonas moderadamente inestables a las estaciones N° 07, N° 08, N° 09.

**Cotrina Velásquez, (2017) en su investigación para obtener el título profesional de ingeniero civil, Zonificación geotécnica de los suelos de fundación mediante el ensayo de corte directo y DPL en la urbanización Los Girasoles, Jaén 2016, de la Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.**

En esta investigación el autor se plantea como objetivo determinar la zonificación geotécnica de los suelos de fundación mediante el ensayo de corte directo y DPL en la urbanización Los Girasoles, Jaén 2016, la metodología de la investigación fue de corte transversal, descriptivo y explicativo, clasificándose los resultados en tres zonas, Los Girasoles es una zona de las más críticas para la ubicación de viviendas, es por ello que esta investigación buscó desarrollarla en la zona, teniendo en cuenta las

características geotécnicas, que tiene un relieve accidentado, que se constituye de manera básica por los contrafuertes de la cordillera occidental y oriental de los andes y también de los valles que descienden de estos contrafuertes que van a la hoja amazónica, la investigación arrojó como conclusiones lo siguiente: está conformado básicamente por tres zonas : Zona I ,caracterizándose por el nivel freático a 1.5 m de profundidad , con una capacidad portante de 0.95-1.65 kg/cm<sup>2</sup> ; Zona II ,caracterizándose por el nivel freático entre 1.50 - 2.50 m de profundidad, con una capacidad portante de 1.65-1.80 kg/cm<sup>2</sup> ; Zona III caracterizándose por ser parte alta de la zona no registrando nivel freático y con suelos de fundación, muy bueno para la construcción , con presencia de suelo arcilloso, limoso (62%), apreciable cantidad de arena (19%) y grava (19%), con capacidad portante entre 1.85-1.95 kg/cm<sup>2</sup>. Según los resultados obtenidos , se concluye que la presencia de sulfatos, cloruros y sales solubles totales es muy baja, por lo que no ocasiona problemas de durabilidad al concreto para cimientos , expuesto al suelo ,también se aprecia en las muestras analizadas el 51 % son arcillas y limos como CL-ML, ML, de baja plasticidad, el 28 % son arenas clasificadas como SM, SM-SC, de baja plasticidad a no plásticas, el 18 % son gravas como GM-GC, GP de consistencia rígida, 3% contienen materia orgánica .

**Díaz y Rodríguez, (2018). Presentó su tesis titulada “Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca”, a la Universidad Privada del Norte.** Se realizó en base a siete estaciones geomecánicas de la zona, en donde se calculó la cohesión y ángulo de fricción interno de la roca mediante el criterio de rotura de Barton - Bandis, se analizó la cinemática de los taludes, a ello se sumó el cálculo de la densidad de las unidades litológicas aflorantes y finalmente los datos obtenidos se ingresaron a los softwares especializados (Rocscience) para

obtener el valor del Factor de Seguridad (FS) para cada estación geomecánica estudiada. En campo observó fallas de tipo planar, y una característica más resaltante de este tipo de falla es que se produce por la presencia de juntas predominantes que buzcan hacia el talud y cuyo rumbo es bastante paralelo a la cara del talud, con algún control estructural. A la par se distinguieron 2 discontinuidades (una predominante y otra aleatoria), es por ello que se optó por el criterio de rotura de Barton - Bandis para el cálculo de la cohesión y ángulo de fricción interno de la roca.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Teoría de deslizamientos

#### a) Factor de seguridad

La remediación de un deslizamiento o de un talud inestable, generalmente no es una estabilización total y definitiva, sino relativa y en ciertas condiciones, provisional. Ante esta realidad, es importante determinar hasta donde se debe llegar en el proceso de remediación. Cornforth (2005).

Explica que los factores de seguridad razonables y la magnitud de la estabilización deben determinarse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- **Tamaño del deslizamiento:** Teniendo en cuenta que es mucho más difícil modelar en forma precisa un deslizamiento pequeño que uno de gran magnitud, el factor de seguridad para remediación de un deslizamiento pequeño debe ser superior al de un deslizamiento de gran tamaño. Igualmente, el costo para subir el factor de seguridad en un deslizamiento grande puede ser muy alto, lo cual, en ocasiones, conduce a conclusiones incorrectas acerca de que los deslizamientos. Schuster y Kockelman (1996).
- **Grandes no se pueden estabilizar:** Lo que ocurre es que, en un deslizamiento grande, es más difícil subir el factor de seguridad y cualquier aumento en el factor de seguridad tiene un efecto importante en la estabilidad. Schuster y Kockelman (1996).
- **El tipo de movimiento:** En los movimientos masivos de masas rígidas, las técnicas de estabilización son más efectivas que en los movimientos blandos tipo flujo de lodos, etc. En los movimientos de suelos rígidos se pueden considerar factores de seguridad menores que en movimientos de flujo. Schuster y Kockelman (1996).

- **La magnitud de los estudios realizados:** Si la información recolectada en los estudios es muy completa y confiable, se pueden permitir factores de seguridad menores que en los casos en los cuales la información es escasa y la incertidumbre es mayor. Schuster y Kockelman (1996).
- **El potencial de consecuencias:** En los casos en los cuales las consecuencias del deslizamiento involucran un riesgo grande de vidas humanas o propiedades, se requieren factores de seguridad mayores, por ejemplo, si está involucrado un hospital o una escuela, los factores de seguridad deben ser mayores que en el caso de un campo deportivo. Schuster y Kockelman (1996).
- **La experiencia del profesional con los suelos del sitio:** Cuando se tiene experiencia previa confiable del comportamiento real de los suelos, se pueden permitir factores de seguridad menores que cuando se desconoce el comportamiento real de los materiales. Schuster y Kockelman (1996).
- **Posibilidad de ocurrencia de eventos extremos:** Si en el análisis no se tuvieron en cuenta los eventos extremos, se deben incluir factores de seguridad mayores ante la ocurrencia de estos fenómenos. Schuster y Kockelman (1996).

Como se explicó en los párrafos anteriores, la escogencia del factor de seguridad debe ser el resultado del buen juicio del ingeniero, quien debe tomar una decisión, con base en el análisis de la totalidad de los factores involucrados. Para cierto tipo de obras, los códigos pueden especificar un valor mínimo exigido para el factor de seguridad. Por ejemplo, para las estructuras de contención, la AASHTO (2001) exige los siguientes factores de seguridad de estabilidad de taludes:

**Tabla 1**

*Factores de seguridad de taludes*

FS $\geq$ 1.3 para cargas estáticas
FS $\geq$ 1.1 para carga sísmica con $K_h$ de 0.5 A

Fuente: AASHTO (2001).

En algunas ciudades, los códigos geotécnicos especifican factores de seguridad mínimos, los cuales se deben cumplir por ley. Estos factores, generalmente, varían desde 1.15 a 1.5 y es común especificar factores de seguridad de 1.3 para las cargas estáticas.

**b) Deslizamiento**

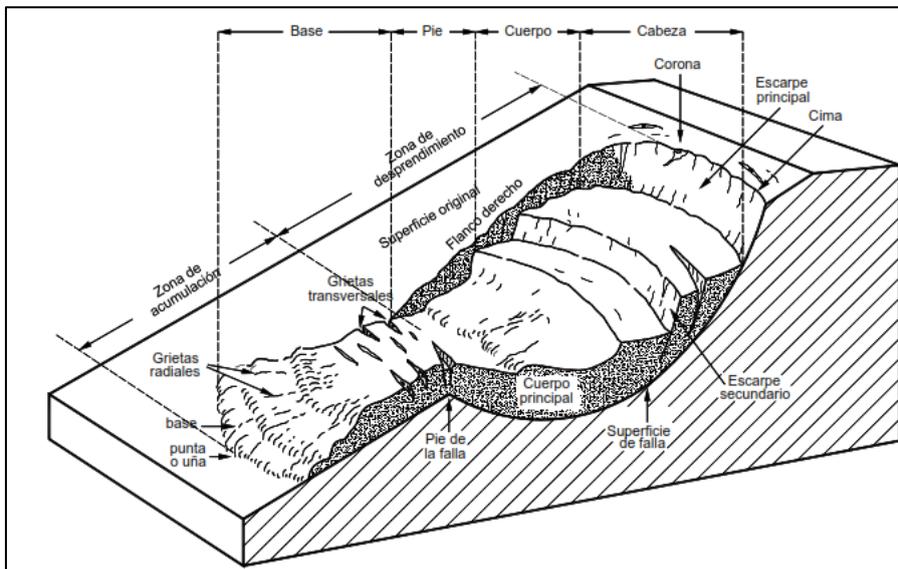
Los deslizamientos (“Landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud”. En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales. La naturaleza precisa del proceso no está incluida en la definición e incluye procesos que son producto de la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas, etc. (Cruden, 1991).

**c) Partes de un deslizamiento**

En la figura se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa. Las partes principales son las siguientes:

## Figura 1

*Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.*



Fuente: Cruden, (1991).

- ✓ **Cabeza:** Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. (Cruden, 1991).
- ✓ **Cima:** Uno de los puntos más altos es la llamada cabeza, no es otra cosa que el contacto entre el material que tiene por nombre perturbado y también lo otro que es el escarpe principal. (Cruden, 1991).
- ✓ **Corona:** todo este material es él quien lo podemos encontrar en el mismo lugar y que no presenta signos de haber sido alterado, normalmente para el escarpe principal es en la parte alta, se podría decir encima de la cabeza. (Cruden, 1991).
- ✓ **Escarpe principal:** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla. (Cruden, 1991).

- ✓ **Escarpe secundario:** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios. (Cruden, 1991).
- ✓ **Superficie de falla:** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desliza. En algunos movimientos no hay superficie de falla. (Cruden, 1991).
- ✓ **Pie de la superficie de falla:** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno. (Cruden, 1991).
- ✓ **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- ✓ **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima. (Cruden, 1991).
- ✓ **Cuerpo principal del deslizamiento:** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento. (Cruden, 1991).
- ✓ **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento. (Cruden, 1991).
- ✓ **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo. (Cruden, 1991).

#### d) Volumen de un deslizamiento

El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla.

El volumen aproximado de un desplazamiento de rotación puede calcularse utilizando la expresión:

$$Vol(des) = \left( \frac{1}{6} \pi D_r X W_r X L_r \right) F_{ex}$$

Donde:

Dr: Profundidad de la superficie de falla.

Wr: Ancho de la superficie de falla.

Lr: Longitud de la superficie de falla.

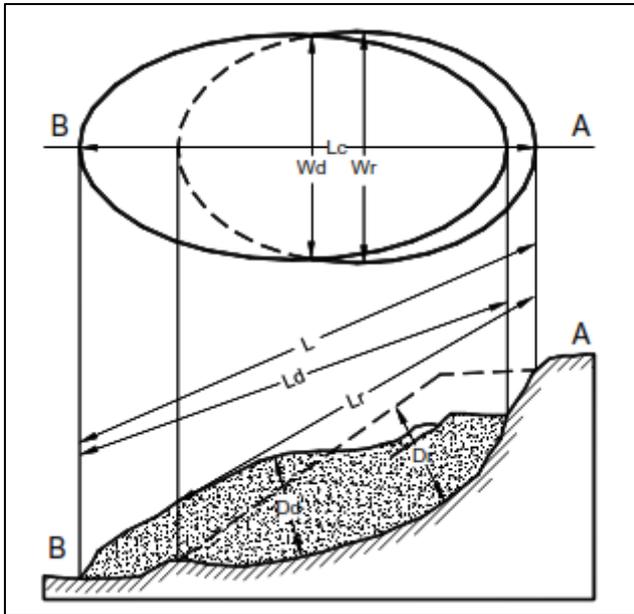
Fex: Factor de expansión del suelo.

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

El volumen del deslizamiento es importante para determinar la amenaza y el riesgo en los flujos y avalanchas. De acuerdo con el volumen y la concentración de sedimentos se puede determinar la velocidad del flujo. (Landslides, 1990).

## Figura 2

Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo con IAEG.



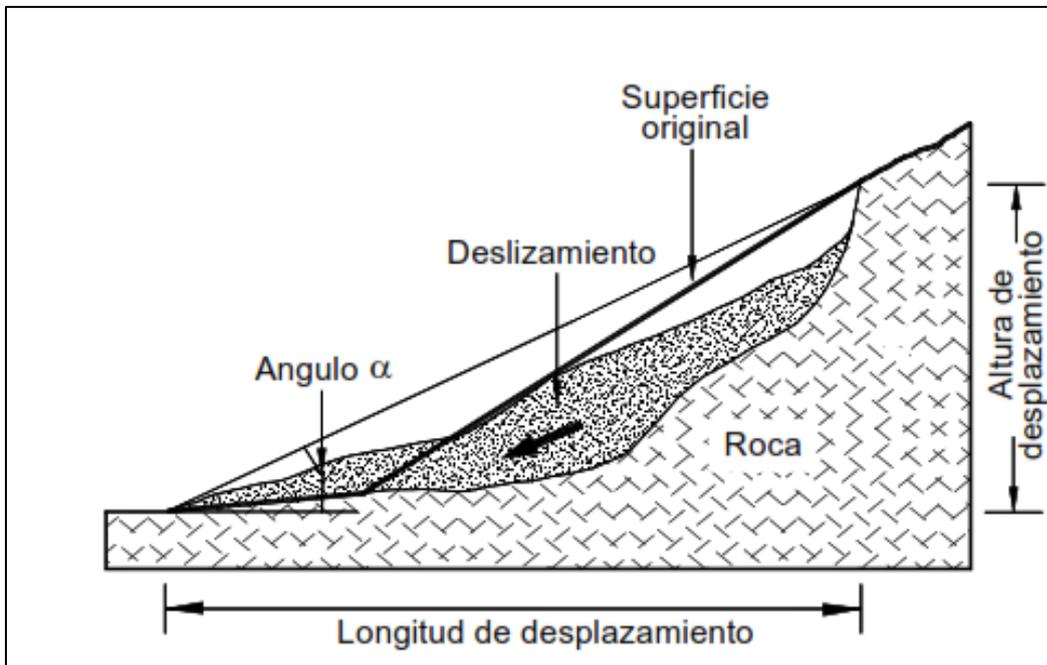
Fuente: IAEG, (1990).

