

Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería Vial

**Evaluación del riesgo por desprendimientos  
de rocas en carreteras estudiando parámetros  
Geotécnicos y Viales**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Autor  
Torres Hoyer, Roberto José  
Tutor  
Bongiorno Ponzó, Francisco

Mérida, Abril de 2.015

C.C.Reconocimiento

Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería Vial

**Evaluación del riesgo por desprendimientos  
de rocas en carreteras estudiando parámetros  
Geotécnicos y Viales**

www.bdigital.ula.ve

Trabajo especial de grado para optar al grado de

Magister Scientiae en Ingeniería Vial

Autor

Torres Hoyer, Roberto José

Tutor

Bongiorno Ponzio, Francisco

Mérida, Abril de 2.015

C.C.Reconocimiento

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo Poderoso y a la Santísima Virgen María en su Advocación del Perpetuo Socorro, por permitirme culminar una etapa de mi vida profesional.

A la Ilustre Universidad de Los Andes por aceptarme de nuevo y brindarme los conocimientos para ser mejor profesional, nuestra casa: “La casa que vence las sombras”, y juntos libraremos batallas para seguir ganando.

A mis Padres María Theresa y Tobías, fuente total de mi inspiración y aliento, apoyo moral y espiritual en mis momentos fáciles y difíciles.

Mi princesita Roma Angelli Vanessa, mi Ángel de Amor y Fantasía, no encuentro palabras para describir la alegría que me brindas con cada sonrisa, ¡Te Amo!

Jesús y María Eugenia, apoyo incondicional y necesario, entre los tres logramos cosas increíbles, sigamos así.

Mi Chucalín, por formar parte de esta aventura llamada, Vida.

Dr. Francisco Bongiorno, eje fundamental de esta investigación y sin su apoyo e iniciativa, la investigación no se hubiera podido culminar.

Don Oswaldo, por encontrar las palabras justas de motivación, en el momento indicado para continuar con la investigación.

A los Profesores, Rubén Caldera, Norly Belandria, Emilio Moreno, Franklin Dávila, fuentes fundamentales de inspiración, que ayudaron a forjar los conocimientos que hoy en día formarán parte de mi vida profesional.

Al CDCHTA por realizar el apoyo económico para financiar la presente investigación, de acuerdo al código: I-1423-15-02-EM

## ÍNDICE GENERAL

	PP
Agradecimientos	iii
Índice General	iv
Índice de Figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	1
CAPITULOS	
I Planteamiento del Problema	4
Objetivos de la Investigación	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Alcances	6
Limitaciones	6
Justificación del Problema	7
II Marco Teórico	9
Antecedentes	9
Antecedentes Históricos	9
Antecedentes Investigativos	11
Bases Teóricas	12
Definición de términos	12
Fundamentos Teóricos	15
Metodología de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep	

Caba Muntana	15
Altura del talud	15
Efectividad de la cuneta de intercepción	16
Riesgo medio por vehículo	16
Distancia de Visibilidad	17
Ancho de calzada	18
Características geológica	18
Caso I	18
Condición estructural	19
Fricción o rugosidad	19
Caso II	19
Condición Estructural	19
Diferencia de los grados de erosión	20
Tamaño del bloque o volumen de material desprendido	20
Condiciones climáticas y presencia de agua	21
Historia de desprendimientos	21
Análisis de riesgo de desprendimiento en carreteras	22
Relación de la estabilidad de taludes con la caracterización de macizos	
rocosos	23
Identificación de modos de inestabilidad del talud	24
Rotura plana	24
Rotura en cuña	26
Rotura por vuelco de estratos	27
Rotura curva	28
Análisis cinemático	29
Círculo de fricción	31
Factores condicionantes y desencadenantes de movimientos	32

Factores naturales	33
Factores antrópicos	34
Tipología y peligrosidad de los movimientos	34
Clasificación Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski	35
Clasificación Geological Strength Index (GSI) de Hoek y Brown	40
Clasificación Slope Mass Rating (SMR) de Romana	41
Riesgo, Vulnerabilidad y Amenaza	43
Parámetros Viales	43
Variables Estadísticas	45
Distribución de Poisson	45
Probabilidad de Eventos Independientes	45
III Metodología	47
Tipo de diseño de la investigación	48
Metodología de Luis Fonseca y Otros	49
Metodología Experimental	53
Identificación de los Taludes de la zona	55
Zonificación y descripción de los taludes	56
Datos y ensayos de campo para la clasificación de los taludes	58
Clasificación de Bieniawski (RMR)	58
Medición de los parámetros para el análisis de estabilidad cinemática	60
Metodología propuesta para verificar el Riesgo por desprendimiento de rocas	62
IV Resultados	65
Conteo de Vehículos	65
Generalidades de los taludes en estudio	66

Talud 1	66
Talud 2	67
Talud 3	68
Análisis de riesgo por talud	68
Método de Luis Fonseca y Otros (2010)	69
Método de Luis Fonseca y Otros (2010) Talud 1	69
Método de Luis Fonseca y Otros (2010) Talud 2	70
Método de Luis Fonseca y Otros (2010) Talud 3	71
Clasificación del Macizo Rocoso	73
RMR del Talud 1	74
GSI del Talud 1	76
SMR del talud 1	76
RMR del Talud2	77
GSI del Talud 2	78
SMR del talud 2	79
RMR del Talud3	80
GSI del Talud 3	81
SMR del talud 3	82
Análisis Cinemático	82
Talud 1	82
Rotura plana	84
Rotura en cuña	85
Rotura por vuelco	85
Talud 2	86
Rotura plana	86
Rotura en cuña	87
Talud 3	89

Rotura plana	89
Rotura en cuña	90
V Análisis de los resultados	92
Análisis de Riesgo por la metodología de Luis Fonseca y Otros (2010)	92
Altura máxima del talud	92
Cuneta de intercepción	92
Riesgo medio por vehículos	93
Distancia de Visibilidad	93
Características geológicas	96
Condiciones climáticas	97
Análisis estadístico	97
Conclusiones	103
Recomendaciones	107
Referencias	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

	P.P.
Figura 2. 1 Tipos de rotura plana	25
Figura 2. 2 Condiciones para la rotura plana	26
Figura 2. 3 Condiciones para rotura en cuña	26
Figura 2. 4 Taludes con estructura favorable al vuelco de estratos	27
Figura 2. 5 Esquema de rotura curva en macizos rocosos intensamente fracturados	28
Figura 2. 6 Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para algunos tipos de roturas en macizos rocosos	29
Figura 2. 7 Rotura en cuña a lo largo de la línea de intersección	31
Figura 2. 8 Rotura en cuña a lo largo del plano A	31
Figura 2. 9 Escala descriptiva de observación para determinar la rugosidad	38
Figura 2.10 Geological Strenth Index	41
Figura 3.1 Metodologías a Implementar	49
Figura 3. 2 Mediciones de vehículos por tipo y sentido	54
Figura 3. 3 Mapa de ubicación de los Taludes en estudio	55
Figura 3. 4 Zonificación realizada al Talud 1	57
Figura 4. 1 Frecuencia de vehículos acumulados durante el periodo medido Martes desde las 6 am hasta las 9 pm continuo sin eventualidades, donde se puede apreciar los picos y los valles en el tránsito de los mismos	65
Figura 4. 2 Frecuencia de vehículos acumulados durante el periodo medido miercoles desde las 6 am hasta las 9 pm continuo sin eventualidades, donde	

se puede apreciar los picos y los valles en el tránsito de los mismos	66
Figura 4. 3 Mediciones del macizo rocoso presente en el talud 1	67
Figura 4. 4 Afloramiento rocoso presente en el talud 2	68
Figura 4. 5 Macizo rocoso presente en el talud 3	68
Figura 4.6 Representación del metodo de Luis Fonseca y Otros	73
Figura 4. 7 Zonificación realizada al talud 1	74
Figura 4. 8 Zonificación del talud número 2 en función del análisis del RMR	77
Figura 4. 9 Zonificación del talud 3 para el cálculo del RMR	81
Figura 4. 10 Proyección estereográfica y análisis de rotura plana talud 1	84
Figura 4. 11 Proyección estereográfica y análisis de rotura en cuña talud 1	85
Figura 4. 12 Proyección estereográfica y análisis por vuelco del talud 1	86
Figura 4. 13 Representación estereográfica y análisis de falla plana en el talud 2	88
Figura 4. 14 Representación estereográfica y análisis de falla por cuña en el talud 2	88
Figura 4. 15 Análisis cinemático para la rotura plana del talud 3	90
Figura 4. 16 Análisis cinemático para la rotura por cuña del talud 3	91
Figura 5.1 Esquema para el calculo de la distancia de visibilidad	96
Figura 5.2 Mapa que representa el riesgo con RMR básico	98
Figura 5.3 Mapa que representa el riesgo con RMR	99
Figura 5.4 Mapa que representa el riesgo con GSI	100
Figura 5.5 Mapa que representa el riesgo con SMR	101

Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería Vial

**Evaluación del riesgo por desprendimientos  
de rocas en carreteras estudiando parámetros  
Geotécnicos y Viales**

Autor: Torres Hoyer, Roberto José  
Tutor: Bongiorno Ponzó, Francisco  
Abril, 2015

**RESUMEN**

La seguridad vial es uno de los parámetros que más se han desarrollado en los últimos tiempos, y verificar la seguridad del usuario se convierte en uno de los objetivos de los Ingenieros en Vías. Existe un conjunto de metodologías que permiten analizar la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo tanto en las vías como en los vehículos, es por esto que la presente investigación se plantea el objetivo de evaluar el riesgo por desprendimientos de rocas en carreteras estudiando parámetros geotécnicos y viales, por medio del análisis de la metodología de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada (2010), verificando los criterios de riesgo y vulnerabilidad en conjunto al análisis estadístico de la vulnerabilidad de los vehículos y en el análisis de estabilidad cinemática de los taludes y su respectiva clasificación del macizo rocoso. Existen parámetros que son utilizados para la evaluación del riesgo y peligrosidad, que perfectamente se evalúan de diferente manera y se verifican con métodos convencionales tales como la calidad del macizo rocoso, estabilidad cinemática, y verificables con parámetros estadísticos. Con ello se corroboró y analizó cada uno de los parámetros utilizados generando alternativas de soluciones para la interpretación correcta del riesgo que puede representar el desprendimiento de rocas en taludes, con respecto a vehículos que transitan en una vía en específico, dándole a los organismos encargados de solucionar los problemas presentes en las vías, alternativas para la evaluación de los riesgos presentes y tomar los correctivos necesarios e idóneos.

*Palabras claves: Riesgo, Vulnerabilidad, Amenaza, Talud, Geotecnia, Macizo Rcoso.*

Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería Vial

**Risk by landslides  
Rock's by road studying parameters  
Geotechnical and Roads**

Author: Torres Hoyer, Roberto José  
Tutor: Bongiorno Ponzó, Francisco  
Abril, 2015

**ABSTRACT**

Road safety is one of the parameters which have been developed in recent times, and verify user security becomes one of the objectives of Engineers routes. There is a set of methodologies to analyze vulnerability, threat and risk both roads and vehicles, is why this research aimed at evaluating the risk for rockfalls on roads and road geotechnical parameters studied through analysis methodology is proposed Roberto Luis Fonseca, Carles Raimat Quintana y Josep Caba Muntada (2010), verifying the criteria of risk and vulnerability together the statistical analysis of the vulnerability of vehicles and kinematic analysis of slope stability and their relative rankings of the rock mass. There are parameters that are used for risk assessment and hazard, which perfectly differently evaluated and verified by conventional methods such as the quality of the rock mass, kinematic stability, and verifiable statistical parameters. This was corroborated and analyzed each of the parameters used to generate alternative solutions to the correct interpretation of risk that can represent the rockslide on slopes with respect to vehicles traveling on a road in specific, giving the agencies solve the problems in the tracks, alternative for assessing the risks involved and take necessary and appropriate corrective.

**Keywords** : *Risk, Vulnerability, Hazard, Slope, Geotechnical, Rock Mass.*

## INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una carretera y debe considerar elementos como la litología, calidad del macizo rocoso, características del suelo y aspectos geomorfológicos para satisfacer al máximo la funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad que forman parte integral un proyecto vial.

La funcionalidad vendrá determinada por el tipo de vía a proyectar y sus características, así como por el volumen y propiedades del tránsito, permitiendo una adecuada movilidad por el territorio a los usuarios y mercancías, con suficiente velocidad de operación, garantizando un aprovechamiento al máximo de la misma.

La comodidad de los usuarios debe incrementarse en consonancia con la mejora de la calidad de vía, disminuyendo las aceleraciones y especialmente, las variaciones que reducen la comodidad de los ocupantes. Todo ello ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los alineamientos.

La integración en su entorno debe procurar minimizar los impactos ambientales, teniendo en cuenta el uso y valores de los suelos afectados, siendo básica la mayor adaptación física posible a la topografía existente.

La armonía o estética de la obra resultante tiene dos posibles puntos de vista: el exterior o estático, relacionado con la adaptación paisajística; y el interior o dinámico, vinculado con la comodidad visual del conductor ante las perspectivas cambiantes y pueden llegar a provocar fatiga o distracción, motivo de peligrosidad. Hay que

obtener un diseño geométrico conjunto que ofrezca al conductor un recorrido fácil y agradable, exento de sorpresas y desorientaciones.