### e) Ángulo de desplazamiento

El ángulo de desplazamiento  $\alpha$  determina el volumen de material de un flujo y su velocidad (Figura). A menor  $\alpha$ , el volumen total puede ser mayor, pero la velocidad del movimiento tiende a ser menor. Sin embargo, la velocidad también depende de la pendiente de la zona de desprendimiento y la longitud del recorrido. (Hunter y Fell, 2003).

**Figura 3**

*Ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ).*



Fuente: Hunter y Fell, (2003).

**f) Ángulo y longitud de recorrido**

En los movimientos de flujo, especialmente en los flujos rápidos, el ángulo y la longitud de recorrido, pueden determinar la magnitud del riesgo. El ángulo de desplazamiento inicial determina las condiciones al inicio del movimiento y el ángulo de recorrido afecta el proceso del flujo hasta que se detiene o alcanza su longitud total de recorrido. (Hunter y Fell 2003).

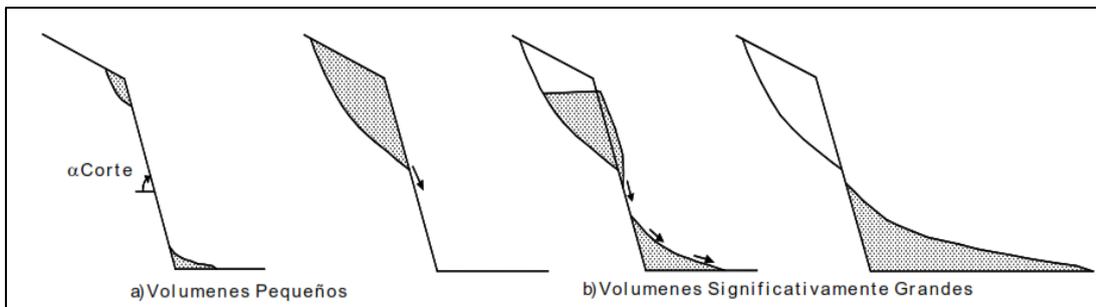
Esta longitud depende del ángulo de inclinación y geometría del talud, del tipo de material, del contenido de agua, del volumen del deslizamiento y del confinamiento del canal de flujo, entre otros factores. Por ejemplo, a mayor volumen del deslizamiento, mayor es la longitud de recorrido. (Hunter y Fell 2003).

Hunter y Fell (2003), indican algunas de las condiciones que influyen en la longitud de recorrido

- La distancia de recorrido es significativamente mayor, cuando el canal de flujo es confinado.
- Los deslizamientos de menor volumen (menos de 500 m<sup>3</sup>), con canales de flujo no confinados, depositan los materiales a lo largo de la totalidad del recorrido independientemente del ángulo de desplazamiento. Si el ángulo de inclinación del canal de flujo es menor de 15°, la longitud de recorrido es relativamente corta.

**Figura 4**

*Efecto del volumen del deslizamiento en la longitud de recorrido.*



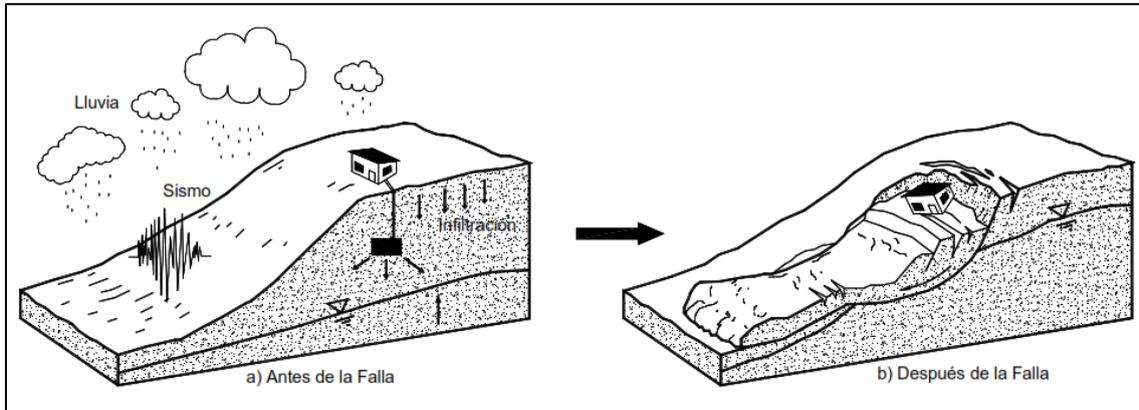
Fuente: Hunter y Fell, (2003).

#### **g) Mecanismo de falla**

La mayoría de los taludes son aparentemente estables y estáticos, pero realmente son sistemas dinámicos en evolución. Un talud estable puede desestabilizarse con el tiempo y la ocurrencia de un deslizamiento es un fenómeno propio de ese proceso. Por lo tanto, se requiere conocer detalladamente lo que ocurre dentro de un talud para poder diagnosticar correctamente su comportamiento. Este diagnóstico es un aspecto fundamental en la ciencia de la estabilidad de los taludes. Si el diagnóstico es equivocado, las medidas remediales y/o los procedimientos de estabilización fracasarían. (Aristizabal, 2006).

## Figura 5

*El mecanismo de falla es la explicación técnica de la forma como un talud estable se convierte en inestable, por la acción del deterioro y los agentes activadores.*



Fuente: Aristizabal, (2006).

Previamente al diseño de las medidas remediales, se debe tener un conocimiento completo de la magnitud de la amenaza, las causas, los mecanismos que la generan. La elaboración del modelo conceptual del comportamiento o mecanismo de falla es una de las actividades previas fundamentales para el diagnóstico y remediación de los problemas de deslizamiento, especialmente en los suelos residuales de ambientes tropicales donde la heterogeneidad de los materiales y la variedad de los parámetros fundamentales, hacen que el análisis determinístico sea impreciso. (Aristizabal, 2006).

Para elaborar los modelos conceptuales se requiere el conocimiento de la geología, la mecánica de suelos, la hidrología, la morfología y las características ambientales del sitio, entre otros elementos fundamentales. (Aristizabal, 2006).

### 2.2.2. Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo el de proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples, y observaciones de campo. (Bieniawski, 1976).

#### a) Rock Mas Rating (RMR)

El RMR, introducido por Bieniawski 1976, es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

$$b) \quad c = 5RMR \text{ (KPa)} \dots\dots\dots (1)$$

$$c) \quad \phi = 5 + \frac{RMR}{2} \text{ (deg)} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde: c es la cohesión y  $\phi$  es el ángulo de fricción.

El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.....(1)
- RQD.....(2)
- Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.....(3)
- Condición de las discontinuidades, que incluye.....(4)

- Longitud de la discontinuidad
  - Abertura
  - Rugosidad
  - Relleno
  - Alteración
- Presencia de agua subterránea.....(5)

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el rock mas rating (RMR) se obtiene como la suma de todos ellos.

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

Hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR<sub>76</sub>, del año 1976, y el RMR<sub>89</sub>, del año 1989. La diferencia reside en los valores que se les asignan a los parámetros de: presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades, y RQD juntamente con el espaciado de las discontinuidades. En la tabla se muestra la diferencia entre valores que se le dan a los parámetros según el criterio.

**Figura 6**

*Diferencias de valores entre RMR<sub>76</sub> Y RMR<sub>89</sub>.*

Parámetro	RMR <sub>76</sub>	RMR <sub>89</sub>
RQD y Espaciado de las discontinuidades	8 – 50	8 – 40
Condición de las discontinuidades	0 – 25	0 – 30
Presencia de agua subterránea	0 – 10	0 – 15

Fuente: Bieniawski (1976).

**Figura 7**

Se muestra los valores que se le asignan a cada parámetro, para el cálculo del

$RMR_{89}$ .

Parámetros			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	>10 MPa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa			
		Compresión Simple	>250 MPa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 MPa	1-5 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	6	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2m	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 < 5mm	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 juntas	Relación P Agua / P princ.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Completamente Secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor	15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawski (1976).

Una vez obtenido el RMR para el macizo, se pueden obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo de fricción, mediante las ecuaciones (1) y (2).

**b) Índice de calidad de las rocas (RQD)**

El diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm, y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo. Su expresión es:

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de fragmentos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total perforada}} * 100$$

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

$$RQD = 115 - 3.3 Jv \rightarrow Jv > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow Jv \leq 4.5$$

Dónde: Jv es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m<sup>3</sup>.

Una vez obtenido el valor de RQD, la calidad de la roca viene dada según la figura.

## Figura 8

Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

Fuente: Deere et al. (1967).

### c) Geological Strength Index (GSI)

Con la aparición del criterio de rotura de Hoek & Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas débiles, y se introduce de esta forma la clasificación geomecánica GSI (Hoek, 1994; Hoek et al. 1995). El GSI a nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente. (Hoek, 1994; Hoek et al. 1995).

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la Tabla N° 04, la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI.

Tal y como se observa en la Tabla N° 04, los valores del GSI varían desde 1 hasta 100. Los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido

a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión. (Hoek, 1994; Hoek et al. 1995).

**Figura 9**

*Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas.*

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es más realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reduce cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.

ESTRUCTURA	CONDICIONES SUPERFICIALES				
	MUY BUENA Muy rugoso. Superficies frescas sin meteorización	BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido	REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.	MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos	MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos
Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	90			N/A	N/A
Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades	80	70			
Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades		60	50		
Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad			40	30	
Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas				20	
Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte	N/A	N/A			10

DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE →

DISMINUYE EL ENTRELAZADO DE PEDAZOS DE ROCA ↓

Fuente: Hock et al, (2002).

**d) Relaciones entre RMR y GSI**

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, dependiendo del RMR utilizado, se detallan a continuación:

**Para el caso de  $RMR_{76}$**

$RMR_{76} > 18 \rightarrow GSI = RMR_{76}$

$RMR_{76} < 18 \rightarrow$  no se puede utilizar el  $RMR_{76}$  para la obtención del GSI.

**Para el caso de  $RMR_{89}$**

$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$

$RMR_{89} < 23 \rightarrow$  no se puede utilizar el  $RMR_{89}$  para la obtención del GSI.

**e) Clasificación adaptada de Bieniawski para taludes (SMR)**

Permite evaluar la estabilidad de una excavación.

El índice SMR incluye cuatro factores de ajuste:

Factor de ajuste de las juntas.

F1: Depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud.

F2: Depende del buzamiento de la junta en la rotura plana.

F3: Refleja la relación entre el buzamiento de la junta y el talud.

Factor de ajuste según el método de excavación.

F4: Establecido empíricamente.

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

Relación del índice SMR y la estabilidad del talud.

## Figura 10

Valores del SMR.

SMR	Estabilidad
100-81	Totalmente estable
80-61	Estable
60-41	Parcialmente estable
40-21	Inestable
< 20	Totalmente inestable

Fuente: Romana, (1992).

### f) Inestabilidad de taludes

La inestabilidad de laderas se define como el movimiento de masa de roca, detritos o tierra a favor de la pendiente bajo la influencia directa de la gravedad. El material desplazado puede movilizarse de forma lenta (milímetros por año), rápida y extremadamente rápida (metros /día) según la topografía, el volumen de la masa de suelo o roca, el mecanismo de rotura y la acción del agua, entre los factores. Puede activarse o acelerarse a causa de terremotos, erupciones volcánicas, precipitaciones, aumento de nivel de aguas subterráneas, por erosión, socavamiento de los ríos y por actividad humana (Díaz y Rodríguez, 2018, p. 31).

### 2.2.3. Definición de términos

**Dips v6:** Programa diseñado para el análisis interactivo de información geológica basada en su orientación. El programa es un conjunto de herramientas capaces de múltiples aplicaciones y está diseñado tanto para los principiantes, usuarios ocasionales y experimentados en el uso de la proyección estereográfica, quienes pueden utilizar las herramientas más avanzadas en el análisis de datos geológicos (Rocscience Inc, 2004).

**Estructura:** Se refiere a los rasgos morfológicos asociado al proceso de formación de una roca o macizo rocoso, por ejemplo, una colada de lava, un dique, un estrato sedimentario, o al posterior efecto de procesos tectónicos deformativos (plegamientos, diaclasamientos, fallamientos) (Smirnov, 1982).

**Infiltración:** Penetración de agua en el suelo, procedente de la lluvia, cursos superficiales o recarga artificial (Fichs, 2009).

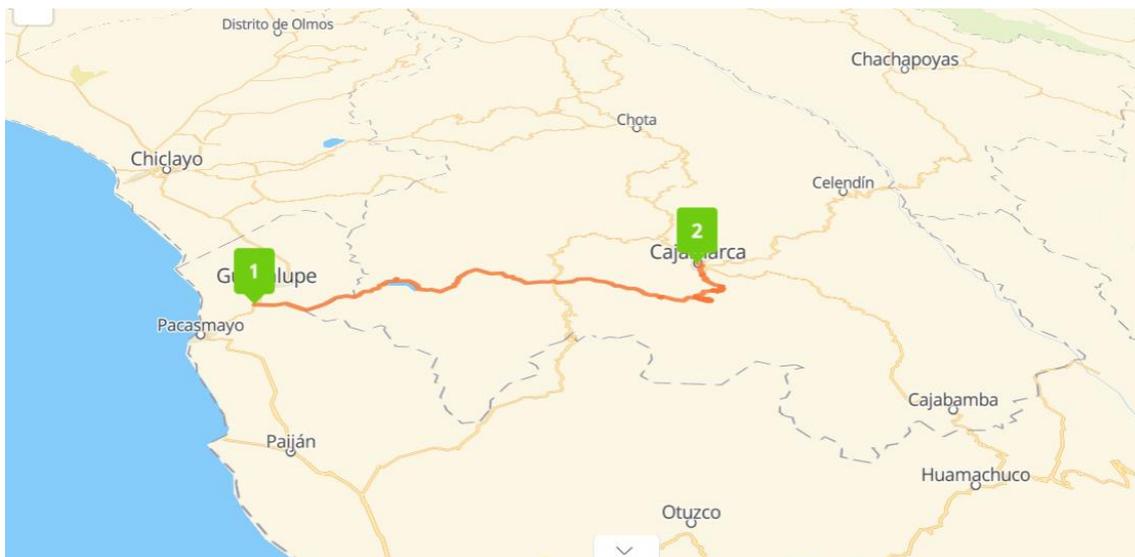
**Litología:** Es la parte de la Geología que trata de las rocas: el tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas. La litología es fundamental para entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte (Gravusob, 2002).

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

**Figura 11**

*Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios*



Fuente: Google maps

La zona de estudio se ubica en el distrito de Magdalena del km 59 al km 63 de Cajamarca a Ciudad de Dios (km 112 al km 116 Ciudad de Dios- Cajamarca respecto a la carretera nacional). El distrito de Magdalena se encuentra a una altitud 1294 m.s.n.m., rodeado de los cerros Shara, Retablo, Trinchera y Carhunco a una distancia de 61 km (1 hora y 30 minutos) de Cajamarca. El distrito de Magdalena está organizado en 3 centros poblados y 23 caseríos, su territorio limita por el Sur con los distritos de Contumazá y Asunción, por el Norte con los distritos de Chetilla y Cajamarca, por el Este con el distrito de San Juan y por el Oeste con el distrito de San Bernardino.

- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Magdalena

### 3.2. Vías de acceso

La vía principal que une Cajamarca con el distrito de Magdalena tiene aproximadamente 60 km, actualmente esta carretera esta asfaltada en su totalidad, la cual presenta ciertas dificultades en épocas de lluvia debido a los deslizamientos que se presentan en dicha estación del año.

**Tabla 2**

*Distancia, tiempo y tipo de vía de llegada a la zona de estudio.*

RUTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (h)	TIPO DE VIA
Cajamarca - Magdalena	60 km	1.03	Carretera asfaltada

### 3.3. Materiales y equipos

A continuación, se presentan los materiales y equipos utilizados, tanto para la etapa de campo como para gabinete.

**Tabla 3**

*Equipos y materiales utilizados.*

Materiales de Campo	Gabinete y Laboratorio
Tablero	Laptop ASUS
Libreta de campo	Microsoft Word 2016
Colores, lapiz y borrador	Microsoft Excel 2016
GPS (Garmin)	Google Earth pro
Picota	SASPlanet 2016

Protactor	Internet Explorer
Cámara de fotografía	Impresora
Lupa de 10X Y 20X	
Wincha	
Ácido Clorhídrico (HCL)	
Plumón Indeleble	

### 3.4. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

**Según su propósito:** La investigación fue aplicada, ya que se utilizó conocimiento existente como lo es estabilidad de taludes y deslizamientos.

**Según su profundidad:** La investigación fue descriptiva, porque se estudió las relaciones de influencia, su estructura y los factores que intervienen entre la estabilidad de taludes y los deslizamientos.

**Según la naturaleza de datos:** La investigación por su naturaleza Cuantitativa, porque se centró en el estudio y análisis de la estabilidad de taludes mediante de diversos procedimientos de medición.

**Según su manipulación de la variable:** La investigación fue no experimental, ya que no se manipularon deliberadamente las variables, solo se recogieron datos mediante los cuales se describen ambas variables para luego proponer un modelo que repercuta en la solución a las deficiencias encontradas.

### 3.5. Población de estudio

La población estuvo constituida por los taludes comprendidos en la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca.

### 3.6. Muestra

Taludes en el tramo del km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.

### **3.7. Unidad de análisis**

Ángulo del talud en los tramos estudiados.

### **3.8. Procedimiento**

Se estableció punto georreferenciado en el tramo del km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.

### **3.9. Técnicas e instrumentos de la recolección de las muestras**

#### **a) Técnicas**

Observación directa: Con esta técnica se observó las condiciones del talud que pueden originar deslizamientos, mediante mediciones de Dips y Dip Direction para realizar la caracterización geomecánica.

Observación indirecta: Se realizó mediante la utilización de los Softwares mencionados para a investigación.

Ensayos de suelos: Infiltración.

#### **b) Instrumentos**

Se utilizaron formatos para la clasificación geomecánica, y para la recopilación de data para luego encontrar el factor de seguridad en los taludes.

#### **c) Análisis e interpretación de datos**

Los datos obtenidos se procesaron en el software Dips para analizar las discontinuidades y el Slide para determinar el factor de seguridad.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Presentación de los resultados**

Siguiendo el procedimiento que se tuvo durante todo el desarrollo de la investigación, una vez recolectados los resultados se realizó el análisis y la respectiva discusión con nuestros antecedentes, que se describen a continuación:

### **4.2. Fase de análisis y discusión**

Se determinó la ocurrencia de deslizamientos en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, 2019.

#### **Para los mecanismos de rotura en el talud en el km 59 al km 63:**

En los movimientos que se tiene de ladera en gran parte en su mayoría de clasificaciones, se pueden basar en los mecanismos que ellas tienen de inestabilidad, también tiene que ver mucho la tipología que se tiene del movimiento que normalmente se establecen después que haya tenido lugar la rotura, todo esto se basa en la cinemática a la que la rotura ha sido sometida, dependiendo de todo ello más adelante podemos distinguir las dos fases que han sido las principales que se han tomado en cuenta para analizar los movimientos de ladera. Toda fase previa que es a la realización de la rotura y que normalmente tiene una larga duración, todo en ella se pueden producir algunas pequeñas llamadas deformaciones que a menudo pueden ser imperceptibles para el ojo humano, pero que más adelante pueden tener un orden métrico si es que existe grandes deslizamientos, aquella superficie que es la separación generalmente encontrada entre la masa en movimiento y el terreno que no ha llegado generalmente a desarrollarse por completo. Para este caso la fase de rotura de manera general se ha caracterizado usualmente por la formación de una superficie o también conocida como una zona de cizalla continua, todo esto ha tenido lugar en el terreno en el cual se tiene con algunos movimientos que son muy lentos o en otros casos pueden ser algunos

movimientos extremadamente rápidos, luego de ello se puede producir algún tipo de reajuste en toda la masa que se ha deslizado o en el movimiento que ha ocurrido. Gonzáles, (2019) en su investigación Cálculo simplificado de capacidad portante de cimientos superficiales en ladera, de la Escuela Colombiana de Ingeniería. En esta investigación el autor menciona que la capacidad portante de los suelos en los últimos años se ha solucionado con la teoría de la plasticidad, suponiendo siempre el terreno de apoyo horizontal y también la extensión lateral infinita, pues la teoría de la plasticidad no incluye el peso propio de la masa del suelo que falla y esto al involucrarlo con el factor  $N_g$ , pues se apela a valores que muchas veces son semiempíricos u otros que son experimentales, y para ello existe una gran variedad de soluciones, las cuales esos valores son muy dispares en sus extremos. De acuerdo a ello en la investigación se consideran algunas ventajas que puede existir un método analítico que ha sido validado por varios autores, no hay necesidad de usar factores de corrección por la pendiente del terreno, no existe necesidad de usar gráficos, ya que se puede programar o usar una hoja de cálculo, aunque muchas veces es una estimación, pero permite estimaciones que son acertadas.

**Figura 12**

*Zona por deslizar.*



En la zona de estudio esta fase se evidencia por grandes fallas en conjunto provocando socavamiento en contra del talud.

### Figura 13

*Zona de fase de rotura.*



#### **De acuerdo con el tipo de materiales en el km 59 al km 63:**

En todas las clasificaciones existentes sin excepción, la naturaleza de los materiales involucrados es uno de los parámetros utilizados. Tanto Varnes (1978) como Hutchinson (1988), distinguen entre substrato rocoso o roca (bedrock), derrubios (debris) y tierra (earth).

Mientras que el concepto de substrato rocoso no ofrece dudas, la distinción entre derrubios y tierra no es evidente, especialmente cuando consideramos los movimientos de flujo. Ambos son suelos desde el punto de vista ingenieril. Los derrubios consisten en un suelo de composición granulométrica gruesa, es decir, formado mayoritariamente por gravas y bloques mientras que la tierra tiene un contenido importante de finos, es decir, arenas, limos y arcillas. En la zona de estudio la roca presenta intenso fracturamiento comportándose en algunas partes como derrubio.

## Figura 14

*Roca considerada como derrubio.*



### **Desprendimiento o caídas en el km 59 al km 63:**

Los taludes realizados en la zona de estudio originan desprendimientos por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que, al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos.

El movimiento es muy rápido. La rotura en la zona suele producirse por deslizamiento o por intenso fracturamiento, proporcionando a la masa despegada una velocidad inicial. La propagación de los desprendimientos en este talud (con pendiente superior a los 70°), se produce preferentemente por caída libre, por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno son

frecuentes. Albarracín, Gómez, Alarcón, & Zandoval, (2009) Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Con El Proyecto: “Zonificación Geotécnica De La Zona Centro Del Área Urbana Del Municipio De Sangamosa Por Medio De Un Sig. – Bogotá – Colombia”. Concluyen en esta investigación que las exploraciones en donde se conforman toda la base de datos de la geotecnia este no supera los 10 metros de profundidad, para ello no se logra cubrir un porcentaje importante de toda el área de la ciudad, esto fue uno de los más importantes insumos para la definición de la zonificación geotécnica de manera superficial, este es el motivo por el cual se ha realizado como único un modelo de zonificación en el área central del municipio. Pero finalmente con el fin de que la caracterización sea la mejor en la dinámica del subsuelo, es de vital importancia y necesario que se haga la realización de sondeos geotectónicos y también de ensayos en el lugar de origen de algunas zonas de la ciudad en donde se enmarca este estudio.

## Figura 15

*Zona de desprendimiento.*



### **Vuelco por flexión o deslizamiento en el km 59 al km 63:**

En la zona de estudio el vuelco por flexión tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinuas en voladizo (Goodman y Bray, 1976). Las columnas continúan cuando se doblan hacia delante rompen por flexión.

En la zona de estudio los deslizamientos es masa desplazada que se trocea en su movimiento descendente y resulta una acumulación caótica de bloques al pie de la ladera, se denominan corrimientos (García Yagüe, 1966). Cuando

la rotura por cizalla tiene lugar en suelos no cohesivos constituidos por partículas gruesas, se denominan deslizamientos de derrubios (debris slides). Huamán, (2017). Presentó su tesis titulada “Geotecnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba - Cungunday, Cajamarca, Cajabamba”, a la Universidad Nacional de Cajamarca. Los principales parámetros geomecánicos identificados en el tramo de la carretera Huañimba – Cungunday, fueron el factor de seguridad, así como también la litología que está caracterizada en su mayoría por la Formación Condebamba y la Formación Cajabamba; influenciando en la inestabilidad de los taludes. Se determinó el factor de seguridad en cada uno de los taludes, clasificando de esta manera en 3 grupos a las zonas críticas en función a su factor de seguridad obtenido; teniendo, así como zonas altamente inestables a las estaciones N°05 y N° 10, zonas medianamente inestables a las estaciones N° 01, N° 02, N° 03, N° 04, N° 06 y como zonas moderadamente inestables a las estaciones N° 07, N° 08, N° 09.