La seguridad vial debe ser la premisa básica en cualquier diseño vial, inspirando todas las fases del mismo, hasta los mínimos detalles, reflejado principalmente en la simplicidad y uniformidad de los diseños así como en el confort de los usuarios, una vez construida y evaluada la vialidad.

Existen estructuras geológicas que son consideradas factores que de alguna u otra manera generan inestabilidad sobre laderas y taludes trayendo consigo consecuencias graves en las infraestructuras civiles, entre ellas las vías.

Para verificar como un talud o ladera pueden afectar la vía, existe un conjunto de clasificaciones de macizos rocosos como el propuesto por Bienawski (1979)[13], *Rock Mass Rating* (RMR), el planteamiento de Romana (1997)[60] denominado *Slope Mass Rating* (SMR) y el de Barton (2011)[9] conocido como Índice Q, las cuales dan una visión cualitativa de los taludes macizos rocosos que, en conjunto a los tipo de roturas, pueden analizar la ocurrencia de derrumbes o deslizamientos de masas, que pueden afectar estructuras civiles presentes en los sectores aledaños, los cuales son vulnerables ante la posibilidad de deslizamientos llevando consigo un riesgo latente, además de generar inseguridad de los conductores cuando transitan por el lugar.

Por ende, es fundamental realizar estudios de amenazas viales, la cual consiste en la posibilidad de ocurrencia de cualquier tipo de evento (derrumbes o deslizamientos) que puede producir un daño sobre los elementos, en este caso a la vía o peor aún a los ocupantes de un vehículo. La vulnerabilidad son las condiciones y características del sistema (vía o vehículo), el cual es susceptible a amenazas, u ocurrencias de eventos por medio del cual se tendría como resultado la posibilidad de sufrir algún daño. En otras palabras, es la capacidad y posibilidad de un sistema de responder o reaccionar a una amenaza o de recuperarse de un daño. Aunado a la combinación de la

probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas que lo componen, son la amenaza y la vulnerabilidad definiendo con esto al riesgo, por lo que se plantea verificar la metodología propuesta por Roberto Luis Fonseca, Carles Raimat Quintana y Josep Caba Muntada (2010)[31], en el análisis de riesgo vehicular por caídas de bloques en carretera, en caso específico de la carretera Rafael Caldera que comunica la ciudad de Mérida con El Vigía.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPÍTULO I

## Planteamiento del Problema

La corteza terrestre se ve afectada por agentes geológicos internos y externos que modifican y controlan en gran medida su comportamiento. Estas estructuras son consideradas factores que condicionan la estabilidad de taludes y laderas, por lo que su estudio es fundamental para evitar consecuencias serias para las obras de infraestructura.

Las vías de comunicación son vulnerables a los diferentes deslizamientos que pudieran ocurrir a lo largo de su historia, sin embargo es de igual relevancia los posibles siniestros de vehículos, estos parámetros son los de mayor interés en los últimos tiempos para el diseño y mantenimiento de la vialidad.

En base a esto, los estudios geotécnicos conforman un nuevo paradigma en la seguridad vial, puesto que permiten prevenir, mitigar o corregir movimientos de masa que afecten las vías de comunicación.

Cuando la vía se encuentra operativa, la ocurrencia de un deslizamiento pudiera afectar a los vehículos y sus ocupantes, por lo que las vías son vulnerables a todos estos efectos de peligrosidad o amenaza, por ende, cuantificar el riesgo es fundamental, considerando principalmente la funcionabilidad, economía y seguridad.

Los Ingenieros Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada (2010)[31], desarrollaron una metodología para el estudio de la evaluación de riesgos potenciales de desprendimientos de rocas, con una identificación directa de los peligros potenciales; esta investigación plantea verificar la metodología utilizada por Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada (2010)[31] a través de métodos estadísticos, en un caso aplicado en la carretera Rafael Caldera que

comunica la Ciudad de Mérida con El Vigía del Estado Mérida, aplicando varianza de los elementos que definen la estabilidad de los taludes, en combinación a la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento mientras transita un vehículo en la vía.

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo general**

Evaluar el riesgo por desprendimientos de rocas en carreteras propuesto por Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada por medio del estudio de parámetros Geotécnicos y Viales.

### *Objetivos específicos*

- Identificar la calidad de los macizos rocosos relacionándolos con su estabilidad cinemática para el análisis de los taludes en la carretera Rafael Caldera, generando así una evaluación de seguridad vial.
- Aplicar el Método de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada para la verificación de la efectividad del análisis del riesgo vial.
- Consolidar metodologías referentes a la clasificación de los sistemas de macizos rocosos verificando su utilidad y analizando su efectividad en campo.
- Verificar los procedimientos de análisis geotécnicos presentes para el diseño de infraestructuras viales, garantizando la seguridad de los usuarios.
- Analizar el riesgo vial sobre los vehículos en función de amenazas de carácter geotécnico en taludes de rocas y vulnerabilidad de los vehículos por métodos estadísticos, comparándolo con el Método de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada.

### *Alcances.*

Los estudios integrales para carreteras deben suministrar datos suficientes del subsuelo que permitan definir las propiedades geotécnicas más importantes de los materiales y señalar las unidades geomorfológicas. Para ello, se tiene que llevar a cabo una investigación sistemática de los terrenos del trazado de la vía; junto con un estudio, más detallado, de los puntos en los que sea previsible la aparición de algún problema particular. Se deben realizar estudios en taludes de rocas, es por ello que se realiza un estudio integrado de la Metodología propuesta por Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada (2010) [31], en el análisis del riesgo por desprendimientos de roca en taludes, verificando su efectividad por medio de otras metodologías experimentales y evaluando cada uno de los parámetros presentes en el análisis corroborando sus fortalezas y debilidades.

### *Limitaciones.*

Los deslizamientos son movimientos que se producen al superarse la resistencia al esfuerzo cortante de un material a lo largo de una superficie de debilidad o a través de una franja estrecha de material menos resistente que el resto. Los deslizamientos en laderas constituyen un accidente habitual de la corteza terrestre, generalmente están asociados a lluvias intensas y se producen en laderas que poseen características favorables para su desarrollo. Adicionalmente se deben considerar otros elementos relacionados, como la deforestación, las aguas subterráneas, entre otros. La investigación de una ladera o talud, consiste en obtener toda la información posible sobre las características geológicas y geotécnicas que permitan realizar un diagnóstico de los problemas, con el mayor grado de precisión, y un diseño efectivo de solución, tomando en consideración la topografía de la zona. El propósito de la investigación es conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad, en conjunto con la verificación del método de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada, aplicado en taludes de rocas.

Se debe considerar que las campañas de mediciones son complejas por lo que las mediciones de los vehículos se hicieron solo de día por lo que se considerando que el mayor flujo de vehículos ocurre en horas del día, evitando problemas relacionados con la seguridad del personal en horas de la noche.

Los datos de las propiedades geomecánicas de las rocas fueron tomados del trabajo realizado por Sanchez y Torres, (2012)[64].

Los valores del RQD (*Rock Quality Designation*) se realizaron por el método analítico.

Los taludes se midieron de manera representativa debido a lo imbricado de la topografía.

#### *Justificación del problema.*

Las vías de comunicación en general, deben salvar diferentes estructuras geológicas presentes, por ende, se determina la influencia que las mismas tienen sobre la vía y por ello se cita a Radelat, G., (2003)[56] en donde define a la Ingeniería de Tránsito como:

“Rama de la Ingeniería cuyo objetivo es el movimiento seguro y eficiente de peatones y vehículos por vías terrestres”.

Por ende se justifica como objetivo de la Ingeniería de Tránsito al movimiento de peatones y vehículos, pero de manera segura, que es un punto importante y fundamental, es por ello que se plantea las siguientes interrogantes:

¿Cuál es la susceptibilidad de los taludes a deslizarse?

¿Cuáles son los criterios básicos para el diseño de los taludes?

De ser cierto que existe un riesgo de derrumbes sobre vías ¿podrían ocurrir derrumbes en el momento del paso de un vehículo e impactarlo?

¿Qué parámetros se necesitan para considerar la seguridad de una vía?

Las vías de comunicación ¿son realmente vulnerables?

¿Existen maneras para evaluar un riesgo de derrumbes y que esto afecte la vida de los usuarios?

Al plantearse estas incógnitas, existe una gran dificultad para realizar las diferentes clasificaciones de los macizos rocosos y dados los mismos ¿cuál es la más idónea? Se sabe que el riesgo es un factor que se toma en consideración, pero se ha tomado siempre con respecto a la viabilidad en sí, pero, si ocurre un evento de deslizamiento al momento de transitar un vehículo, por ende se planteó este estudio por medio del análisis de la metodología de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada, verificando los criterios de riesgo y vulnerabilidad en conjunto con la amenaza en el análisis de estabilidad cinemática de los taludes.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPÍTULO II

### Marco teórico

#### Antecedentes

Se revisaron un conjunto de estudios sobre la Carretera Rafael Caldera, referentes a los procesos geológicos presentes en el sector, que conllevan a coexistir la inestabilidad de los taludes y el tránsito vehicular por la misma, junto con temática general de estabilidad, los cuales dan una visión completa de la problemática existente. De acuerdo a la cronología se tiene que:

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

#### *Antecedentes Históricos:*

**[44] Kanji, M., (2012)**, realiza un estudio sobre las Rocas Blandas- Problemas y soluciones en obras de ingeniería, describe que “la presencia de rocas blandas en el interior de un macizo puede comprometer su estabilidad”. Punto importante sobre el estudio, ya que los taludes, en su gran mayoría, están conformados por rocas sedimentarias de carácter clástico con resistencias relativamente bajas, permitiendo el análisis de acuerdo a la litología.

**[45] Laporte, G. (2012)**, en su trabajo de investigación titulado “Limitaciones de los sistemas de clasificación aplicados a macizos constituidos por rocas suaves volcanoclásticas y sedimentarias clásticas”, enfatiza que los métodos como el RMR o el método Q se desarrollaron para medios discontinuos, de modo que, es importante considerar el medio geológico en que se realizan los estudios, ya que tratándose de medios continuos (conglomerados, brechas, coluviones, lahars, etc.), la aplicación de

estos métodos presenta importantes limitaciones, busca métodos para sustituir sus deficiencias.

**[64] Sánchez y Torres (2012)** realizaron la caracterización geomecánica de los taludes a lo largo del mencionado eje vial a fin de conocer la calidad de los macizos rocosos. Se utilizaron los sistemas de clasificación RMR de Bieniawski y Q de Barton; también se evaluaron los factores condicionantes y desencadenantes que afectan los macizos y sus condiciones de estabilidad.

**[15] Bongiorno y otros (2011)**, en el artículo “Estudio geomorfológico aplicado a la susceptibilidad de terrenos en la cuenca alta del Río Albarregas, para la gestión de riesgo en el área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida”, evaluó los datos geotécnicos del material rocoso, determinando los rangos de pendientes para relacionarlos con los movimientos en masa en la cuenca alta del Río, de tal manera obtuvieron un mapa de susceptibilidad ante movimientos de masa a escala 1:25.000.

**[61] Romero, M., Torres R. y Villarreal, A. (2011)**; realizaron una evaluación geotécnica de los taludes ubicados en la carretera trasandina, sector La Mitisus, estado Mérida, analizando geotécnicamente los taludes rocosos ubicados en el sector La Mitisus y sus adyacencias, en donde se resalta la influencia de la Falla de Boconó en la zona, revisando los parámetros utilizados por Romana para su sistema de clasificación del macizo rocoso.

**[30] Elberg y otros, (2011)**, en su investigación de análisis numérico de las discontinuidades del macizo rocoso de la Autopista Rafael Caldera en Venezuela, manifiestan que “la zona de estudio corresponde a taludes ubicados en una de las principales arterias viales de Venezuela, y el impacto económico-ambiental en caso de colapso es importante y por ende este sector debe ser altamente controlado”.

**[16] Bongiorno y otros (2010)** en el artículo Caracterización geológica – geotécnica de las unidades litodémicas aflorantes en la Quebrada El Topo, complejo de la costa, autopista Caracas- La Güaira, Venezuela, estableció un diagnóstico geológico – geotécnico de los macizos rocosos en el Complejo de la Costa, autopista Caracas – La Güaira, Venezuela, y en base a los resultados obtenidos, se elaboró un mapa de

susceptibilidad ante movimiento en masa, reflejando la factibilidad para la realización de desarrollos urbanísticos, importante para determinar los parámetros de riesgo y vulnerabilidad presentes en el sector.

*Antecedentes Investigativos:*

[47] **Marcuzzi, J. y Cerusico L., en el 2009**, proponen una metodología para la Caracterización Geotécnica de los Taludes Rocosos del Camino de Acceso al Cerro San Bernardo, Ciudad de Salta, Argentina, donde exponen que los problemas de deslizamientos de rocas y otros fenómenos asociados en el camino de acceso, constituyen un problema cíclico coligado entre la geología y las condiciones climáticas de la estación lluviosa.

[67] **Torres, J; Torres, R y Monsalve, M, en el 2009**, manifiestan en su estudio de Análisis de Estabilidad de Taludes de la Autopista San Cristóbal – La Fría: Subtramo San Juan de Colón – San Félix. Estado Táchira, que “ la intercalación de areniscas, limolitas y lutitas; la composición mineralógica y fisibilidad de las lutitas; el grado de fracturamiento del macizo y la baja resistencia de esas litologías son los factores intrínsecos que, en mayor grado influyen en la estabilidad de los macizos”.