## Figura 16

*Zona de deslizamiento por derrubios.*



### **Tipos de rotura en el km 59 al km 63:**

#### **Rotura planar:**

Se llama rotura planar o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud. Este tipo de rotura no es muy frecuente, ya que deben darse las dos condiciones siguientes. Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de  $20^\circ$ . Toro, (2014). Presentó su tesis titulada “Evaluación de la inestabilidad de taludes en la carretera las Pirias - Cruce Lambayeque, San Ignacio”, a la Universidad

Nacional de Cajamarca. El criterio de falla de taludes está basado en la ley de Mohr - Coulomb, la cual está a su vez en el método de fricción, dice que cuando el esfuerzo cortante actuante llega a un máximo igual al de su resistencia  $S=C+\sigma ntg \Phi$ . la masa de suelo comienza a deslizarse por un plano de falla que forma un ángulo con la dirección del esfuerzo llamado ángulo de fricción, dado por la fricción entre el contacto entre partículas. Se dan también orientaciones sobre cómo identificar las inestabilidades según el material y la configuración de la forma. Así determinar sus respectivos parámetros. En el análisis de resultado se denota que la mayoría de los taludes no cumplen la inclinación adecuada de acuerdo con el tipo de suelo. Llegándose a recomendar por lo anterior, adoptar las soluciones óptimas.

### Figura 17

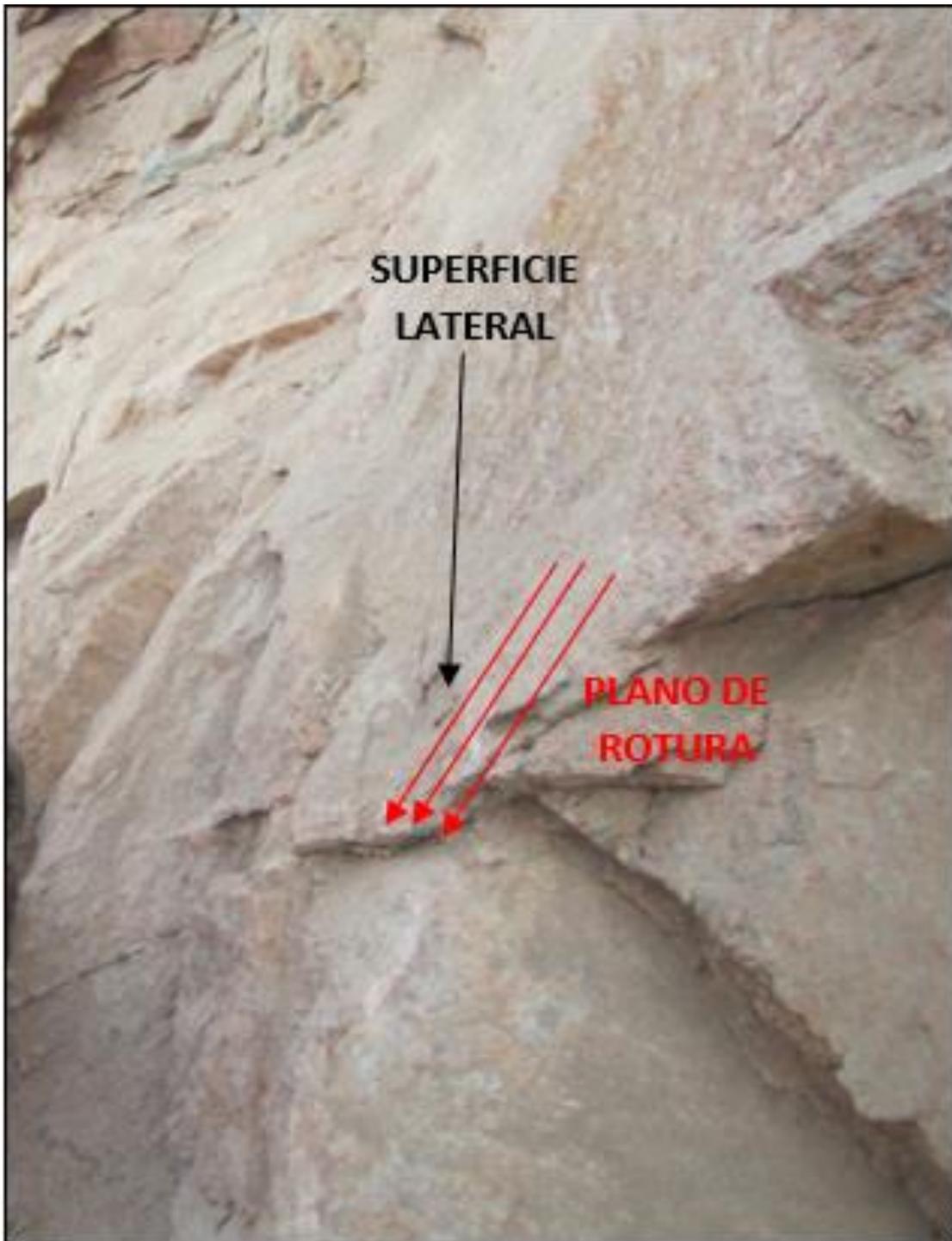
*Fallamiento planar.*



Los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable.

**Figura 18**

*Descripción de fallamiento planar.*



Estas condiciones permiten estudiar la estabilidad del talud como un problema bidimensional que se analiza considerando una rebanada de ancho unidad, limitada por dos planos verticales, Perpendiculares al plano del talud.

### **Geometría de la rotura planar en el km 59 al km 63:**

Si se representa el plano del talud y las discontinuidades en una estereofalsilla equiareal o de Schmidt se pueden tener una rotura de tipo planar cuando existe una familia de discontinuidades de rumbo similar al del talud y buzamiento menor que éste.

$$\psi_t > \psi_p$$

Donde:

$$\psi_t = \text{ángulo de buzamiento del talud} = 76^\circ.$$

$$\psi_p = \text{ángulo de buzamiento del plano de rotura} = 58^\circ$$

Muñoz, 2019. "Evaluación de soluciones de estabilidad para deslizamientos en tres tramos críticos de la carretera Ilabaya – Cambaya – camilaca, distrito de ilabaya – Jorge Basadre - Tacna" Tesis de grado (UPCA), realizó el estudio de 3 tramos críticos ubicados en los kilómetros 6, 13 y 17 de la carretera Ilabaya-Cambaya-Camilaca I ETAPA que tiene una longitud de 32 km que se encuentra en la región de Tacna, distrito de Ilabaya, provincia Jorge Basadre. El análisis de estabilidad empleará datos geotécnicos para analizar tres tramos críticos de la carretera, tomados del expediente técnico de la empresa SUPERCONCRETO DEL PERU S.A.; encargada del proyecto y que se comprobó en visitas al campo. El cálculo de estabilidad se realizó para el análisis del talud en su estado actual, talud con corte de banquetas y talud con muros de concreto empleando el programa SLIDE 6.0.

## Figura 19

*Discontinuidades a favor del talud.*



### **Rotura por cuña en el km 59 al km 63:**

Se denomina rotura por cuña, aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie de este y buzando en sentido desfavorable.

Este tipo de rotura se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas.

**Figura 20**

*Rotura por cuña.*



Si proyectamos el plano del talud y las discontinuidades en una proyección semiesférica equiareal de Schmidt, la disposición típica de los casos en que es posible este tipo de rotura es como el que aparece en la figura adjunta. En ella se aprecian dos familias de discontinuidades de rumbos oblicuos respecto al del talud, quedando el rumbo de éste comprendido entre los de las familias de discontinuidades.

La dirección de deslizamiento es la de la intersección de las dos familias de discontinuidades y ha de tener menos inclinación que el talud.

Si se representa una sección vertical del talud por la línea de intersección de los dos planos sobre los que desliza la cuña, la condición geométrica que hace

posible el deslizamiento es:

$$Y_i < Y_{ti}$$

Donde:

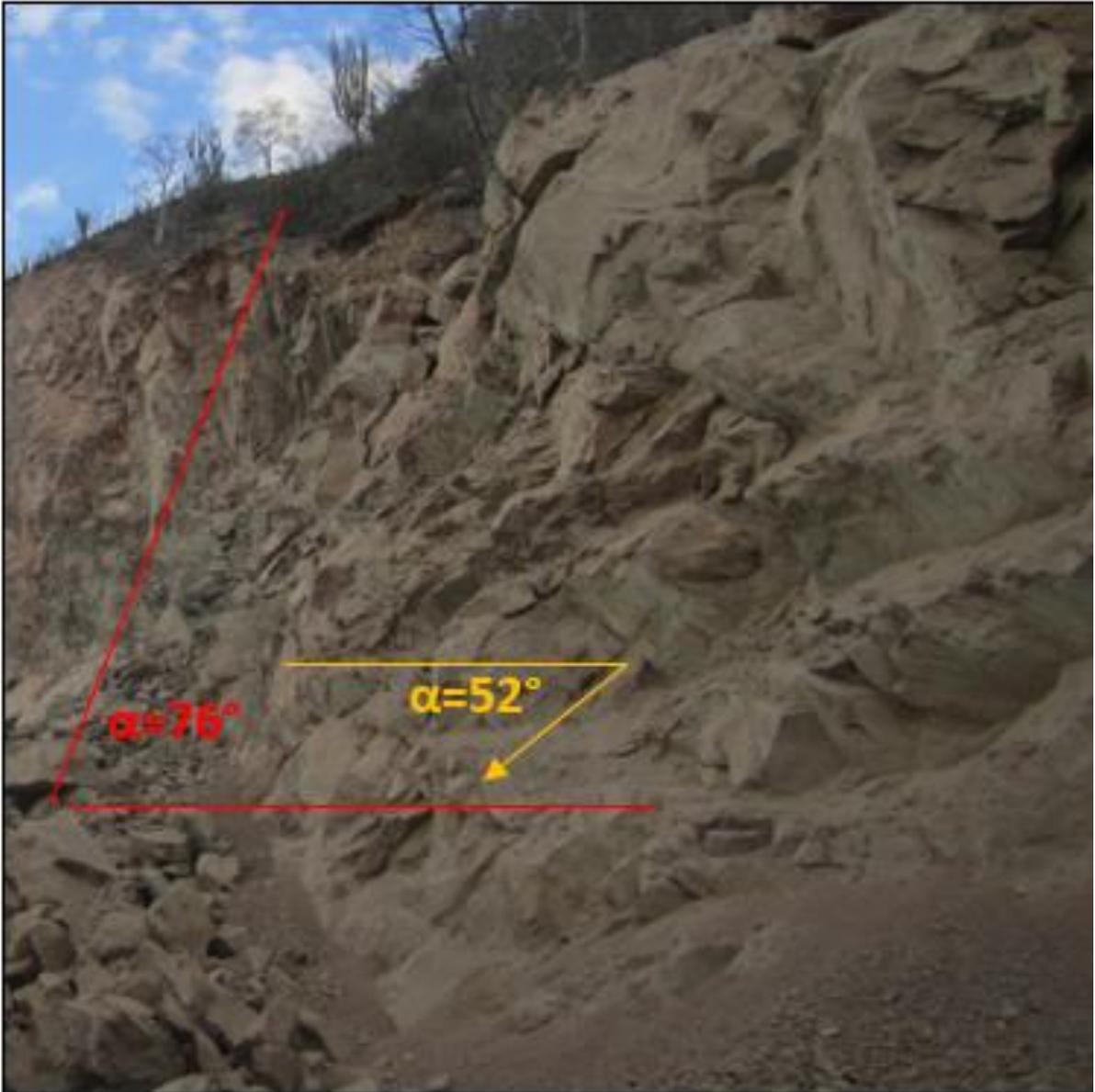
$Y_i$  = ángulo de inclinación de la línea de intersección, cuya dirección es la dirección de deslizamiento.

$Y_{ti}$  = ángulo de inclinación del talud, medido en la sección vertical indicada, que sólo será igual al talud,  $Y_t$  si la línea de intersección está contenida en una sección perpendicular al mismo.

Díaz y Rodríguez, (2018). Presentó su tesis titulada “Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca”, a la Universidad Privada del Norte. Se realizó en base a siete estaciones geomecánicas de la zona, en donde se calculó la cohesión y ángulo de fricción interno de la roca mediante el criterio de rotura de Barton - Bandis, se analizó la cinemática de los taludes, a ello se sumó el cálculo de la densidad de las unidades litológicas aflorantes y finalmente los datos obtenidos se ingresaron a los softwares especializados (Rocscience) para obtener el valor del Factor de Seguridad (FS) para cada estación geomecánica estudiada. En campo observó fallas de tipo planar, y una característica más resaltante de este tipo de falla es que se produce por la presencia de juntas predominantes que buzcan hacia el talud y cuyo rumbo es bastante paralelo a la cara del talud, con algún control estructural. A la par se distinguieron 2 discontinuidades (una predominante y otra aleatoria), es por ello que se optó por el criterio de rotura de Barton - Bandis para el cálculo de la cohesión y ángulo de fricción interno de la roca.

**Figura 21**

*Fallamiento en cuña.*



### **Rotura por vuelco en el km 59 al km 63:**

Según una familia de juntas predominantes y/o continuas que buzan contra el talud y su rumbo es casi paralelo al de la cara del talud. Breña, 2019. “Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, Cajamarca-Perú” Tesis de grado (UNMSM), realizó el estudio de estabilidad de taludes, para determinar los factores que influyen en la interacción roca-suelo en los taludes de la, carretera Longitudinal de la sierra tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, El procesamiento de datos se hizo en tiempo real, información o datos que se acopio para determinar los parámetros geotécnicos insitu como: Factor de seguridad estático, factor de seguridad pseudoestáticos, cálculos de carga admisible, carga única e hidrogeología. Las obras de arte se hicieron para canalizar las aguas y evitar que se filtren y proporciona los factores de corrección en diferentes ambientes para conseguir la estabilidad de los taludes.

### **Figura 22**

*Rotura por vuelco.*



**Discontinuidades globales en el km 59 al km 63:**

Según superficies que pueden desarrollarse parcialmente a lo largo de juntas.

**Figura 23**

*Discontinuidades globales.*



**Determinación de propiedades de los suelos en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, 2019:**

**Presencia de agua en la roca para definir la estabilidad de taludes:**

Para determinar la presencia de agua se realizaron el análisis de infiltración y el análisis de precipitaciones de lluvia.

En la zona de estudio se realizaron tres pruebas de infiltración, para evaluar el efecto del agua de lluvia en los taludes; los puntos se encuentran encima del desarrollo de labores. Los puntos de infiltración están separados cada 30 metros, encima de la carretera, que tienen las siguientes coordenadas mostradas en la tabla.

**Tabla 4**

*Coordenadas de los puntos de infiltración.*

Punto	Este	Norte
Punto de infiltración 1	759 874	9 197 159
Punto de infiltración 2	759 886	9 197 166
Punto de infiltración 3	759 893	9 197 173

Se realizó un agujero de prueba de 15 centímetros de diámetro, con una profundidad mínima de 10 centímetros.

## Figura 24

*Agujero de prueba*



En el agujero realizado se colocó una probeta con un litro de agua para analizar su saturación. La saturación del suelo es muy importante porque los sistemas de infiltración deben funcionar correctamente en las épocas de lluvia. Con esta etapa se pretende simular ese hecho.

## Figura 25

### *Colocación de probeta*



Acá se podría decir que tenemos las lecturas y también su diferencia, que generalmente tienen un inicio y un final en un período de aproximadamente 60 minutos, todo esto se utiliza para finalmente definir la tasa que se tiene de infiltración, todo esto viene expresado en minutos/centímetros, todo este promedio que se ha tenido de las lecturas que se realizaron, se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 5**

*Datos de infiltración.*

Punto	Hora inicial	Hora final	Diferencia (cm)
1	9:00	9:30	4
2	10:00	10:30	3
3	11:00	11:30	2
Promedio			3

Tasa de infiltración:

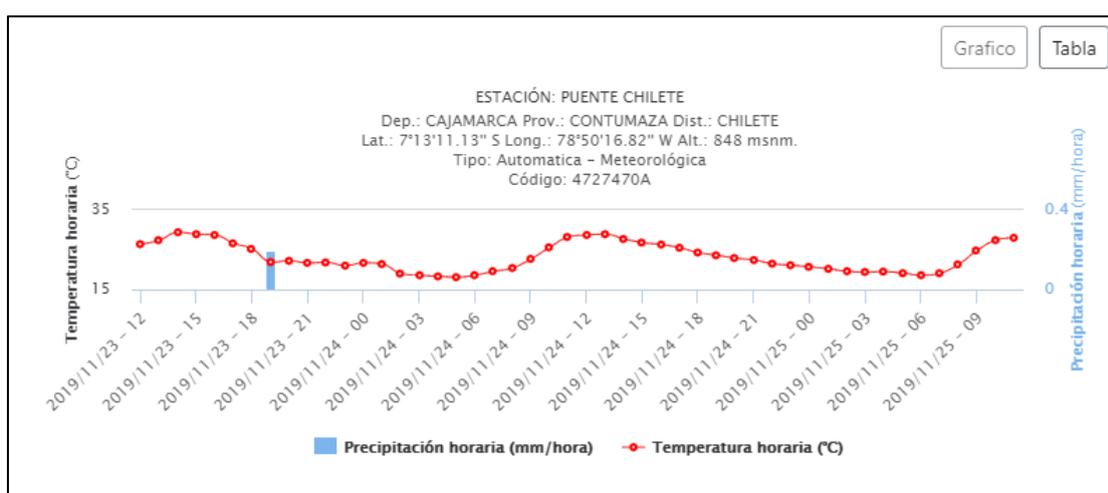
Tasa de Infiltración = 30 min/3 cm

T = 10 min/cm

Los suelos de la zona de estudio presentaron baja infiltración, por lo tanto, las lluvias no son determinantes para la presencia de agua en los socavones; además las lluvias no son muy constantes tal como se muestra en la figura.

**Figura 26**

*Presencia de lluvias*



Fuente: SENAMHI, (2019).

Algunas discontinuidades en su mayoría se encontraron húmedas y el resto se encontraron secas.

**Tabla 6**

*Presencia de agua.*

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

Nivel de influencia RQD para definir el tipo de talud

Se pudo realizar el cálculo del RQD mediante la contabilización del número de discontinuidades en un tramo de 10 metros.

**Figura 27**

Conteo de discontinuidades en tramo de 10m



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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{distancia (m)}}$$

$$\lambda = \frac{19}{10} = 1.9$$

$$RQD = 100e^{(-0.1*1.9)(0.1*1.9+1)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.19)(1.19)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.2261)}$$

$$RQD = 100 * 0.7976$$

$$RQD = 79.76\%$$

El resultado del RQD se clasificó mediante la ficha de RMR.

**Tabla 7**

Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de la Roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

Se obtiene un puntaje de 17.

Espacios entre discontinuidades:

Las discontinuidades fueron medidas en un tramo de 10 metros, sin embargo, no todas se encontraron de forma paralelas sino también perpendiculares, las discontinuidades se encontraban espaciadas de la siguiente manera:

**Tabla 8**

Espaciado entre discontinuidades estación 1.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	16.18
2-3	E2	15.25
3-4	E3	21.1
4-5	E4	28
5-6	E5	22.3
6-7	E6	18.2
7-8	E7	28.75
8-9	E8	40.1

9-10	E9	43.6
10-11	E10	30.58
11-12	E11	26
12-13	E12	22.9
13-14	E13	28.7
14-15	E14	32.4
15-16	E15	30
16-17	E16	22
17-18	E17	18.5
18-19	E18	20.6
19-20	E19	31.5
20-21	E20	39
21-22	E21	42.2
22-23	E22	32
23-24	E23	35
24-25	E24	26.3
25-26	E25	23.5
	Promedio	27.80

---

El promedio del espaciado en la estación 1 es 27.80 cm.

**Tabla 9**

Espaciado entre discontinuidades estación 2.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	15.12
2-3	E2	36.9
3-4	E3	37.4
4-5	E4	23.5
5-6	E5	33
6-7	E6	37.45
7-8	E7	42.58
8-9	E8	40.1
9-10	E9	44.5
10-11	E10	38.1
11-12	E11	36.95
12-13	E12	21.5
13-14	E13	27.8
14-15	E14	12.7
15-16	E15	26.7
16-17	E16	31.5
17-18	E17	47.3
18-19	E18	23.6
19-20	E19	32.2
20-21	E20	50.17
21-22	E21	43.1
22-23	E22	38.4
23-24	E23	31.3
24-25	E24	30.2

25-26	E25	24.2
	Promedio	30.05

---

El promedio del espaciado en la estación 2 es 30.05 cm.

**Tabla 10**

Espaciado entre discontinuidades estación 3.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	13.2
2-3	E2	24.6
3-4	E3	25.8
4-5	E4	31.3
5-6	E5	28.7
6-7	E6	21.6
7-8	E7	28.1
8-9	E8	30.4
9-10	E9	32.6
10-11	E10	37.5
11-12	E11	28.6
12-13	E12	26.3
13-14	E13	21.4
14-15	E14	20.3
15-16	E15	27.4
16-17	E16	25.2
17-18	E17	23.3
	Promedio	26.25

---

**Tabla 11**

Descripción del espaciado.

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m
Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

En donde se obtiene un puntaje de 10.

➤ **Longitud de discontinuidades:**

**Tabla 12**

Persistencia de las discontinuidades.

Fractura	Persistencia (m)
1	
2	0.41
3	1.35
4	1.24
5	1.36
6	1.8
7	0.55
8	0.23
9	0.87
10	1.25
11	1.18
12	1.35
13	1.42
14	2
15	1.62
16	1.34
17	1.1
18	0.98
19	0.74
20	1.35
21	1.26
Promedio	1.16

**Tabla 13**

Descripción de persistencia.

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

Se obtiene un puntaje de 4.

Abertura: 1-5 mm

**Tabla 14**

Apertura de fracturas.

Fractura	Apertura (mm)
1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	1
7	1
8	1
9	0

10	1
11	1
12	0
13	1
14	1
15	1
16	1
17	0
18	1
19	1
20	0
21	1
Promedio	0.95 mm

---

**Tabla 15**

Abertura de las discontinuidades.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

---

Se obtiene un puntaje de 3.

Rugosidad: Ligeramente rugosas.

En las discontinuidades se evidencian que en su mayoría se clasifican según la tabla siguiente en ligeramente rugosa:

**Tabla 16**

Clasificación de la rugosidad.

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Relleno: Relleno Duro <5mm

**Tabla 17**

Relleno de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.

S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
R0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

---

Alteración: Moderadamente alteradas

**Tabla 18**

Meteorización de las discontinuidades.

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.

Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

---

En moderadamente meteorizado con un puntaje de 3.

Ahora a partir de los datos anteriores se calcula el RMR según las valoraciones de Bieniawski 1989, dadas en la siguiente tabla.

Los resultados del RMR se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 19**

Cálculo del RMR para el macizo rocoso.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
	Longitud de la discontinuidad		<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
	Abertura		Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
4	Puntuación		6	5	3	1	0		

	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
	Puntuación	6	5	3	1	0	
	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
	Puntuación	6	4	2	2	0	
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
	Puntuación	6	5	3	1	0	
5	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min	
	Relación de agua /						
	Agua freática	Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
	Puntuación	15	10	7	4	0	

La clasificación final del macizo rocoso según el RMR será de "Regular" con una puntuación de 55.

**Tabla 20**

Clasificación RMR para el macizo rocoso.

RMR	Descripción
0 – 20	Muy pobre
21 – 40	Pobre
41 – 60	Regular
61 – 80	Bueno
81 – 100	Muy bueno

### Análisis con Rocplane

**Figura 28**

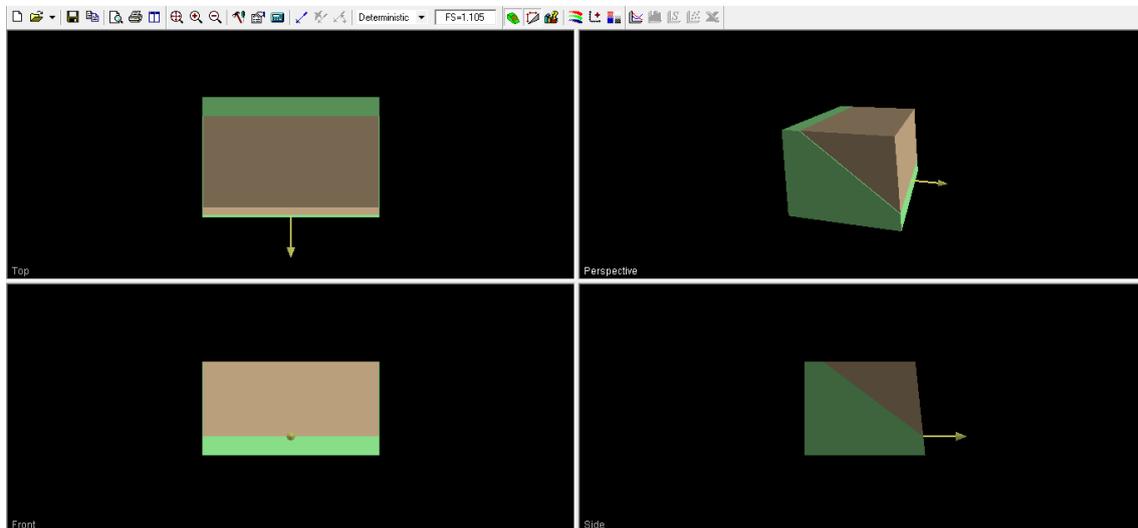
*Datos ingresados*

The screenshot shows the 'Deterministic Input Data' window with the following settings:

- Geometry** tab selected.
- Slope**: Angle (deg) = 84, Height (m) = 7, Unit Weight (t/m3) = 2.
- Failure Plane**: Angle (deg) = 37, Waviness (deg) = 0. Formula: \* Waviness = [Avg. Angle] - [Min. Angle].
- Tension Crack**:  Tension Crack. Angle (deg) = 90.  Minimum FS Location,  Specify Location. Distance from Crest (m) = 0.
- Upper Face**: Angle (deg) = 0,  Bench Analysis. Width (m) = 8.55358.
- Results**: Safety Factor = 1.10517, Wedge Weight = 59.8751 tonnes/m, Normal Force = 42.4133 tonnes/m, Resisting = 47.7503 tonnes/m, Driving = 43.2065 tonnes/m.
- Buttons: Aceptar, Cancelar, Aplicar.