[23] **Chávez, M. (2005)**, en su trabajo titulado la Geomecánica aplicada a la pequeña minería, enfatiza que “el caso más desfavorable para la estabilidad de los taludes en medios discontinuos puede darse cuando, además de tenerse tres familias de fracturas se tiene estratificación”.

[32] **García, A., en el 2005**, en su trabajo de Inestabilidad de Laderas: Mapas de Amenazas, manifiesta que entre las amenazas geológicas más resaltantes se encuentran la sismicidad, el volcanismo y la inestabilidad de laderas.

[25] **Copons, R. (2003)** en su trabajo denominado Los Desprendimientos, introduce los conceptos que definen los desprendimientos y los procedimientos que permiten identificar las zonas expuestas al peligro en Solà d'Andorra la Vella (Principado d'Andorra), se identificaron aquellas zonas expuestas al peligro, tanto en redes viarias

como en zonas urbanas. Para introducir estos conceptos y procedimientos, la actividad se realizó *in situ*, sobre el terreno, en una zona altamente expuesta al peligro de desprendimientos.

A continuación se presentan una serie de conceptos básicos que permiten unificar criterios y ayudar a la comprensión de los parámetros viales y geotécnicos, con la finalidad de interrelacionar con los elementos prácticos asociados a esta investigación.

### **Bases Teóricas**

*Definición de términos básicos:*

Definiciones tomadas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú (2013)[49]

*Amenaza:* Hecho que puede producir un daño provocado por un evento natural o no.

*Ancho de calzada:* corresponde a la distancia transversal de la vía que incluye ambos sentidos.

*Berma:* Es un espacio llano, cornisa, o barrera elevada destinada a separar dos zonas o elementos estructurales definidos, que para efectos de Luis Fonseca es considerado como *cuneta de intercepción*.

*Capacidad Vial:* Es el máximo número de vehículos que pueden transitar por un punto o tramo uniforme en un vía en ambos sentidos, en un periodo de tiempo determinado.

*Carril:* Subdivisión o banda de la calzada que permite la circulación de una fila de vehículos, generalmente delimitada por líneas de marcas viales o balizas.

*Carril de vehículos lentos:* Carril situado a la derecha del o de los carriles principales para la circulación de vehículos lentos y/o pesados, con objeto de mejorar las condiciones de capacidad de la carretera generalmente en rampas y zonas urbanas.

*Carril de proyecto:* Carril de la calzada para el que se dimensiona el firme, el cual soporta las mayores cargas de tráfico, es decir, para el que se prevé un mayor tráfico de proyecto.

*Coefficiente de equivalencia:* Número de ejes tipo a que equivale un conjunto de ejes de un vehículo cualquiera, a efectos de dimensionamiento de la estructura del firme.

*Cuneta:* Sistema de drenaje diseñado para canalizar las aguas de escorrentía superficial (Ver Berma).

*Distancia de visibilidad:* es la distancia visible al frente del conductor para que este pueda tomar decisiones oportunas y maniobrar con total garantía y seguridad.

*Drenaje:* Conjunto de dispositivos destinados a permitir la evacuación fuera de la carretera de las aguas profundas e infiltradas.

*Factor hora pico:* es el volumen máximo de vehículos medidos en un período de 15 minutos proyectado a una hora.

*Hombrillo:* Franja longitudinal afirmada contigua a la calzada, no destinada al uso por vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales.

*Intensidad de tráfico:* Número de vehículos que pasan por una sección transversal dada de una vía o carretera o carril en la unidad de tiempo.

*Ladera:* Declive lateral de una montaña, cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal de sin que haya sido modificado antrópicamente.

*Pavimento:* Parte superior de un firme, que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación, proporcionando a ésta una superficie de rodadura cómoda y segura.

*Período de proyecto:* Período de tiempo durante el cual se estima permanecerá la estructura del firme en estado de servicio.

*Promedio de tráfico diario:* como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

*Proyecto:* Conjunto de documentos que reúne todos los datos necesarios para construir una obra.

*Riesgo:* Es el grado de vulnerabilidad ante un potencial perjuicio o daño (amenaza) para las unidades, personas, organizaciones o entidades.

*Sección a media ladera:* Aquella en que parte del plano de explanada corta al terreno natural.

*Subbase:* Capa del firme situada inmediatamente bajo la base y por encima del plano de explanada. Puede no existir o estar compuesta de varias capas.

*Talud:* Superficie de terreno que presenta inclinación con respecto a la horizontal, conformado de suelo o rocas, construido artificialmente.

*Terraplén:* Relleno formado por extensión y compactación de suelos por encima del terreno natural con el que se constituye el cimiento del firme. Está constituido por el núcleo del terraplén y por las capas de asiento.

*Tráfico de proyecto:* Es el número acumulado de ejes equivalentes de 13 t en el carril de proyecto y durante el período de proyecto.

*Tramo:* Longitud de vía o carretera entre dos secciones transversales de su trazado.

*Tramo llano:* Toda combinación de pendientes y alineaciones, tanto horizontales como verticales, que permite a los vehículos pesados mantener al menos una velocidad media de 80 km/h o aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros; estos tramos incluyen en general pequeñas rampas no superiores al 1 ó 2 %.

*Tramo montañoso:* Toda combinación de pendientes y trazado, tanto horizontal como vertical, que obliga a los conductores de vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en rampa a lo largo de distancias considerables o a intervalos frecuentes.

*Tramo ondulado:* Toda combinación de pendientes y trazado, tanto horizontal como vertical, que obliga a los conductores de vehículos pesados a circular a una velocidad media menor de 80 Km/h o sustancialmente inferior a la de los vehículos ligeros, aunque sin llegar a su velocidad sostenida en rampa durante ningún periodo significativo de tiempo.

*Tramos de proyecto:* Cada una de las partes en que queda dividida la longitud de la vía o carretera, y que se caracterizan por unos factores de diseño homogéneos.

*Transito promedio diario:* Se define el volumen, como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo

*Vehículo pesado:* Se incluyen en esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

*Velocidad máxima legal:* Máxima velocidad de circulación, fijada por la legislación vigente o por la autoridad competente, a la que se permite circular un vehículo por una carretera o tramo de carretera.

*Vulnerabilidad:* Susceptibilidad de los sistemas naturales, económicos y sociales al impacto de un peligro de origen natural o inducido por el hombre.

www.bdigital.ula.ve **Fundamentos Teóricos**

*Metodología de Roberto Luis Fonseca, Carles Raimat Quintana y Josep Caba Muntana*

La metodología consiste en el análisis de un conjunto de parámetros geotécnicos y viales para el estudio de la amenaza que existe sobre un vehículo por el desprendimiento de rocas en taludes donde se presentan problemas geotécnicos tomando en consideración la altura del talud, el ancho de la cuneta de intercepción, el riesgo medio por vehículo, distancia de visibilidad del conductor, ancho de la calzada, y características geológicas, para con ello determinar un rango de peligrosidad sobre un vehículo.

*Altura del talud (AT)* La altura del talud se refiere a la diferencia de cotas entre el pie del talud y el lugar donde se encuentra el bloque inestable. Los bloques que se encuentran a mayor altura tienen una mayor energía potencial (Luis Fonseca y otros 2010) [31]. Los puntos deben ser asignados tal como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2. 1** Altura del talud

Puntos	Altura de talud (m)
5	7.5
10	15
30	25
80	30

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010)

*Efectividad de la cuneta de intercepción (EC)*: La efectividad de la cuneta de intercepción tiene por finalidad impedir que un determinado volumen de roca pueda llegar a la calzada, para esto, se mide la altura, el ancho, profundidad y forma de la cuneta (Fonseca y otros, 2010) [31]. Para este parámetro, la ponderación se realiza como lo indica la tabla 2.2.

**Tabla 2. 2** Efectividad de la cuneta de intercepción

Puntos	Efectividad de la cuneta	Observaciones
5	Buena	Todos los bloques que caen son retenidos por la cuneta.
10	Moderada	Los desprendimientos llegan a la calzada ocasionalmente.
30	Limitada	Los desprendimientos alcanzan la calzada con frecuencia.
80	No	Inexistente o totalmente inefectiva, todas o casi todas las rocas llegan a la calzada.

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010)

*Riesgo medio por vehículo (RMV)*: Según Luis Fonseca y otros (2010) [31] esta categoría mide el porcentaje del tiempo que el vehículo permanece en la zona de riesgo de caída de rocas (p.209). Dicha categoría, se obtiene empleando la ecuación 2.1, basada en la longitud del recorrido, el IMD (intensidad media diaria) y el límite de velocidad establecida para el tramo, cuyo resultado es analizado por medio de la Tabla 2. 3.

A continuación se expresa la ecuación 2.1 (Fonseca y otros, 2010):

$$RMV = \frac{IMD \left[ \frac{veh}{día} \right] \times longitud\ del\ recorrido [km] \times 100\%}{Límite\ de\ velocidad\ establecido \left[ \frac{km}{h} \right] \times [24h/día]} \quad \text{Ec. 2. 1}$$

Donde:

IMD = Intensidad media diaria.

RMV = Riesgo medio por vehículo

**Tabla 2. 3** Riesgo medio por vehículo

Puntos	Riesgo medio por vehículo (%)
5	25
10	50
30	75
80	100

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010)

*Distancia de visibilidad (DV)*: Este factor es definido por Luis Fonseca y otros (2010) [31] como: “la menor distancia a lo largo de un recorrido en la que un objeto se mantiene visible para un conductor poder tomar una decisión de forma instantánea” (p.210).

De la cita anterior se comprende que la distancia de visibilidad refiere a la mínima medida que debe existir para que el transeúnte tenga en el momento de un desprendimiento de cualquier material la posibilidad de alertarse.

Asimismo los autores señalan que para evaluar este parámetro se debe recorrer el tramo en ambos sentidos y decidir en cuál de las dos direcciones hay menor visibilidad horizontal y vertical (p.210).

La ecuación 2 presenta cómo determinar el porcentaje de visibilidad, y se le asigna un valor en función a lo encontrado en la Tabla 2. 4 (Luis Fonseca y otros 2010) [31].

$$\% \textit{Visibilidad} = \frac{\textit{Longitud del tramo (m)}}{\textit{Distancia de visibilidad (m)}} \times 100 \quad \text{Ec. 2. 2}$$

**Tabla 2. 4** Distancia de visibilidad

Puntos	% Visibilidad	Observaciones
5	100	Adecuada
10	80	Moderna
30	60	Limitada
80	40	Muy limitada

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010)

*Ancho de la calzada (AC):* Para Luis Fonseca y otros (2010) [31] este parámetro refiere a la distancia perpendicular al eje de la carretera de borde a borde y se analiza según la Tabla 2. 5. Por consiguiente, los puntos deben ser asignados de la siguiente forma:

**Tabla 2. 5** Ancho de la calzada

<b>Puntos</b>	<b>Ancho calzada (m)</b>
5	14
10	11
30	9
80	6

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*Características geológicas (CG):* Se pueden establecer dos casos de acuerdo al evento más desfavorable en concordancia a las características del macizo rocoso, el primero refiere a los taludes donde las juntas, planos de deslizamiento, discontinuidades o diaclasas dominan la estructura, y el otro cuando la erosión diferencial o la meteorización es la condición dominante que origina la inestabilidad y el desprendimiento.

Las Tabla 2. 6, a Tabla 2. 9 permiten la evaluación geológica, asignando los puntajes con respecto a las características presentes según sea el caso.

*a.- Caso I* está constituido principalmente por el análisis directo de las características que presenta la roca en el talud denotándose cada uno de los parámetros descritos en la siguiente tabla.

*a.1.- Condición Estructural*

**Tabla 2. 6** Condición estructural. Caso I

Puntos	Condición estructural	Observaciones
5	Diaclasas discontinuas, orientación favorable.	Roca fracturada con planos de estratificación de orientación favorable.
10	Diaclasas discontinuas, orientación aleatoria.	Taludes en roca con red de diaclasas orientadas de forma aleatoria, no dominan familias de diaclasas.
30	Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable.	Taludes que exhiben tendencia a la regularización de la red de diaclasas, planos de deslizamiento u otras discontinuidades con dirección desfavorable, grietas menores de 3m de largo.
80	Diaclasas continuas, orientación desfavorable.	Taludes con una dominante familia de diaclasas, planos de deslizamiento u otras discontinuidades con dirección desfavorable, grietas mayores de 3m de largo.

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*a.2.- Fricción o rugosidad:*

**Tabla 2. 7** Fricción o rugosidad

Puntos	Fricción o rugosidad	Observaciones
5	Rugosa, Irregular	Unión áspera entre la superficie de roca, planos bastante irregulares, condición de fricción óptima.
10	Ondulada	Unión también áspera pero sin capacidad de entrelazamiento.
30	Planar	Macro superficies completamente lisas, micro superficies áspera que aporta la fricción, no hay ondulaciones.
80	Juntas llenas de arcilla o paredes pulidas.	No hay contacto entre las superficies de la roca. Materiales de relleno en las juntas arcillosas y finos tienen mucho menor ángulo de fricción que una roca, por tanto anulan la macro y micro rugosidad.

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*b.- Caso II:* Realiza un análisis del nivel de meteorización en función de la erosión de la roca y del suelo residual que se formó por la misma.