**Figura 29**

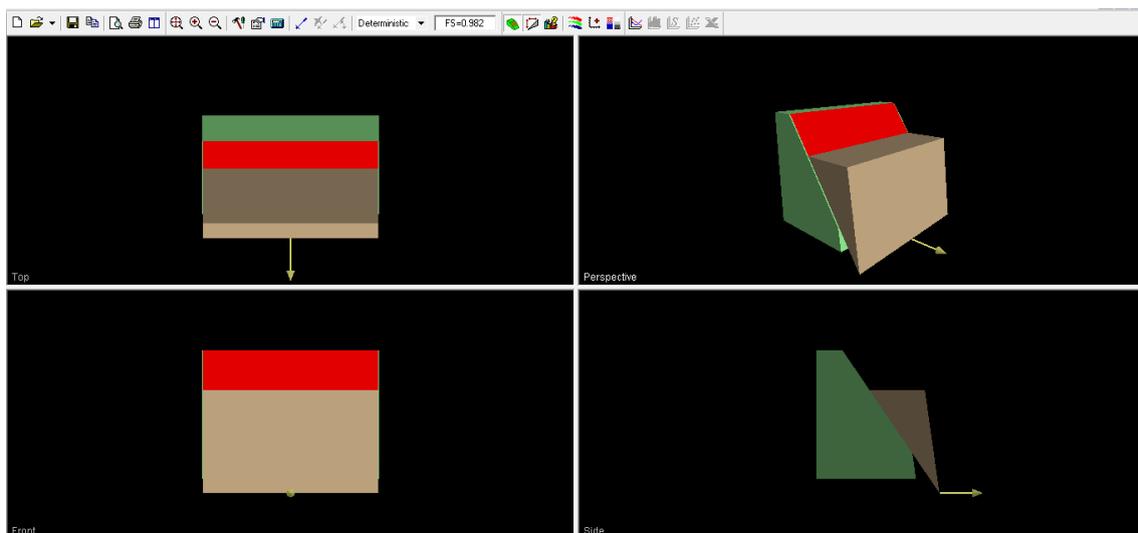
*Análisis de falla en estación 1*



Se observa un factor de seguridad 0.89.

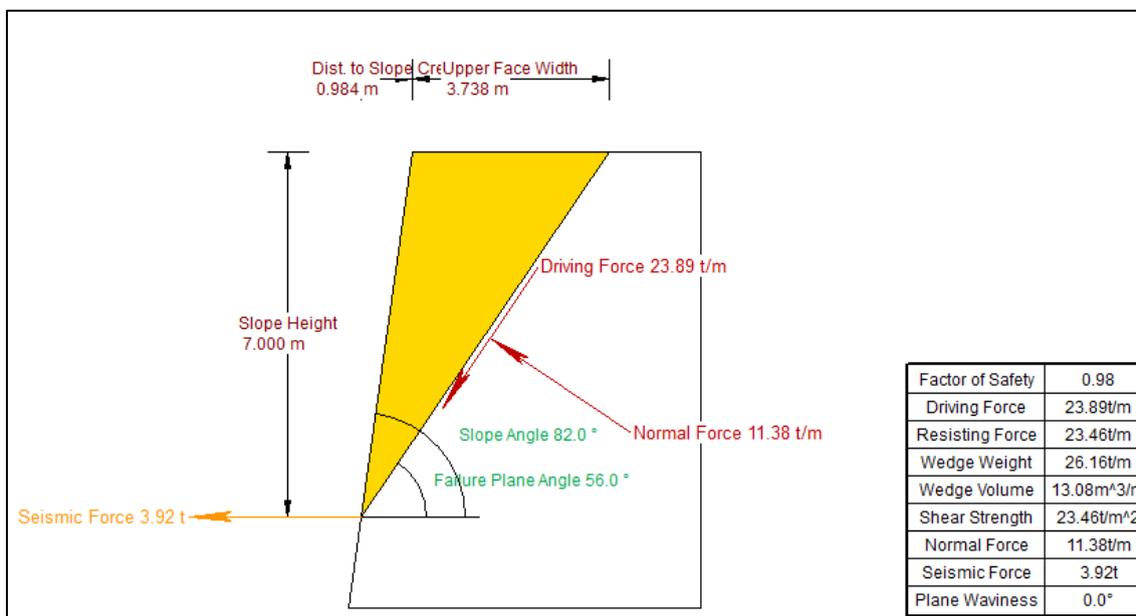
**Figura 30**

*Análisis de falla en estación 2*



**Figura 31**

*Análisis estático*



Se observa plano de falla factor de seguridad de 0.9.

**4.3. Diseño de talud en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios**

El SMR para estabilidad de taludes está dada por la siguiente fórmula:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Donde:

F1, F2, F3: son factores de ajuste por la orientación

F4: es el factor de ajuste por el método de excavación

De acuerdo con el estudio geomecánico se determinaron 2 familias más características, de acuerdo con esta evaluación se clasifica en el DIPS:

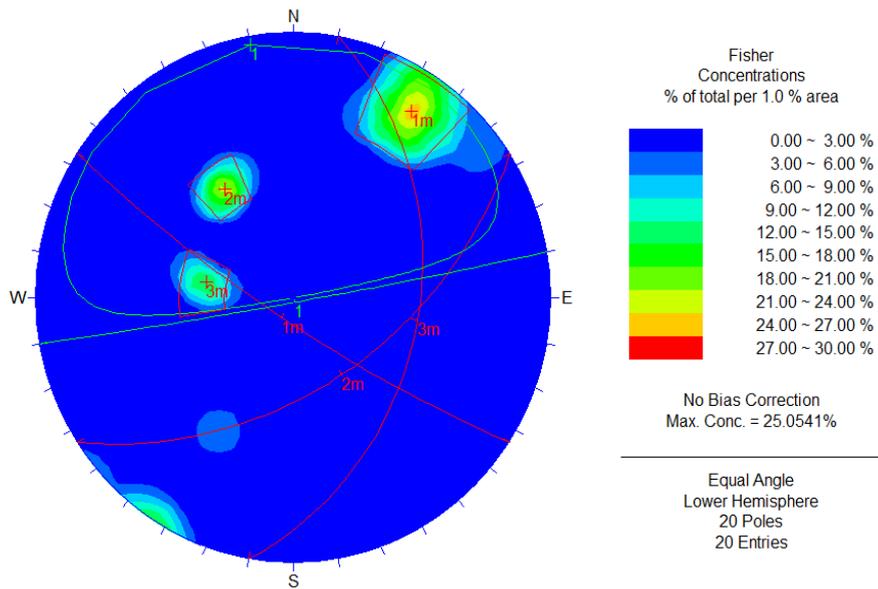
**Tabla 21**

*Dirección de las juntas y buzamiento.*

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	ROCAS CALIZAS
N° 01	759874	9197159	1323	E	29	55	
				D1	65	104	
				D2	58	100	

**Figura 32**

*Datos del análisis de diaclasas software Dips V6.*



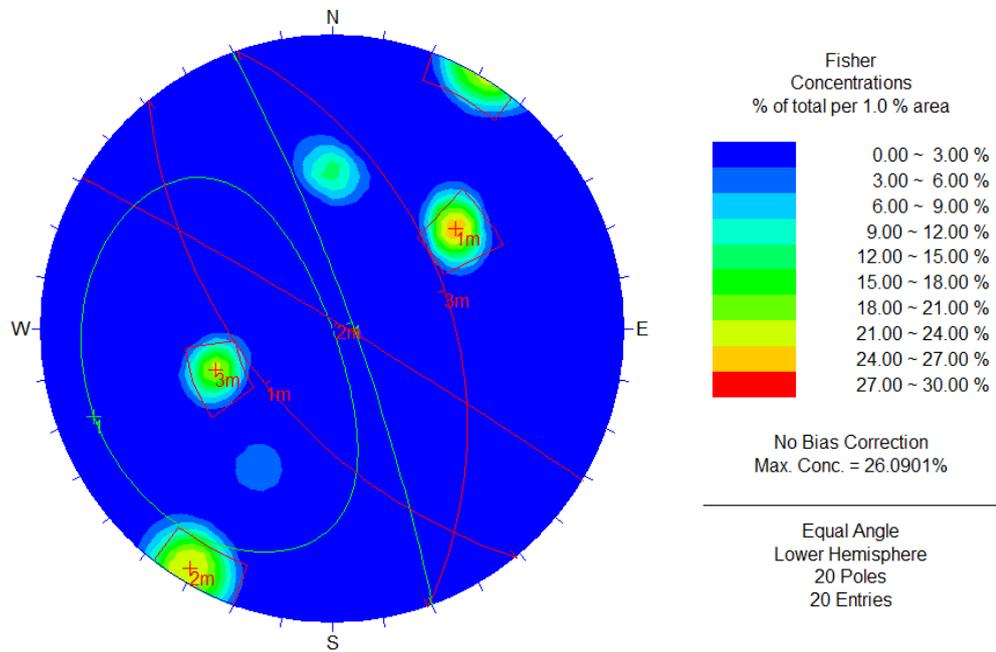
**Tabla 22**

*Dirección de las juntas y buzamiento.*

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	ROCAS CALIZAS
N° 02	760156	9196678	1348	E	55	224	
				D1	86	271	
				D2	58	256	

**Figura 33**

*Datos del análisis de diaclasas software Dips V6.*



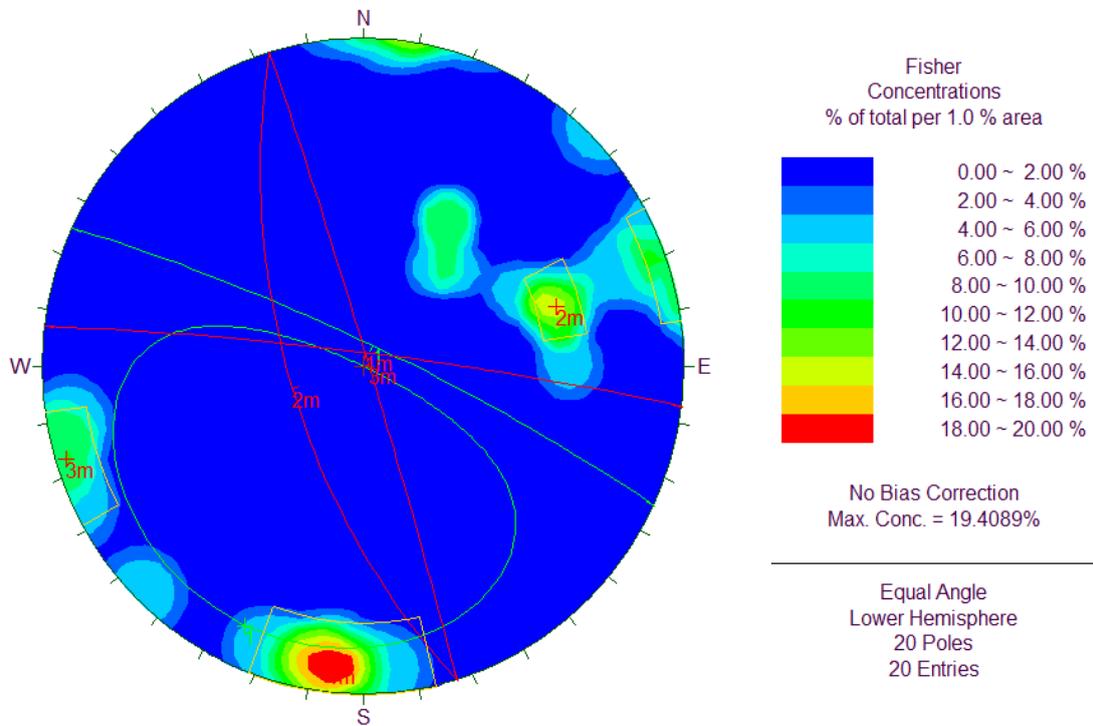
**Tabla 23**

*Dirección de las juntas y buzamiento.*

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	ROCAS CALIZAS
N° 03	760648	9196318	1348	E	60	10	
				D1	30	114	
				D2	40	28	

**Figura 34**

*Datos del análisis de diaclasas software Dips V6.*



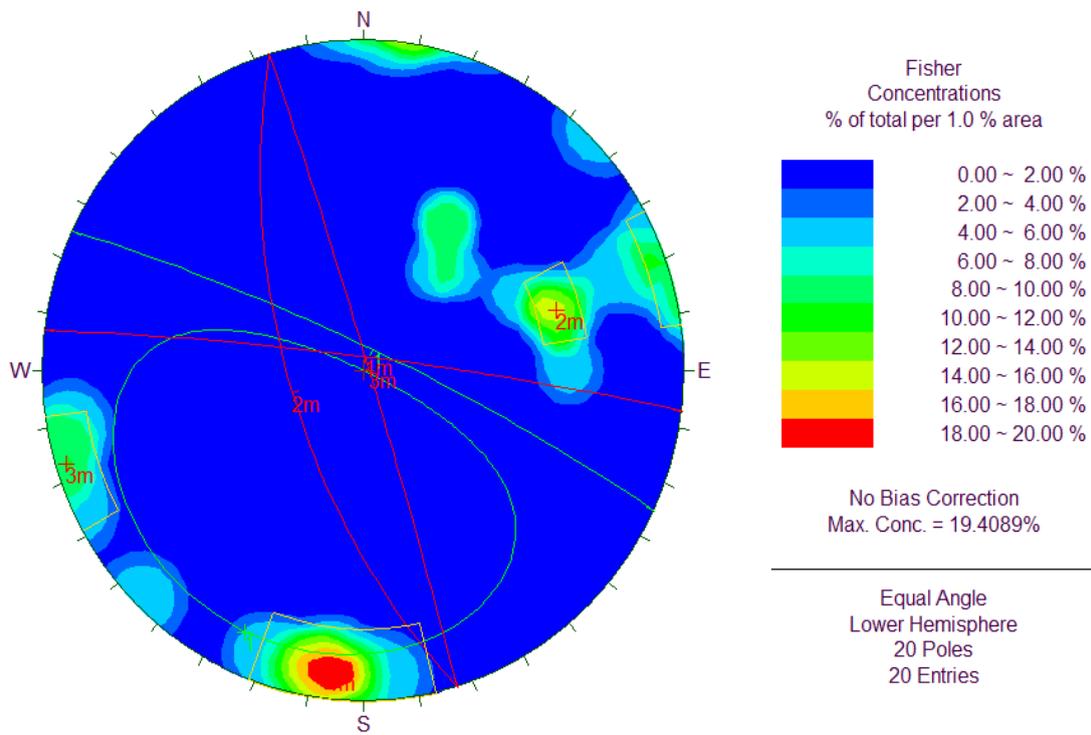
**Tabla 24**

*Dirección de las juntas y buzamiento.*

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	
N° 04	760317	9196569	1365	E	65	14	
				D1	69	136	
				D2	83	110	

**Figura 35**

*Datos del análisis de diaclasas software Dips V6.*



Por tanto, se determina que el tipo de rotura en la zona de estudio es por vuelco de estratos, de acuerdo con el análisis en DIPS, y en campo.

Se calcula el SMR (rotura por vuelco):

**Tabla 25**

*Factor de seguridad por orientación de las juntas*

Factor de seguridad por orientación de las juntas (F1, F2, F3)						
Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $					
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$>30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$110^\circ - 0^\circ$	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Reemplazando los factores en la fórmula tenemos:

$$SMR = 55 + (0.85 \times 1 \times (-25)) + 0$$

$$SMR = 33.75$$

**Tabla 26***Clases de estabilidad*

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

#### **4.4. Métodos de estabilización para la propuesta**

También se tiene que toda la geodinámica externa, puede concluir que algunos problemas que generalmente afectan a la parte superior del talud en una carretera, éstos están relacionados y a qué existe sobrecargas del suelo, por ello podemos encontrar desprendimientos menores del material que contiene la carretera, Entonces se puede deducir que los dos problemas pueden tener el mismo origen, este problema de origen puede ser ocasionado por la presencia de agua, y a que esto se puede ir ejecutando durante varios meses que tiene el año, ya que Cajamarca es una región que está por encima de los 2000 m sobre el nivel del mar.

Para enfrentar estos problemas, se proponen las siguientes soluciones:

Toda la zona de estudio el principal problema que presenta es que existe sobrecarga y al mismo tiempo desprendimientos, todo ello ocurre porque existe discurrimento de aguas que están en la superficie, estas aguas son originadas por las lluvias intensas que existe en la zona en los meses de invierno, entonces todo ello puede ocasionar una saturación en aquella matriz que cumple con la función de envolver todo el material que se encuentra conglomerado, entonces debido a ello se produce todo el desprendimiento del material y por consiguiente se almacena en las cunetas que contiene todo este tramo de la carretera.

Estas sobrecargas y desprendimientos no se producen en todo el sector, de forma continua sino por tramos.

##### **Medidas de solución:**

Para manejar el problema de sobrecarga y desprendimientos menores del material conglomerado del talud superior, se recomienda las siguientes medidas de solución.

- Construir una buena cuneta en la plataforma, con entrega eficiente a las alcantarillas.

- Realizar corte de taludes 1:3 (V:H); con la finalidad de minimizar los desprendimientos del material conglomeradico o suelo residual.
- Hacer el mantenimiento periódico de las cunetas, para evitar su colmatación.

#### **a) Análisis de estabilidad de taludes**

##### **Evaluación geométrica:**

A partir de la información recopilada en campo, se ha clasificado al macizo rocoso del talud, utilizando el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Rock Mass Rating – 1989).

##### **Distribución de discontinuidades:**

En cuanto al nivel de proceso de los datos y de acuerdo con eso la orientación que tiene el rumbo y también al mismo tiempo el buzamiento de las diaclasas, todo esto se realizó utilizando las técnicas de proyección estereográfica equiareales, y también por el método de diagrama de polos, éste se realizó utilizando el software DIPS V6.

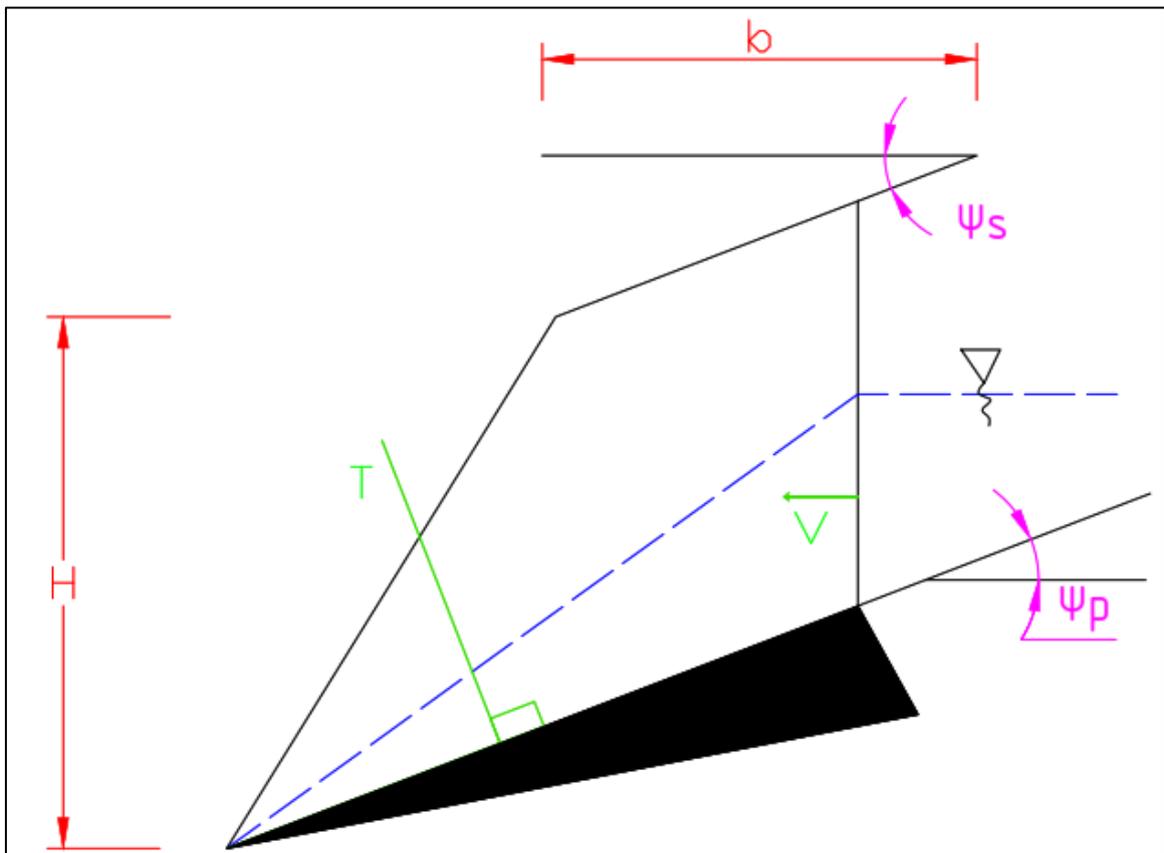
##### **Análisis de estabilidad:**

luego de ello también para determinar el nivel de estabilidad de un talud, primero hay que determinar el método de análisis de fallas planas, este método es muy conocido en el ámbito de la ingeniería como Hoek y Bray, este método consiste en que se deben realizar algunas aplicaciones de modelos y también de parámetros que sean geométricos y muchas veces geomecánicos que son deducidos, y en cuanto al modelo que se tuvo que era el de falla plana y que consistía en una grieta en la corona, este análisis estático que se realizó del bloque de la roca unitario al momento de deslizar por un plano inclinado, todo esto teniendo en cuenta una libertad cinemática, esto se puede llevar a cabo utilizando un estrato blando o en todo caso una fractura inclinada, para ello se considera que el talud posee una altura, también al momento de deslizar el volumen de cuerpo, todo ello con

repercusión hacia la parte externa, entonces se tiene que el peso de todo el cuerpo deslizando, sumado a ello las presiones hidrostáticas que se genera en la llamada grieta de extensiones, puesto que está comunicada con toda la superficie deslizando.

**Figura 36**

*Diseño de talud propuesto*



**Valores proyectados**

H: 18 m

$\psi_f$ : 80° (inclinación del talud).

$\psi_s$ : 15° (inclinación de la corona del talud).

$\Psi_p$ : 30° (inclinación del plano de falla).

b: 10 m (distancia de la grieta)

T: 0 (tensión de los pernos de anclaje).

c: 15000 (Cohesión).

$\phi$ : 43° (ángulo de fricción).

$\gamma_r$ : 224200 kg/m<sup>2</sup> (densidad de la roca).

**Profundidad de la grieta (z):**

$$Z = H + b \tan \Psi_s - (b + 1H \operatorname{ctg} \Psi_f) \operatorname{tg} \Psi_p$$

$$Z = 18 + 10 \tan 15^\circ - (10 + 18 \operatorname{ctg} 80^\circ) \operatorname{tg} 30^\circ$$

$$Z = 13.688358$$

**Peso del bloque**

$$W = \frac{1}{2} \gamma_r \cdot H^2 \left[ \frac{1 - \frac{Z^2}{H^2}}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_f} \right]$$

$$W = \frac{1}{2} (224200) \cdot (18)^2 \left[ \frac{1 - \frac{(13.688358)^2}{(18)^2}}{\tan 30^\circ} - \frac{1}{\tan 80^\circ} \right]$$

$$W = 36320400 \left[ \frac{1 - 0.578306}{0.509525} - \frac{1}{3.077683} \right]$$

$$W = 36320400 * (0.827821 - 0.324919)$$

$$W = 18265601.8008$$

### Área de desplazamiento

$$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}$$

$$A = \frac{18 - 13.688358}{\text{sen } 30^\circ}$$

$$A = 9.497218$$

Finalmente reemplazando los valores antes obtenidos, calculamos el factor de seguridad del talud.

$$FS = \frac{\{cA + [W (\cos \Psi p)] \text{tg} \emptyset\}}{[W (\text{sen } \Psi p)]}$$

$$FS = \frac{\{15000 * 9.497218 + [18265601.8008 (\cos 30^\circ)] \text{tg } 43^\circ\}}{[18265601.8008 (\text{sen } 30^\circ)]}$$

$$FS = \frac{\{15000 * 9.497218 + [18265601.8008 * 0.891006] * 0.081151\}}{[18265601.8008 * 0.453990]}$$

$$FS = \frac{\{142458.27 + 16274760.798123 * 0.081151\}}{8292400.561545}$$

$$FS = \frac{13180999.158177}{8292400.561545}$$

$$FS = 1.5$$

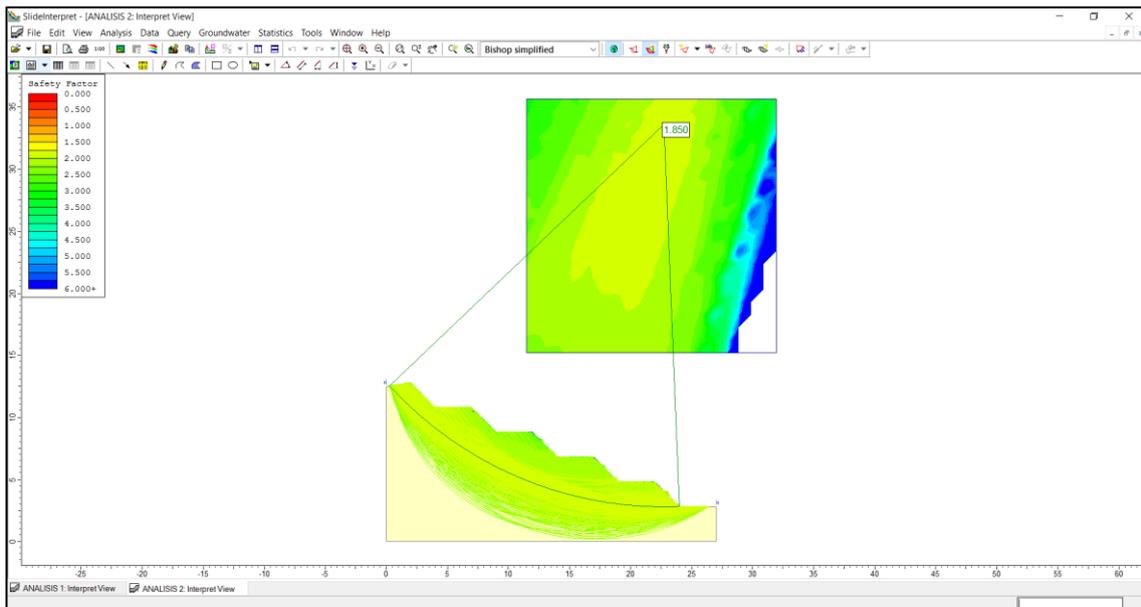
Por lo tanto, el diseño del talud proyectado es estable.