*b.1.- Condición Estructural*

**Tabla 2. 8** Condición estructural. Caso II

Puntos	Condición estructural	Observaciones
5	Poca erosión	Rasgos menores de erosión diferencial en partes muy aisladas de la superficie del talud.

10	Erosión ocasional	Rasgos menores de erosión diferencial en varias partes de la superficie del talud.
30	Mucha erosión	Grandes y numerosos rasgos de erosión diferencial en toda la superficie del talud.
80	Erosión severa	Evidentes deslizamientos y desprendimientos, o voladizos ocasionados por la erosión generalizada.

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*b.2.- Diferencia de los grados de erosión:*

**Tabla 2. 9** Diferencia de los grados de erosión

Puntos	Diferencia de los grados de erosión	Observaciones
5	Pequeña diferencia	Las muestras de erosión se desarrollan a lo largo de muchos años. Se les da esta categoría a taludes en equilibrio ambiental.
10	Diferencia moderada	Las muestras de erosión se desarrollan a lo largo de pocos años.
30	Amplia diferencia	Las muestras de erosión se desarrollan anualmente.
80	Caso extremo	Las muestras de erosión se desarrollan rápidamente (meses).

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*Tamaño del bloque o volumen de material desprendido (TB):* El tamaño de bloque se evalúa la cantidad de material de bloque desprendido por las laderas o taludes según lo apreciado en la tabla 2.10. Según Luis Fonseca y otros (2010) [31] “esta medida debe ser representativa de cualquier tipo de evento de desprendimiento que ocurra” (p.215). Los puntos deben ser asignados de la siguiente forma:

**Tabla 2. 10** Tamaño del bloque

Puntos	Tamaño del bloque (m)
5	0.3
10	0.6
30	1.0
80	1.2

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*Condiciones climáticas y presencia de agua (CC):* Esta característica se relaciona la tabla 2.11 en función con el agua presente en los taludes de manera continua o intermitentes. Para medir tanto las condiciones climáticas como la presencia de agua se realiza, mediante observación directa en el campo en conjunto a parámetros ambientales descritos. Los puntos deben ser asignados como se muestra:

**Tabla 2. 11** Condiciones climáticas y presencia de agua

<b>Puntos</b>	<b>Influencia del clima y agua en el talud</b>
5	Precipitación de baja a moderada, sin períodos de congelación, sin presencia de agua.
10	Precipitación moderada o cortos períodos de congelación o presencia de agua intermitente en el talud.
30	Precipitación alta o largos períodos de congelación o presencia de agua de forma continua en el talud.
80	Precipitación alta o largos períodos de congelación o presencia de agua de forma continua en el talud y largos periodos de congelación.

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010)

www.bdigital.ula.ve

*Historia de los desprendimientos (HD):* La historia de los desprendimientos representa el conocimiento de lo ocurrido en el lugar a lo largo del tiempo y representado en la tabla 2.12. Esta información es clave para poder estimar el potencial de desprendimientos en el futuro, en función a la tabla 2.12, los puntos deben ser asignados de la siguiente forma:

**Tabla 2. 12** Historia de los desprendimientos

<b>Puntos</b>	<b>Desprendimientos</b>	<b>Observaciones</b>
5	Pocos	Han ocurrido varias veces según la información histórica, pero no es un problema persistente. Una o dos veces al año durante tormentas severas. Se asigna si no se tienen datos.
10	Ocasionales	Ocurren con regularidad, varias veces por año y durante la mayor parte de las tormentas.
30	Muchos	Ocurren con regularidad durante una cierta estación, como invierno o la época de lluvias heladas. Esta categoría se da cuando en el resto del año no hay afectaciones significativas, se puede emplear para emplazamientos donde han ocurrido desprendimientos importantes.
80	Constante	Desprendimientos muy frecuentes en todo momento del año.

		Se emplea esta categoría en sitios con eventos importantes comunes.
--	--	---

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*Análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras:* El análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras se considera cada uno de los resultados obtenidos en los ítems anteriores, se aplica la ecuación 2.3, y se asigna valores de acuerdo a la Tabla 2. 13 (Luis Fonseca y otros 2010) [31].

$$\text{Indice (\%)} = \frac{2(AT)+EC+RV+2(DV)+AC+3(CG)+2(TB)+2(CC)+HD}{15} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

AT: altura del Talud

EC: Efectividad de la Cuneta de Intercepción

RV: Presencia de vehículos en el área

DV: Distancia de Visibilidad

AC: Ancho de la Calzada

CG: Condiciones Geológicas

TB: Tamaño de bloque o volumen de material desprendido

CC: Condiciones climáticas y presencia de agua

HD: Historias de los desprendimientos.

**Tabla 2. 13** Valores de los parámetros evaluados en la metodología de Fonseca y otros (2010)

Parámetro	Peso
Altura del talud (AT)	2
Efectividad de la cuneta de intercepción (EC)	1
Presencia de vehículos en el área (RV)	1
Distancia de visibilidad (DV)	2
Ancho de la calzada (AC)	1

Características geológicas (CG)	3
Tamaño del bloque o volumen de material desprendido (TB)	2
Condiciones climáticas y presencia de agua (CC)	2
Historia de los desprendimientos (HD)	1

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

Luego tenemos la Tabla 2. 14 que consta de unos rangos para evaluar el nivel de riesgo de desprendimiento de roca.

**Tabla 2. 14** Análisis de riesgo de desprendimiento en carretera

Nivel	Índice (%)	Peligrosidad	Prioridad de actuación
1	<35	Poco peligrosa	Muy baja
2	35 – 60	Peligrosa	Alta
3	>60	Muy peligrosa	Acción urgente

Fuente: Luis Fonseca y otros (2010).

*Relación de la estabilidad de taludes con la caracterización de macizos rocosos.*

En la evaluación de la estabilidad de un talud en roca, es importante determinar algunas propiedades ingenieriles referentes a las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de roca intacta y de las discontinuidades que limitan los bloques individuales. De acuerdo a este enfoque, las excavaciones en el macizo rocoso son afectadas por la resistencia al corte de las discontinuidades dentro del mismo; además si la roca presenta orientación desfavorable por parte de las discontinuidades, su resistencia, para propósitos de diseño, se reduciría en gran medida, ya que éstas podrían interceptarse y formar cuñas potencialmente inestables, o bien pueden orientarse e inclinarse formando planos de deslizamiento, Sánchez, (2012)[64].

En relación a esto, Goodman (citado por Armas, 2004)[6] la resistencia del macizo en su totalidad (bloques de roca intacta más las discontinuidades que los limitan) debe

ser considerada en el diseño de estructuras, como excavaciones subterráneas o cortes de talud.

En el análisis de estabilidad de un talud, un factor importante a considerar es la geometría de los bloques de roca formados por patrones de discontinuidades, es decir, hectometría. Otro factor importante es la resistencia al corte de la superficie potencial de deslizamiento, la cual puede consistir de un simple plano de discontinuidad o un complejo sistema de fracturamiento. Adicionalmente, la orientación, persistencia, espaciado de las discontinuidades deben ser descritas en detalle para analizar para el diseño y mantenimiento de la vialidad.

### **Identificación de modos de inestabilidad del talud.**

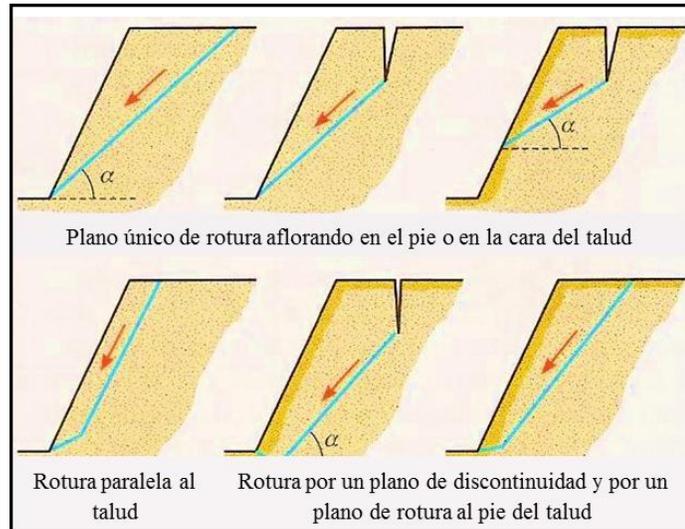
Diferentes tipos de rotura de talud están asociados con diferentes estructuras geológicas y es importante que el diseñador del talud sea capaz de reconocer problemas de estabilidad potenciales durante las etapas tempranas del proyecto Willie y Mah, (2004)[68]. Los modelos de rotura más frecuentes son: rotura plana, en cuña, por vuelco y curva.

#### *Rotura plana.*

Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, una junta tectónica, una falla, entre otras. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud. En taludes excavados paralelos a la estratificación, pueden tener lugar roturas planas por deslizamiento de los estratos. Los diferentes tipos de roturas planas, mostrados en la Figura 2. 1, dependen de la distribución y características de las discontinuidades en el talud. Según González de Vallejo y otros (2002)[36] las más frecuentes son:

- Rotura por un plano que aflora en la cara o en el pie del talud, con o sin grieta de tracción.

- Rotura por un plano paralelo a la cara del talud, por erosión o pérdida de resistencia del pie.



**Figura 2. 1** Tipos de rotura plana

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

www.bdigital.ula.ve

Las condiciones geométricas para que ocurra este tipo de rotura, como se observa en la Figura 2. 2, son las siguientes:

- $\beta > \alpha > \Phi$

Donde:

$\beta$  = inclinación de la cara del talud con respecto a la horizontal

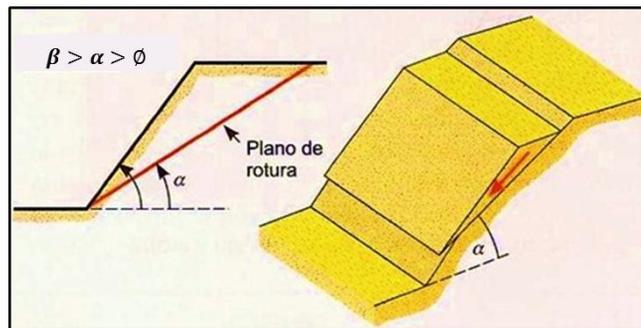
$\alpha$  = ángulo que forma el plano de falla con respecto a la horizontal (buzamiento de la discontinuidad)

$\Phi$  = ángulo de fricción interna del macizo rocoso en la superficie de deslizamiento.

- El plano donde ocurre el deslizamiento debe tener un rumbo paralelo o subparalelo (aproximadamente +/- 20°) con respecto al plano del talud.

### Rotura en cuña.

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana (ver Figura 2. 3):

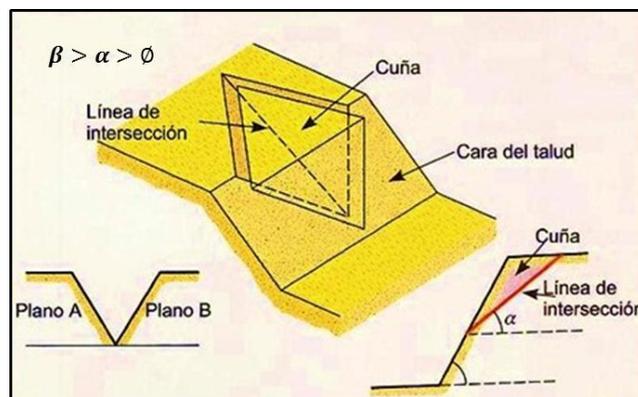


**Figura 2. 2** Condiciones para la rotura plana

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

- $\beta > \alpha > \Phi$ , siendo  $\alpha$  en este caso el buzamiento de la línea de intersección.

Este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determinan la forma y el volumen de la cuña (González de Vallejo y otros, 2002)[36].



**Figura 2. 3** Condiciones para rotura en cuña

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

*Rotura por vuelco de estratos.*

Se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí. Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento (González de Vallejo y otros, 2002)[36]. En tal sentido, se caracteriza por una rotación de la columna o bloque de roca sobre su base, bajo la acción de la gravedad, fuerzas desarrolladas por rocas adyacentes o empuje del agua al penetrar en las discontinuidades.

Las condiciones básicas que se deben cumplir son:

- $\beta > \Phi + (90^\circ - \alpha)$

Dónde:

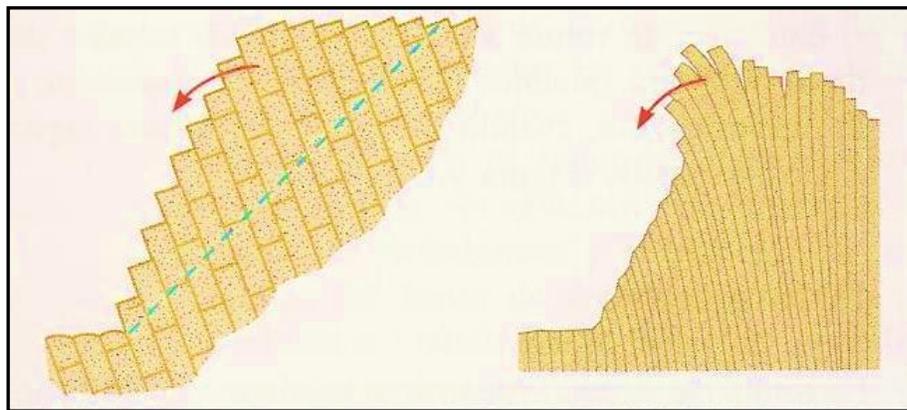
$\beta$  = inclinación de la cara del talud con respecto a la horizontal

$\alpha$  = buzamiento de los planos

$\Phi$  = ángulo de fricción interna

- El plano de falla debe tener un rumbo aproximadamente paralelo (+/- 20°) con relación al plano del talud.

La Figura 2. 4 representa taludes con estructura favorable al vuelco de estratos.

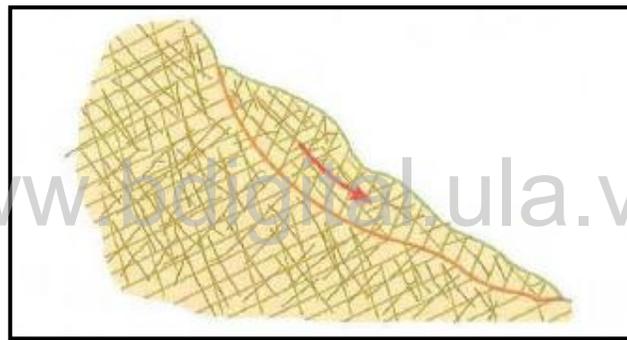


**Figura 2. 4** Taludes con estructura favorable al vuelco de estratos

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

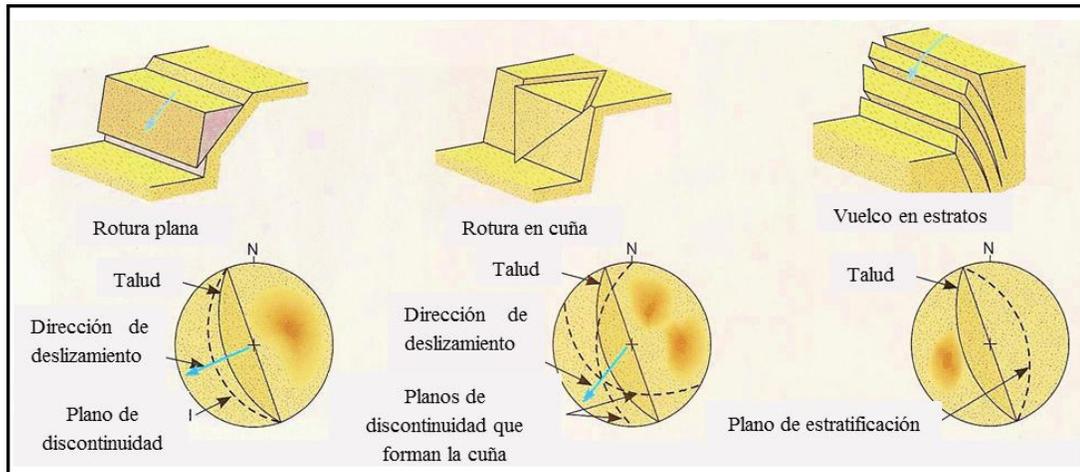
### *Rotura curva.*

La rotura curva puede ocurrir en macizos rocosos blandos poco competentes y en macizos muy alterados o intensamente fracturados, que presentan un comportamiento isótropo y donde los planos de discontinuidad no controlan el comportamiento mecánico; en este caso, el macizo se comporta como suelo. No obstante, la existencia de zonas singulares de debilidad y de grandes planos de discontinuidad en este tipo de macizos, como fallas, pueden condicionar modelos de rotura con otras tipologías (González de Vallejo y otro, 2002)[36]. La Figura 2. 5 representa este tipo de rotura.



**Figura 2. 5** Esquema de rotura curva en macizos rocosos intensamente fracturados  
Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

La Figura 2. 6, muestra los tipos de rotura más comunes, y el grafico de polos de las condiciones geológicas que probablemente conduzcan a esos tipos de rotura. En la evaluación de la estabilidad, la cara de corte del talud debe ser incluida en los estereogramas, ya que el deslizamiento sólo puede ocurrir como resultado de movimientos hacia la cara libre del talud creada por el corte. Cabe destacar que existe un análisis de estabilidad específico para cada tipo de falla, y es esencial que el método de análisis sea usado de manera correcta en el diseño de la obra.



**Figura 2. 6** Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para algunos tipos de roturas en macizos rocosos  
 Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

www.bdigital.ula.ve

*Análisis Cinemático.*

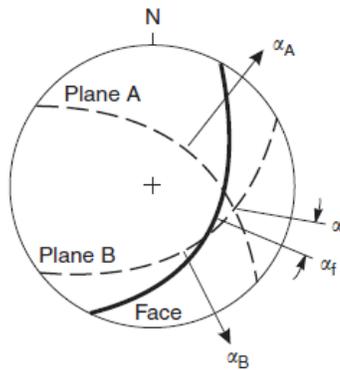
Al analizar la estabilidad de un talud realizado en macizos rocosos fracturados, en primer lugar se debe considerar la fábrica estructural del corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad del talud, lo cual se conoce como orientación desfavorable de éste con respecto a las discontinuidades. Esta determinación es realizada por medio del análisis estereográfico de la fábrica estructural que se denomina análisis cinemático Piteau y Peckover, (citado en Armas, 2004)[6].

Una vez que el tipo de falla de bloque ha sido identificado sobre el estereograma, se examina la dirección en la cual el bloque puede deslizar y se da una indicación de las condiciones de estabilidad. La relación entre la dirección hacia la cual el bloque se desliza y la orientación de la cara del talud es fácilmente evidenciable en el estereograma, aunque el análisis en el estereograma da un indicio de las condiciones

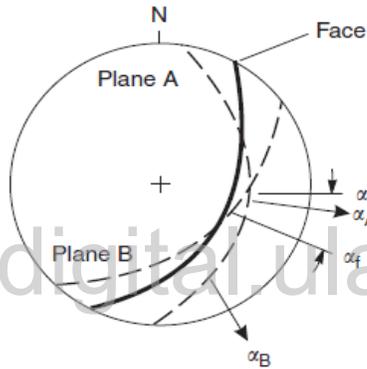
de estabilidad, no toma en cuenta las fuerzas externas, las cuales pueden tener un efecto significativo en la estabilidad.

Por otro lado, existen varias metodologías para analizar cinemáticamente un talud, entre ellas se encuentra el método propuesto por Markland (citado en Armas, J., 2004)[6] que consiste en el análisis cinemático para la rotura en cuña que está gobernado por la orientación de la línea de intersección de los planos que delimitan dicha cuña, y este método conocido como *Markland's test*, Hoek & Bray (citado en Armas, J., 2004)[6] determina si el deslizamiento puede ocurrir, y en caso de ser así, si este ocurrirá en un solo plano o ambos, o con movimiento en dirección de la línea de intersección. El postulado indica lo siguiente: si la dirección de buzamiento de los dos planos se encuentra fuera del ángulo formado entre  $\alpha_i$  (*trend* de la línea de intersección) y  $\alpha_f$  (dirección de buzamiento de la cara del talud) la cuña se deslizará sobre ambos planos en dirección de la línea de intersección (Figura 2. 7). Si la dirección de buzamiento de uno de los planos se encuentra dentro del ángulo formado entre  $\alpha_i$  y  $\alpha_f$  la cuña se deslizará sólo sobre ese plano (Figura 2. 8).

Es importante resaltar, que existen programas computacionales de proyecciones estereográficas, como el stereo 32, stereonet, o el dips, que permiten analizar las condiciones cinemáticas que pueden representar una posible rotura en un talud. En tal sentido, para el análisis de rotura plana se tienen en cuenta los polos de las familias de discontinuidades que son cinemáticamente admisibles y friccionalmente inestables, que para efectos del programa corresponden a aquellos polos que caigan dentro de la zona crítica de rotura planar.



**Figura 2. 7** Rotura en cuña a lo largo de la línea de intersección  
Fuente: Willie y Mah, 2004.



**Figura 2. 8** Rotura en cuña a lo largo del plano A  
Fuente: Willie y Mah, 2004.

### Círculo de fricción

Según Armas, J. (2004)[6]

*“...el deslizamiento de bloques se realizará dentro de los planos de discontinuidad, existen fuerzas de fricción que se oponen al movimiento. Estas fuerzas son consecuencia de la adhesión de una superficie a la otra y por lo trabado de las irregularidades en las superficies en roce. Siempre que una superficie se desliza sobre otra, la fuerza de rozamiento ejercida por cada bloque sobre el otro es paralela o tangente a las dos superficies. Si se colocan dos bloques de roca dentro de un plano horizontal se tiene una resistencia al roce de valor 0, al inclinarse dichos*

*bloques al momento se ejercerá una resistencia al deslizamiento debido a la fricción entre las superficies en roce contra la tendencia al mismo producidas por el peso del bloque, conforme aumenta la inclinación del plano llegará un momento en que las fuerzas que inducen al deslizamiento serán mayores que las que se oponen y se producirá el movimiento del bloque, al ángulo máximo antes de que se induzca dicho efecto se le conoce como ángulo de fricción ( $\Phi$ ).”*

Por otro lado, el concepto de cono de fricción Talobre, (citado en Armas, 2004)[6], es usado para representar o determinar el ángulo entre una línea dada la dirección de una fuerza y una línea normal al plano. Combinada con el ángulo de fricción a través del plano, esta aproximación puede ser usada para evaluar gráficamente la posibilidad de deslizamiento a lo largo del plano bajo una carga activa en cualquier dirección. En el análisis estereográfico de Markland, (citado en Armas, 2004)[6] este cono se representa mediante un círculo que se proyecta en la red estereográfica midiendo su ángulo a partir del extremo de la estereofalsilla hacia el centro del talud, dándose la definición de que aquellos planos o líneas que se encuentran dentro del área comprendida entre dicho círculo y el extremo se encontraran estructuralmente estables.

Según Armas, (2004)[6] la diferencia entre emplear el cono de fricción de Talobre y el círculo de fricción radica en que en el primero la representación del ángulo de fricción es mediante la normal del plano en la cual se tendrá estabilidad del bloque y esto se proyecta por medio de polos hacia el alrededor del polo del círculo máximo del talud creando una elipse o envolvente, en el segundo se ubican planos y líneas que queden comprendidos dentro del área antes mencionada.

*Factores condicionantes y desencadenantes de movimientos.*

Según el Instituto Geológico de Minería de España (I.G.M.E., 1987)[43], en el análisis de los movimientos es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos otros que actúan

como desencadenantes de los movimientos. El conocimiento de ambos factores permite una evaluación del peligro existente y, por tanto, las medidas necesarias para evitar o corregir los posibles movimientos.

La susceptibilidad de que se produzcan movimientos en los taludes está condicionada por la estructura geológica, la litología, las condiciones hidrogeológicas y la morfología propia de un área determinada.

Una variación de algunos de los condicionantes mencionados, producida por causas naturales o debidas a la actividad humana, puede traducirse en un incremento o disminución del esfuerzo de corte cuyo efecto inmediato desencadena la inestabilidad de una masa de terreno. En efecto, la gran variedad de movimientos en los taludes es reflejo de la diversidad de factores que pueden originarlos. Entre estos factores se tienen:

#### *Factores naturales.*

Fundamentalmente constituyen factores condicionantes cuando se trata de agentes que integran la meteorización, siendo los agentes erosivos los que tienen una mayor incidencia como factores desencadenantes, así como los fenómenos de carácter tectónico que influyen en la corteza terrestre (I.G.M.E.,1987)[43].

- El agua: constituye el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades. Así, las corrientes de agua con su poder erosivo y de transporte constituyen un factor desencadenante, mientras que el agua distribuida en el interior de la red de fracturación de un macizo rocoso condiciona la estabilidad de los mismos cuando discurre entre las discontinuidades aumentando la presión entre las mismas. Por su parte, el agua de lluvia puede aumentar las subpresiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades y grietas, y produce una sobrecarga debido a su propio peso.
- Sismicidad: constituye un factor desencadenante de grandes deslizamientos, pudiendo ocasionar daños graves.

Cuando ocurre un sismo se generan una serie de vibraciones, que se propagan como ondas de diferente frecuencia. La aceleración, vertical y horizontal asociada a esas ondas, origina una fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del terreno afectando al equilibrio de los taludes.

#### *Factores antrópicos.*

Las actividades humanas que se derivan del desarrollo de infraestructuras que permiten el progreso de los países, constituyen una de las causas con mayor incidencia en los movimientos de taludes. Aunque éstos generalmente tienen consecuencias menores que las producidas por causas naturales, a veces generan grandes daños.

#### *Tipología y peligrosidad de los movimientos.*

El I.G.M.E (1987)[43] señala que existe una relación de dependencia entre los distintos tipos de movimientos y sus consecuencias. Sin embargo, dicha dependencia ha de matizarse y aparecen conceptos como los de riesgo y peligrosidad.

En los movimientos de los taludes hay una serie de factores que influyen en las consecuencias que pueden originar. Dichos factores son:

- La velocidad con que se desarrolla el fenómeno.
- El volumen de material involucrado.
- La frecuencia con que se producen los movimientos.

La velocidad con que se producen los movimientos depende de: la pendiente del talud, la forma de la superficie de rotura y las propiedades físicas de los materiales.

La frecuencia con que pueden aparecer determinados movimientos depende de la repetitividad de las circunstancias que favorecen las inestabilidades. Dichas circunstancias pueden tener un carácter cíclico u ocasional y tener diferentes orígenes (climáticos, sísmicos, entre otros).