$FS < 1 \rightarrow$  **INESTABLE**  
 $FS > 1.1 \rightarrow$  **ESTABLE**

Corregir el factor de seguridad del talud diseñado en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.

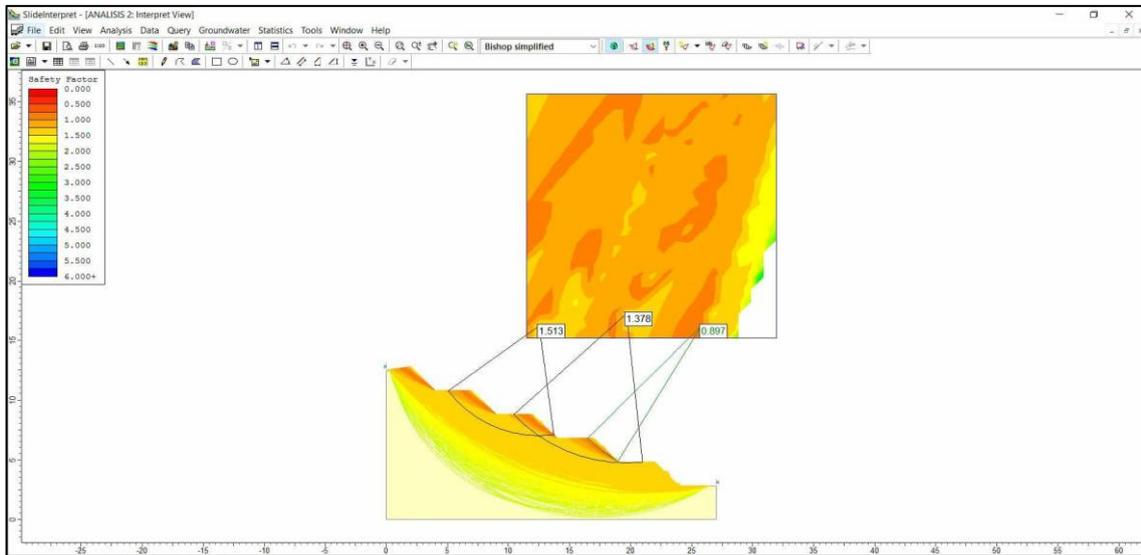
**Figura 37**

Factor de seguridad de la carretera en donde presenta roca caliza.



**Figura 38**

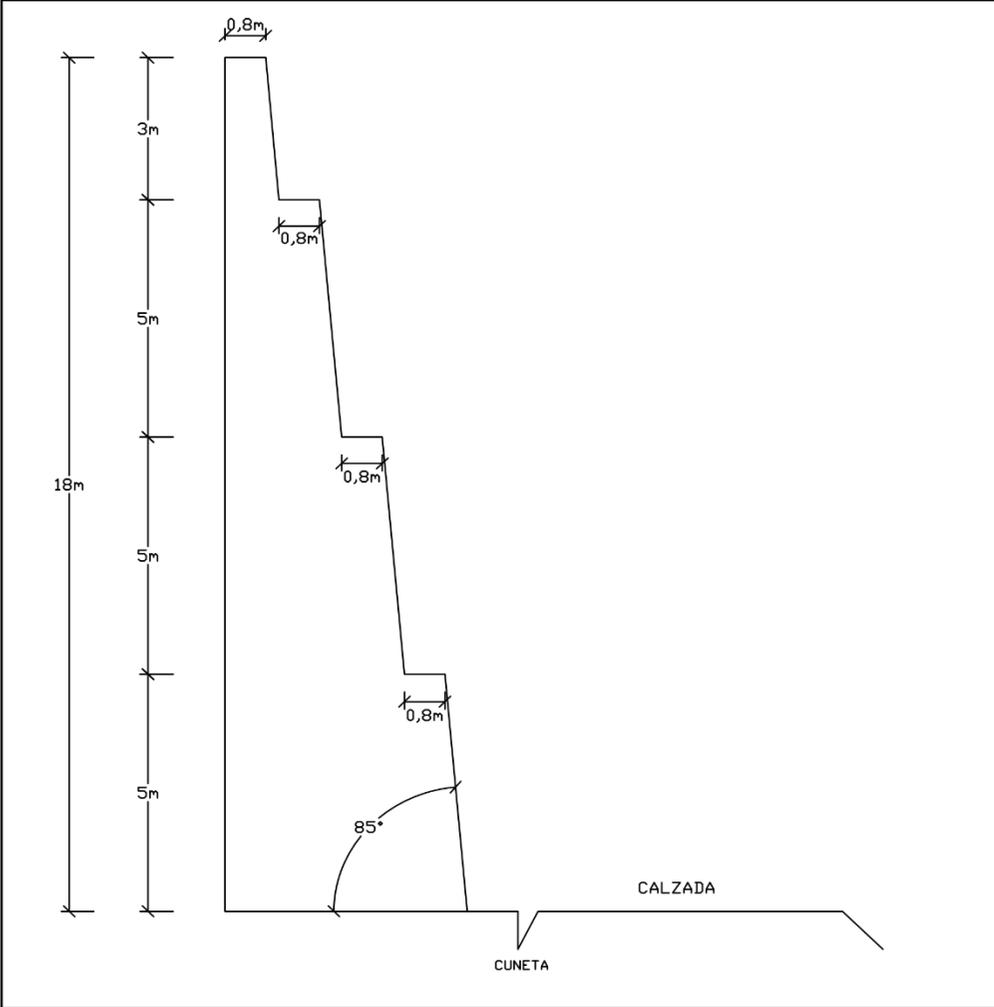
*Análisis del factor de seguridad de los depósitos*



Se tiene un factor de seguridad es 1.513.

**Figura 39**

Diseño de bancos.



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>		
	TESIS: "EVALUACIÓN Y CONTROL DE DESLIZAMIENTOS DE TALUDES ENTRE EL Km 59 AL Km 63 DE LA CARRETERA CAJAMARCA- CIUDAD DE DIOS"		
	<b>Piano:</b> <b>DISEÑO DE BANQUETAS EN TALUDES</b>		
	TESISIA: JHONY WILLIAM HUAMAN GRANDEZ	Escala: 1/125 Fecha: AGO.2021	N°: <b>P-01</b>
ASESOR: ING. MARCO WILDER HOYOS SAUCEDO	Ciudad: CAJAMARCA		

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

En esta investigación el objetivo principal fue determinar las causas que originan los deslizamientos de taludes y medidas de control en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, para lo cual se hizo uso de los instrumentos de recolección de datos, descritos para cada variable y se tuvo en cuenta la muestra planteada en la metodología de la investigación, luego se realizó el análisis y el procesamiento de los datos que se obtuvo, luego de acuerdo a ello describir los resultados encontrados y posteriormente se planteó un modelo de talud para la zona en donde se realizó el estudio.

1. Las causas que originan el deslizamiento de los taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, son las deformaciones existentes en la zona, en las fases de rotura se evidencia que debido a las grandes fallas que son en conjunto son las que provocan el socavamiento en el talud de la zona, luego de ello se presenta un fracturamiento marcado convirtiéndose en derrubio, provocando de esa manera una acumulación caótica de bloques de piedra al pie de la ladera, también tenemos que la clasificación del macizo rocoso según el RMR fue regular con un puntaje de 55, con el rockplane el factor de seguridad que se obtuvo fue de 0.89 y 0.90.
2. Las medidas de control para deslizamiento de taludes en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, de acuerdo con los datos arrojados en la investigación son los siguientes: Construir una buena cuneta en la plataforma, con entrega eficiente a las alcantarillas, también realizar corte de taludes 1:3 (V:H); con la finalidad de minimizar los desprendimientos del material conglomeradico o suelo residual y hacer el mantenimiento periódico de las cunetas, para evitar su colmatación.

3. El modelo de talud propuesto en el tramo km 59 al km 63 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios obedece a los siguientes parámetros: en la evaluación geométrica, se ha clasificado al macizo rocoso del talud, utilizando el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Rock Mass Rating – 1989); en la distribución de discontinuidades, el procesamiento de los datos de la orientación tanto del rumbo como el buzamiento de las diaclasas se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareales, por el método de Diagrama de polos, con el software Dips V6; y en el análisis de estabilidad, se determina por el Método de Análisis de Fallas Planas, el más conocido es de Hoek & Bray, que consiste en las aplicaciones de modelos y de parámetros geométricos y geomecánicos deducidos, para nuestro modelo de falla plana con grieta en la corona consiste el análisis estático de bloque de roca unitario que se desliza por un plano inclinado (con libertad cinemática) que puede ser un estrato blando o fractura inclinada.

## **5.2. Recomendaciones**

1. Para evitar la infiltración de las aguas de lluvia se recomienda el uso de sub-drenes en toda la extensión superior del talud. Para así contener la masa inestable, adicionalmente al drenaje de las obras propuestas, se recomienda la colocación de mallas de contención flexibles y gaviones, etc.
2. Realizar la construcción de cunetas en la plataforma, con entrega eficiente a las alcantarillas, también realizar corte de taludes 1:3 (V:H); con la finalidad de minimizar los desprendimientos del material conglomeradico o suelo residual y hacer el mantenimiento periódico de las cunetas, para evitar su colmatación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aristizabal E., Yokota S. (2006). "Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra." Revista de la Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Bravo, C. (2014). Evaluación de las Patologías de los Pavimentos Intertrabados de la Ciudad de Jaén, Cajamarca. *Tesis Profesional*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle>.

Cano, E. (2015). Mejoramiento del Jr. Lobo Caño desde Jr. Purús hasta Jr. Dolcì Franchini - Puerto Callao, Distrito de Yarinacocha - Coronel Portillo - Departamento de Ucayali. *Tesis Profesional*. Pucallpa, Perú: Universidad Alas Peruanas. Obtenido de <http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/830>

Cárdenas, H. (2014). Seguimiento a los Procesos Desarrollados de las Obras a Ejecutar en el Área de Vías, de la Secretaría de Vías, Infraestructura y Vivienda de la Alcaldía Municipal de Ocaña. *Tesis Profesional*. Santander, Colombia: Universidad Francisco de Paula. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bit>.

Cruden, K. (1991) Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento, Editorial Mc Graw.

González de Vallejo, L. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid-España. Editorial Pearson Educación S. A.

Gravusob B., 2002. Lithology. Genetic Types And Lithological Species Of Parent And Underlying Rocks. In: Stolbovoi V Savin I Sheremet B & Kolesnikova L 2002.

Land Resources Of Russia. International Institute For Applied Systems Analysis  
A-2361, Laxenburg, Austria.

Goodman, R.E. 1980. Introduction to Rock Mechanics (Chapter 8), Toronto: John  
Wiley, pp 254-287.

Hernández, R. (2006). Metodología de la Investigación. 5, 257-300. México :  
Interamericana Editores. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de  
<https://www.esup.edu.pe>.

Hoek, E. & Bray, J.W. (1981): "Rock Slope Engineering". Revised 3<sup>rd</sup> edition.  
Institution of Mining And Metallurgy. Spon Press. Londres.

Hunter, J.H. & Schuster, R.L. (1968). "Stability of Simple Cuttings in Normally  
Consolidated Clays". Geotechnique, Vol. 13, 372 – 378.

Lucano, L., & Rojas, E. (2013). Proyecto de Construcción de las Calles con  
Pavimentación y Veredas del Casco Urbano de Uquira, Distrito de Coayllo -  
Cañete. *Tesis Profesional*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Integración  
Global. Obtenido de <https://es.slideshare.net>.

Llamas, J. Hidrología General Principios y Aplicaciones. (México: Universidad  
Autónoma de México, C, D. 1989).

Morales, L. (2015). Mejoramiento de Vía Urbana en el Centro Poblado Andrés  
Araujo Moran, Distrito Tumbes. *Tesis Profesional*. Perú: Universidad Alas  
Peruanas. Obtenido de <http://www.academia.edu/19479951>.

Rolón, R. (2014). Diseño Geométrico de Vías Urbanas. *Tesis Profesional*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional La Plata. Obtenido de <http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wpcontent/uploads/2011/12/Tesis>.

Sitter De L. U. (1976) Cuarta Edición. Geología Estructural. Ediciones Omega, S. A, Barcelona, 1976.

Tabares, R. (2012). Diagnóstico de Vía Existente y Diseño del Pavimento Flexible de la Vía Nueva Mediante Parámetros Obtenidos del Estudio en Fase I de la Vía Acceso al Barrio Ciudadela del Café – Vía La Badea. *Tesis Profesional*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co>

Toroverero, F. (2014). Evaluación Geotécnica de Los Taludes de la Carretera Cruz Blanca- El Gavilán. *Tesis Profesional para Optar el Grado de Ingeniero Geólogo*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe>.

Toro, (2014). su tesis titulada “*Evaluación de la inestabilidad de taludes en la carretera las Pirias - Cruce Lambayeque, San Ignacio*”, a la Universidad Nacional de Cajamarca.