Existe una interrelación de los conceptos de riesgo y peligrosidad relativa a los movimientos de los taludes. El riesgo supone la posibilidad de que se produzca una inestabilidad debida a determinadas circunstancias. Mientras que la peligrosidad consiste en evaluar las consecuencias de esa inestabilidad, a nivel humano o material. El nivel de riesgo se ha de apreciar evaluando todos los parámetros determinantes de su estabilidad: topografía, discontinuidades, hidrología, entre otros. También ha de comprender la posibilidad del movimiento, la trayectoria más probable y los antecedentes de la zona.

Una apreciación completa del nivel de riesgo ha de comprender varias observaciones del posible fenómeno y siempre tendrá carácter subjetivo.

La peligrosidad depende de la zona en pueda originarse el movimiento. Aumenta con la posibilidad de que afecte a zonas urbanas, redes viarias, etc. También depende de la velocidad con que se produzca el movimiento, y del volumen involucrado.

El seguimiento sistemático de un determinado movimiento permite analizar su evolución y proporciona una importante información sobre su peligrosidad.

#### *Clasificación Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski*

Es una clasificación establecida para estimar las propiedades del macizo rocoso, inicialmente en el año 1973, donde posteriormente se le realizaron modificaciones en 1979 y 1989, se basa en el índice RMR “*Rock Mass Rating*” el cual pretende relacionar índices de calidad del macizo rocoso con parámetros geotécnicos de mismo.

De igual manera, este método propone un factor de ajuste o corrección definido cualitativamente, y dependerá de la orientación de las discontinuidades con respecto al eje de la obra, como puede ser en túneles, cimentaciones o taludes. El índice final del RMR, tendrá un valor comprendido entre 0 - 100, clasificando de esta manera los taludes en cinco clases.

Los parámetros geomecánicos tomados en cuenta en esta clasificación son:

*Resistencia uniaxial de la matriz rocosa*, también llamado resistencia a la compresión simple es considerada como el máximo esfuerzo que puede tolerar una roca al ser sometida a una compresión de carácter uniaxial. Se puede evaluar a través de índices adquiridos en ensayos de campo (Ver Tabla 2.15), los cuales permiten una aproximación al valor de la resistencia de la roca, González de Vallejo y otros, (2002).

**Tabla 2. 15** Resistencia a partir de índices de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Rango de resistencia a compresión simple (MPa)
S1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
S2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025- 0,05
S3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05- 0,1
S4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1- 0,25
S5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25- 0,5
S6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,5
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25- 1,0
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0- 5,0
R2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se produce pequeñas marcas.	5,0- 25
R3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25- 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50- 100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100- 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas.	> 250

*Grado de fracturación en términos del RQD (Rock Quality Designation)*, Desarrollado por Deere (1963, 1967) y consiste en el cálculo de fracturación del macizo definido por el número, el espaciado y las condiciones que presenten las discontinuidades, (González de Vallejo y otros, 2002)[36]. Este parámetro se estima a través de las ecuaciones 2.4 y 2.5.

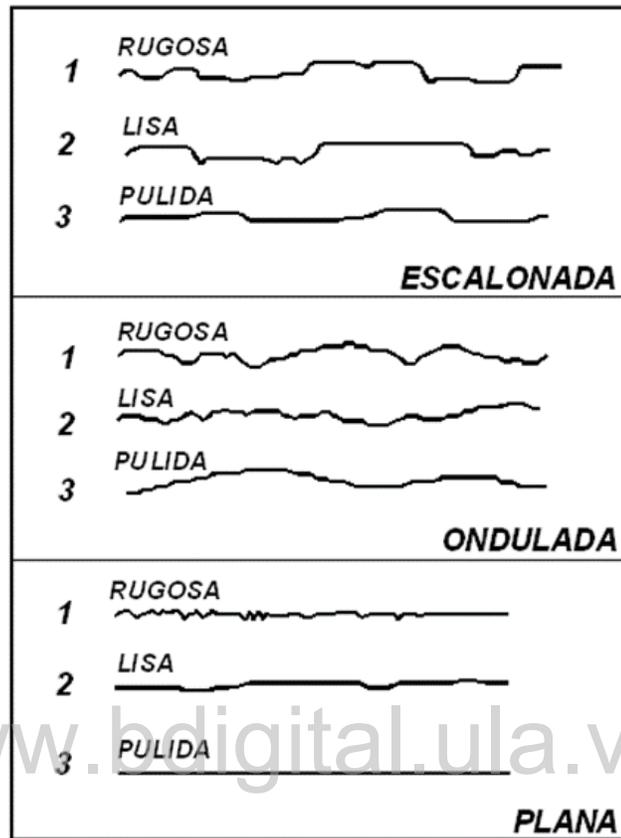
$$RQD = 115 - 3,3 J_v \quad \text{Ec. 4}$$

$$J_v = \sum \frac{n^\circ \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud medida}} \quad \text{Ec.5}$$

*Espaciado de las discontinuidades*, se refiere a la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a los planos.

*Condiciones de las discontinuidades*, estudia la naturaleza de las discontinuidades a partir de la abertura de las caras de la discontinuidad, la persistencia, la rugosidad de las superficies de la roca, la alteración y la presencia de relleno entre las fracturas, (González de Vallejo y otros, 2002)[36].

- La abertura, consiste en la distancia perpendicular que separa las paredes cuando no hay presencia de relleno.
- La persistencia, reside en su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y de su buzamiento.
- Rugosidad, hace referencia a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala en los planos. (Ver Figura 2. 9).
- La alteración, radica en el grado de meteorización o alteración que puede tener la roca.



**Figura 2. 9** Escala descriptiva de observación para determinar la rugosidad  
Fuente: Geología Venezolana (2000)

*Condiciones hidrogeológicas*, estudia la cantidad de agua presente en el interior del macizo, a través del agua circulante por los planos de debilidad y filtrándose a través de estos (Ver

Tabla 2. 16).

**Tabla 2. 16** Evaluación por presencia de agua

Relación Presión agua-tensión principal mayor	Estado General	Valoración
0	Seco	15
0-0,1	Ligeramente húmedo	10

0,1-0,2	Húmedo	7
0,2-0,5	Goteando	4
> 0,5	Agua fluyendo	0

*Orientación de las discontinuidades*, consiste en la dirección de buzamiento, es decir la dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte; y en el buzamiento, el cual hace referencia a la inclinación respecto a la horizontal de dicha línea (Ver Tabla 2. 17).

**Tabla 2. 17** Orientación de las Discontinuidades en función al eje de la obra

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0-20° Cualquier dirección
Excav. Con Buzamiento		Excav. Contra Buzamiento				
Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

Estos 6 parámetros anteriormente descritos, fueron valorados según lo indicado por Bieniawski, adicionándose la tabla de corrección por orientación de las discontinuidades (

Tabla 2. 18 y Tabla 2. 19).

**Tabla 2. 18** Parámetros de clasificación RMR

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% -	75%- 90%	50%- 75%	25%- 50%	<25%		

			100%				
		Puntuación	20	17	13	6	3
3		Separación entre diaclasas	>2 m	0,6- 2m	0,2 – 0,6m	0,06-0,2m	<0,06m
		Puntuación	20	15	10	8	5
4	Estado de las discontinuidades	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- 10mm	1- 5mm	>5mm
		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	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 L/min	10- 25 L/min	25- 125 L/min	>125 L/min
		Relación: presión de agua/ 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

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

**Tabla 2. 19** Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-35	-50	-60

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002.

*Clasificación Geological Strength Index (GSI) de Hoek y Brown:*

Es un sistema de clasificación de macizo rocoso propuesto por Hoek y Brown(1995), basado en observaciones de campo de manera sencilla, el cual toma en consideración las características de la superficie del macizo rocoso en conjunto a la cantidad de diaclasas que presenta el talud. (González de Vallejo, 2002)[36]

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of subcubic blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				30	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					20
						10
		N/A	N/A			

**Figura 2. 10 Geological Strength Index**

Fuente: <http://epg.modot.org/index.php?title=751.38> Spread Footings

*Clasificación Slope Mass Rating (SMR) de Romana*

El Índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado:

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4 \quad \text{Ec. 2. 6}$$

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores (tabla 2.20):

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

$$F1 = (1 - \text{Sen}(\alpha_j - \alpha_t))^2 \quad \text{Ec.7}$$

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

$$F2 = (\text{Tg}^2(\beta_j))^2 \quad \text{Ec. 8}$$

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

**Tabla 2. 20** Factor de Ajuste por la Orientación de las Juntas (F1, F2, F3)

Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180° $					
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	$ \beta_j $	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<-10°

T	$\beta_j - \beta_s$	<110°	110°-120°	>120°	-----	-----
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002

**Tabla 2. 21** Factor de Ajuste por el método de excavación

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o Excavación Mecánica	Voladura deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002

**Tabla 2. 22** Clases de Estabilidad

Caso	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
Estabilidad	Totalmente Inestable	Inestable	Parcialmente Estable	Buena	Muy Buena
Roturas	Grandes Roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos Bloques	Ninguna
Tratamiento	Re excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: González de Vallejo y otros, 2002

*Riesgo, vulnerabilidad y Amenaza.*

La Organización de Naciones Unidas en el 2009, definen el riesgo fundamentalmente en la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde, la amenaza la constituye el elemento que genera el daño, la cual está condicionada por un elemento desencadenante o catalizador, se representa por un valor comprendido entre 0 y 100; por otra parte, la vulnerabilidad está gestionada por el elemento que puede sufrir daño o que se encuentra sometido a la amenaza en sí misma y está representada por un valor entre 0 a 1.

### *Parámetros Viales.*

El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle.

Mediante el análisis de los elementos de flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planteamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte. Con la aplicación de las leyes de la física y las matemáticas, el análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de la operación.

Uno de los resultados más útiles del análisis del flujo vehicular es el desarrollo de los modelos microscópicos y macroscópicos que relacionan sus diferentes variables como el volumen, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento. Estos modelos han sido la base del desarrollo del concepto de Capacidad y Niveles de Servicio aplicado a diferentes tipos de elementos viales.

El objetivo, al abordar el análisis del flujo vehicular, es dar a conocer algunas de las metodologías e investigaciones y sus aplicaciones más relevantes en este tema, con particular énfasis en los aspectos que relacionan las variables del flujo vehicular, la descripción probabilística o casual del flujo de tránsito, la distribución de los vehículos en una vialidad y las distribuciones estadísticas empleadas en proyecto y control de tránsito, importantes para el desarrollo del proyecto ya que da el comportamiento de los vehículos y para ello se realizan las diferentes mediciones descritas en la metodología.

Se utiliza la palabra probabilidad para designar el grado de confianza que se tiene sobre la ocurrencia de un determinado suceso.

Por otra parte para el análisis de la probabilidad de que un vehículo que transita por un punto en específico en un tiempo determinado se calcula por medio de métodos estadísticos fundamentalmente la Distribución de Poisson.

## Variables Estadísticas

### *Distribución de Poisson*

En teoría de probabilidad y estadística, la distribución de Poisson es una distribución de probabilidad discreta que expresa, a partir de una frecuencia de ocurrencia media, la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo. Concretamente, se especializa en la probabilidad de ocurrencia de sucesos con probabilidades muy pequeñas, o sucesos “raros”.

La función de masa o probabilidad de la distribución de Poisson es

$$f(k, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- $k$  es el número de ocurrencias del evento o fenómeno (la función da la probabilidad de que el evento suceda precisamente  $k$  veces).
- $\lambda$  es un parámetro positivo que representa el número de veces que se espera que ocurra el fenómeno durante un intervalo dado. Por ejemplo, si el suceso estudiado tiene lugar en promedio 4 veces por minuto y estamos interesados en la probabilidad de que ocurra  $k$  veces dentro de un intervalo de 10 minutos, usaremos un modelo de distribución de Poisson con  $\lambda = 10 \times 4 = 40$ .
- $e$  es la base de los logaritmos naturales ( $e = 2,71828\dots$ )

La distribución de Poisson se aplica a varios fenómenos discretos de la naturaleza (esto es, aquellos fenómenos que ocurren 0, 1, 2, 3,... veces durante un periodo

definido de tiempo o en un área determinada) cuando la probabilidad de ocurrencia del fenómeno es constante en el tiempo o el espacio.

#### *Probabilidad de Eventos Independientes*

En teoría de probabilidades, se dice que dos sucesos aleatorios son independientes entre sí cuando la probabilidad de cada uno de ellos no está influida porque el otro suceso ocurra o no, es decir, cuando ambos sucesos no están relacionados.

Dos sucesos son independientes si la probabilidad de que ocurran ambos simultáneamente es igual al producto de las probabilidades de que ocurra cada uno de ellos, es decir, si

$$P(A \cap B) = P(A)P(B) \quad \text{Ec. 19}$$

Esto da una idea de los elementos necesarios para el análisis de la probabilidad de encontrar un vehículo en un momento determinado en la vía, por lo que unido con la probabilidad de que exista un desprendimiento de roca indicará la posibilidad o el riesgo presente al momento de transitar el mencionado elemento vulnerable, tomando en consideración algún parámetros desencadenante.

## CAPÍTULO III

### Metodología

En este capítulo se describen las etapas utilizadas para cumplir con los objetivos de la presente investigación, el cual, primordialmente consiste en analizar el método de Luis Fonseca y otros (2010)[31] en el análisis de riesgo por desprendimiento de rocas en taludes sobre vehículos. Es por ello, que el proceso de investigación está en función al Manual de Grados de Especialización, Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Experimental Libertador (2006) presentándose una investigación aplicada, en conjunto a una etapa experimental para posteriormente correlacionarlas. En la Investigación aplicada, basada por un conjunto de autores dentro del manual, su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. De este modo genera pocos aportes al conocimiento científico desde un punto de vista teórico, siguiendo la metodología existente para obtener resultados de uso diario.

Luego se procedió a realizar una Investigación experimental, en la cual se manipularon variables independientes, tales como la cantidad de vehículos que transitan por la vía, así como los parámetros geotécnicos, ejerciendo el máximo control posible. Se mantuvo un carácter cuantitativo, en función a las probabilidades presentes. Es importante resaltar, que se tomó en consideración parámetros utilizados en la investigación aplicada, para posteriormente correlacionarlas entre sí.

Con el fin de recolectar la información necesaria para responder a las preguntas de investigación, se seleccionó un diseño de investigación para cumplir con los objetivos de estudio.

Las maneras de cómo conseguir respuesta a las interrogantes planteadas dependen de la metodología. Por esto, existen diferentes tipos de diseños de investigación.

Para el análisis de correlación entre las metodologías tanto la propuesta por Luis Fonseca y Otros (2010)[31], y la experimental propuesta, se estudian las relaciones entre los parámetros de la investigación aplicada en conjunto a la experimental, llevando consigo que la misma funcione o no, referido a los parámetros sometidos a la investigación, evaluando por dos metodologías diferentes el riesgo de desprendimientos por vehículos.

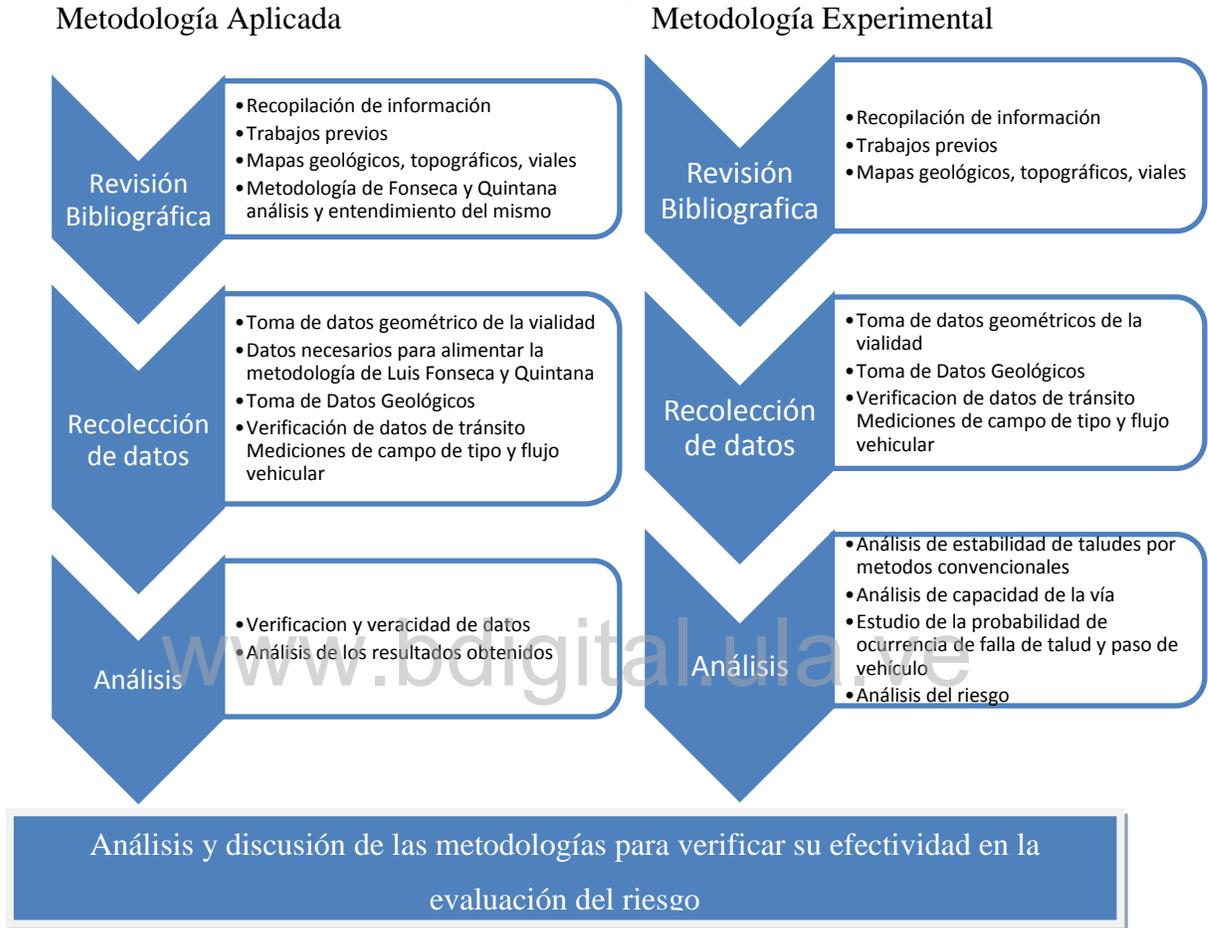
#### *Tipo de Diseño de Investigación.*

La precisión, la profundidad así como también el éxito de los resultados de la investigación dependen de la elección adecuada del diseño de investigación. He aquí un esquema donde se resumen los diferentes tipos de investigación, tanto la propuesta por Luis Fonseca y Otros (2010)[31] y la experimental planteada en esta investigación.

Cada tipo de diseño posee características particulares por lo que cada uno es diferente a cualquier otro y no es lo mismo seleccionar un tipo de diseño que otro. La eficacia de cada uno de ellos depende de que se ajustara realmente a la investigación. Los diseños experimentales son propios de la investigación cuantitativa, mientras los no experimentales se aplican en ambos enfoques (cualitativo o cuantitativo).

De este modo existen dos diseños de investigaciones principales, los experimentales o del laboratorio y los no experimentales que se basan en la temporalización de la investigación, como se muestra en la Figura 3.1.

**Figura 3.1. Metodologías a implementar**



*Metodología de Luis Fonseca y otros (2010)*

Es importante resaltar que para esta parte de la metodología se piensa en la aplicación completa del método de Luis Fonseca y otros (2010)[31] siguiendo el análisis estructurado por los autores y que conlleve a la determinación del riesgo presente por derrumbes a los vehículos. El cual consistió en la toma de datos subsecuentemente geotécnicos y posteriores viales que determinan la vulnerabilidad y la amenaza.

En primer lugar para la realización de la siguiente etapa metodológica aplicada, se procedió a evaluar cada uno de los parámetros indicados por Roberto Luis Fonseca, con respecto al riesgo producido por desprendimiento de rocas, es por eso que se miden los siguientes elementos:

#### *Altura de los taludes*

El cálculo de la altura de los taludes presente, por medio de mediciones indirectas en campo a través de la brújula y corroboradas en el mapa topográfico, y la cual consistió en la diferencia de cotas entre el pie del talud y el lugar donde se encuentra el bloque inestable, colocándose en una tabla la nomenclatura del talud en conformidad con su respectiva altura, y asignándole los valores que corresponde de acuerdo a la misma (Tabla 2. 1, pág.16).

#### *Efectividad de la cuneta de intercepción*

Con respecto al siguiente punto a seguir, corresponde a lo que en la literatura, es la efectividad de la cuneta de intercepción, que para efectos prácticos se conoce como, berma de protección del talud, que tiene por finalidad impedir que un determinado fragmento de roca pueda llegar a la calzada, midiendo directamente la longitud transversal a la vía de las bermas de seguridad más el hombrillo, que puede servir para la misma finalidad, aunque en su diseño inicial fue vial y no de seguridad.

Para este parámetro los puntos deben ser asignados como lo indica la Tabla 2. 2 (pag.16)

#### *Riesgo medio por vehículo (RMV)*

Según Luis Fonseca y otros (2010) [31] esta categoría mide el porcentaje del tiempo que el vehículo permanece en la zona de riesgo de caída de rocas, empleando las ecuaciones y tablas mostradas en el capítulo 2 (pag.17).

#### *Distancia de visibilidad (DV)*

La distancia de visibilidad es calculada en función al cono de visibilidad y la velocidad del vehículo en cuestión y refiere a la mínima medida que debe existir para que el transeúnte tenga, en el momento de un desprendimiento de cualquier material del talud, la posibilidad de alertarse, que a su vez da un carácter de variables independiente entre los eventos, pudiendo existir la reacción de los conductores y tomar las posibles medidas del caso ante la existencia de un desprendimiento.

Asimismo los autores señalan que para evaluar este parámetro se debe recorrer el tramo en ambos sentidos y decidir en cuál de las dos direcciones hay menor visibilidad horizontal y vertical (pag.210), asignándole el valor correspondiente según la Tabla 2. 4. (pag.17)

#### *Ancho de la calzada (AC)*

Para Luis Fonseca y otros (2010) [31] este parámetro refiere a la distancia perpendicular al eje de la carretera de borde a borde. Por lo que entre la brecha entre vehículos muy rápidamente se realizaron las mediciones pertinentes al caso. Asignándosele valores de acuerdo a la Tabla 2. 5 (pág. 18)

#### *Características geológicas (CG)*

Se pueden establecer dos casos de acuerdo al evento más desfavorable en concordancia a las características del macizo rocoso, el primero refiere a los taludes donde las juntas, planos de deslizamiento, discontinuidades o diaclasas dominan la estructura, y el otro cuando la erosión diferencial o la meteorización es la condición dominante que origina la inestabilidad y el desprendimiento.

Las Tabla 2. 6 a Tabla 2. 9 permiten la asignación de los puntajes con respecto a las características geológicas (pag.19-20).

### *Tamaño del bloque o volumen de material desprendido (TB)*

Este ítem evalúa la cantidad de material de bloque desprendido por las laderas o taludes. Según Luis Fonseca y otros (2010) [31] “esta medida debe ser representativa de cualquier tipo de evento de desprendimiento que ocurra” (p.215). Los puntos se asignaron según la Tabla 2. 10 (pag.20).

### *Condiciones climáticas y presencia de agua (CC)*

Esta característica se relaciona con los fluidos continuos o intermitentes de agua. Para medir, tanto las condiciones climáticas como la presencia de agua y se realizó mediante una observación directa en el campo.

Los puntos se asignaron en función de la Tabla 2. 11 (pag.21).

### *Historia de los desprendimientos (HD)*

La historia de los desprendimientos representa el conocimiento de lo ocurrido en el lugar a lo largo del tiempo. Esta información es clave para poder estimar el potencial de desprendimientos en el futuro, dado que en el lugar no tienen datos confiables ni históricos de cada vez que ocurre el desprendimientos de un fragmento de roca por consiguiente se confirmó la fecha última de asfaltado y luego se procedió a contar los diferentes impactos presentes en la calzada lo cual representara el número mínimo de eventos ocurridos en el sector dando una estimación de los eventos.

Los puntos se asignaron en empleando la Tabla 2. 12 (pág.21).

### *Análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras*

El análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras refiere a cada uno de los resultados obtenidos en los ítems anteriores, aplicando la ecuación y tabla indicada en el capítulo 2 (Tabla 2. 14, pág.23), obteniéndose el nivel de riesgo que poseen los vehículos al momento de transitar por la vía.

### Metodología Experimental

La metodología experimental se basa en la confirmación del método de Fonseca, por medio del análisis estadístico, y esta metodología consta de dos etapas:

La primera etapa está conformada por el cálculo de los parámetros viales, por medio de mediciones de campo, de cada uno de los elementos necesarios para determinar la intensidad, con la que se presenta un vehículo en una vía, determinando los modelos de variables de tránsito. Si bien se pudiera asignar un valor de intensidad, se midieron para calcular las probabilidades por medio de una Distribución de Poisson, de las cuales se extrae la probabilidad de que en un momento determinado, de acuerdo a las mediciones tomadas, esté un vehículo en un tiempo igualmente específico.

Se diseñaron las planillas de conteos como se muestran a continuación:

**Tabla 3. 1** Planilla de mediciones de parámetros viales

PLANILLA DE MEDICIONES DE VEHÍCULOS													
FECHA													
HORA DE INICIO				N° DE PLANILLA				MEDIDOR					
LUGAR													
SENTIDO		VEHÍCULO		PERÍODO DE TIEMPO ESTIPULADO 5 MINUTOS EN CADA CASILLA									
MÉRIDA-EL VIGÍA	LIVIANO	MOTO											
		CARRO											
		CAMIONETA											
	PESADO	CAMIÓN											
		TRANSPORTE											
EL VIGÍA-MÉRIDA	LIVIANO	MOTO											
		CARRO											
		CAMIONETA											
	PESADO	CAMIÓN											
		TRANSPORTE											

Por consiguiente, se realizaron conteos en periodos continuos de cinco minutos de los vehículos que transitan por la vía en estudio, diferenciándolos por sentido, durante un periodo de tiempo de 15 horas y posteriormente, se determinaron los parámetros necesarios como el Factor Hora Pico, para verificar el mayor flujo posible de vehículos y determinar el estado más desfavorable al momento de ocurrir un deslizamiento y transite un vehículo.



**Figura 3. 2** Mediciones de vehículos por tipo y sentido  
Fuente: Propia.

#### *Distribución Poisson.*

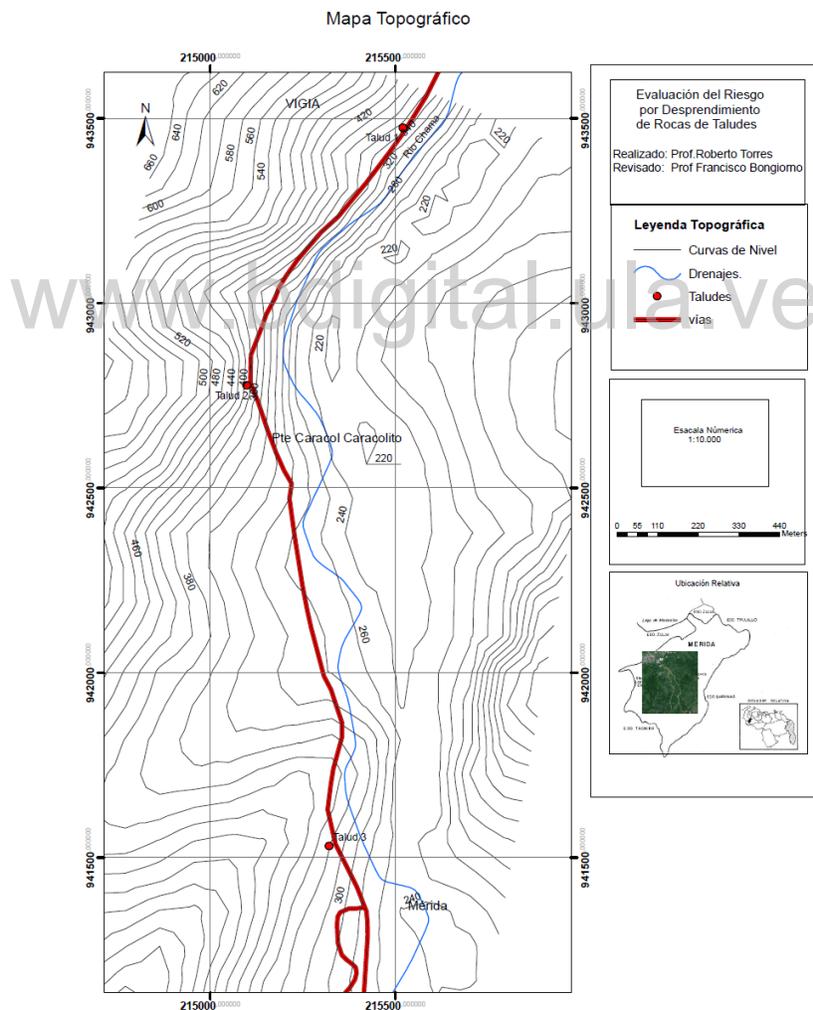
Se elaboró una hoja de Excel, con el conteo por periodos de 5 minutos, colocándoseles las formulas respectivas para el cálculo de la intensidad, incluyendo la distribución de Poisson, (Ec.6 pag.45) que es la distribución que todas las bibliografías recomiendan en un flujo constante sin cola para determinar la probabilidad de que un vehículo se encuentre en el tramo bajo estudio en un tiempo específico.

Una vez calculados los parámetros de tránsito se tiene la segunda etapa, la cual consiste en realizar las mediciones presentes con respecto a los parámetros geológicos, clasificando los macizos rocosos, en conjunto al estudio de estabilidad cinemática de los taludes. Si se cumplen las condiciones cinemáticas es cuestión de tiempo que ocurra el deslizamiento, por lo cual se tendrá la probabilidad de que falle el talud.

### Identificación de los taludes de la zona

Se identificaron taludes críticos en roca donde adicionalmente pudieran realizar las mediciones correspondientes para su análisis minucioso referente a la estabilidad cinemática.

Se ubicaron tres taludes con coordenadas UTM: Talud 1; N 0215552 y E 0941699, talud 2; N 0215274 y E 0942884 y por último el talud 3; N 0215652 y E 0943392, respectivamente, como se observa en la Figura 3. 3.



**Figura 3. 3** Mapa de ubicación de los Taludes en estudio

Posteriormente, se analizan los diferentes métodos de clasificación del macizo rocoso en los cuales se determina que el indicado es el RMR, considerando que su clasificación está estipulada de 0 a 100 y que para el análisis de peligrosidad, corresponde al complemento de lo que representaría una amenaza en conformidad con lo descrito en las diferentes bibliografías.

Para ello se aplica la metodología completa de Bieniawski y está constituida de la siguiente manera:

#### *Zonificación y descripción de los taludes*

Posterior a la identificación de cada uno de los taludes, se procede al levantamiento geotécnico a detalle, el cual condujo a una descripción general de cada uno de los afloramientos, tomando en cuenta sus características litológicas, formacionales, estructurales, entre otras. Así mismo, se realizó la división para cada uno de los taludes en base a criterios geológicos y/o estructurales con características análogas, y su subsiguiente descripción para las zonas obtenidas en la división, en donde se toman en cuenta los siguientes parámetros: número de familia de discontinuidades, orientación, grado de fracturación, condiciones de las discontinuidades, condiciones hidrogeológicas, grado de meteorización, entre otras características representativas;

A continuación se presenta como ejemplo cada uno de los pasos seguidos para la implementación del método en el talud 1 el cual se encuentra en las coordenadas N 942.743,94 y E 215.242,96, con una dirección NW y buzamiento promedio de 36°, el mismo presenta una intercalación de lutitas y areniscas, donde sus estratos se disponen de manera inclinada como consecuencia de los esfuerzos tectónicos de ésta área de estudio.

Debido a la variedad de los materiales y a las diversas estructuras presentes en el afloramiento, se procedió a categorizar el mismo en 3 zonas considerando la similitud entre las características de cada área, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. 4 Zonificación realizada al Talud 1.

El afloramiento se inicia con una estratificación compuesta de lutitas físis, con pocas diaclasas, con una grado de meteorización que va de ligera a moderadamente meteorizada, finalmente y hacia la base de esta secuencia se encuentran unos estratos de arenisca la cual tienden a espesar es donde empieza la segunda zona, lateralmente se encuentran las mismas lutitas dela zona I pero menos meteorizadas y es en donde se comienza a clasificar el macizo rocoso.

La caracterización global del macizo se debe realizar como una de las etapas finales del procedimiento descriptivo, donde se aportan todos los datos obtenidos geológicos y geomecánicos del afloramiento de manera unificada. Es en esta etapa donde se toman en cuenta los datos para las clasificaciones geomecánicas.

### *Datos y ensayos de campo para la clasificación de los taludes*

Buscando adquirir datos para la evaluación de la calidad y resistencia de los macizos se tomaron en cuenta las clasificaciones geomecánicas correspondientes a Bieniawski (RMR), las cuales tendrá una valoración para cada parámetro y un resultado final producto de ésta sumatoria que indicará la calidad del macizo obtenido.

### *Clasificación de Bieniawski (RMR).*

Para la caracterización de un macizo a través de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), es necesario tomar en cuenta los datos referentes a la matriz rocosa y a las discontinuidades. Con respecto a la matriz rocosa a través de los cuales se toman en cuenta parámetros como:

- Resistencia de la Roca: este dato se obtuvo a través de ensayos de índice de campo, el cual permite una aproximación inicial al valor de la resistencia de la roca. Consistió en el número de golpes proporcionados con la piqueta y otros ensayos sencillos sobre la matriz rocosa de cada material representativo del talud, para luego clasificar la resistencia de las rocas con la Tabla 2. 15. Estos índices obtenidos permitieron realizar una estimación cuantitativa del rango de resistencia correspondiente a cada tipo de roca. Para ello se procedió inicialmente a limpiar cualquier material presente sobre la matriz rocosa, y se efectuaron los distintos ensayos con la navaja y el martillo geológico o piqueta.
- % RQD, es necesario resaltar que este parámetro no fue observado en campo, puesto que requiere de unos cálculos de oficina. Para conseguir el RQD, fue necesario el valor obtenido del  $J_v$  (número total de las discontinuidades medidas en un área determinada) alcanzado a través de la ecuación 2.5 y posteriormente introducida en la ecuación 2.4 (pag.37) para obtener el grado de fracturación del macizo rocoso.

- Espaciamiento o separación de los planos de discontinuidad, radicó en la medición a través de una cinta métrica, de los espaciamentos más representativos de la frecuencia de discontinuidades, tomando en cuenta de colocar siempre cinta perpendicular a los planos. Para llevar a cabo estas mediciones, fue necesario realizar las mismas para cada una de las discontinuidades por separado y se promedió entre cada zona.
- Presencia de agua, se realizó de mediante la visualización del macizo y entre las juntas, si existía la presencia de agua y para calcular el valor en relación a lo observado se tomó como referencia la evaluación por presencia de agua (
- 
- Tabla 2. 16, pág.16).
- Orientación de las discontinuidades: se realizó mediante la toma directa de datos como rumbo y buzamiento de las diaclasas y del afloramiento, los cuales fueron comparados entre sí analizando si la dirección y buzamiento de los mismos era favorable o no favorable con respecto al eje de la obra.

Para determinar las condiciones de las juntas, se empleó la visualización directa de las diaclasas, con el fin de conseguir varias características que indiquen el estado de las mismas. Entre estas características se tiene:

- Continuidad o persistencia, se obtuvo a través de la medición en campo de la longitud de cada discontinuidad y establecer un promedio entre las mismas.
- La apertura de las discontinuidades, se basó en la medición a través de una regla en sentido perpendicular a las paredes internas de una discontinuidad cuando no hay presencia de relleno.
- Rugosidad, fue adquirida a través de la comparación visual de ondulaciones en las paredes de las discontinuidades.
- Relleno de las discontinuidades, obtenido a partir de la observación y descripción del material existente o no entre las paredes de una

discontinuidad, y teniendo en cuenta el tipo de material presente, es decir si se consideran materiales blandos o duros.

- Alteración de las discontinuidades, consiste en el grado de meteorización del macizo y fue adquirido a través de la visualización en campo del material que conforma el talud.

Resumiéndose todos estos parámetros en la Tabla 3. 2.

**Tabla 3. 2 Valoración del RMR para el talud 1**

TALUD	Zonas	Parámetros de clasificación del RMR										TOTAL
		Resistencia de la matriz	RQD (%)	Separación de las diaclasas	Estado de las Discontinuidades					Agua Freática	Corrección por discontinuidades	
					Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración			
TALUD 1	I	2	6	5	2	1	3	4	3	15	25	16
	II	7	13	10	4	0	5	2	5	15	25	36
	III	2	3	5	2	3	3	4	1	15	25	13

*Medición de los parámetros para el análisis de estabilidad cinemática.*

Luego se procede a realizar el análisis cinemático, por medio de la medición de cada rumbo y buzamiento, de cada discontinuidad presente en el talud, diseñándose para cada una de las discontinuidades (estratificación, diaclasas) una tabla, que en conjunto al ángulo medido del talud y a parámetros ensayados en trabajos previos como el de Sánchez y Torres (2012)[64], donde se verificó el ángulo de fricción interna de los materiales presente en los taludes en estudio, se realiza el análisis cinemático de las rocas, por medio de representaciones estereográficas de las discontinuidades, del cual se obtiene, que si se cumplen las condiciones para que ocurra el deslizamiento, es cuestión de tiempo y la presencia de un parámetro desencadenante que se produzca la falla en el talud.

La proyección estereográfica de los datos geológicos y geotécnicos, que fueron obtenidos en la etapa de campo, sirve para representar los parámetros de orientación de manera tridimensional, facilitando su manejo e interpretación. Así mismo, proporciona de un modo más fácil la visualización de la orientación de pendientes en medios rocosos en relación con las familias de discontinuidades, permitiendo una evaluación de las posibles roturas que puedan ocurrir y su susceptibilidad al desplazamiento.

Existen varias metodologías para analizar cinemáticamente un talud, en este trabajo se utilizará el método propuesto por Markland (1972, citado por Wieczorek, G. & Harp, E., 2000), en los análisis de rotura planar y cuña, y la metodología planteada de Goodman (1989, mencionado por Ducan, W. & Christopher M., 2005)[28], para la rotura por vuelco, debido a la facilidad en su manejo e interpretación.

Para el análisis cinemático se tienen en cuenta las siguientes consideraciones generales:

#### *a.- Rotura por vuelco*

Para establecer si los taludes estudiados presentaban rotura por vuelco, el análisis estuvo fundamentado en:

Límite de deslizamiento, basado en el ángulo de fricción de la discontinuidad y en la inclinación del talud. Los planos no pueden volcar si no son capaces de deslizarse uno respecto a otros, es por ello que se utilizó un plano para representar el “límite de deslizamiento” en la red. La dirección de este plano debe ser la misma que la del corte de talud y el buzamiento debe ser igual a la inclinación del talud menos el ángulo de fricción.

#### *b.- Rotura plana*

Para el análisis de rotura plana se utilizaron, como de fricción y la envolvente del talud.

La envolvente del talud permitió identificar cuáles discontinuidades eran cinemáticamente libres de deslizar, la lógica para realizar este análisis es considerar a cualquier polo que se ubicara dentro de esta envolvente representaba un plano susceptible a deslizar.

Luego de añadir la envolvente del talud, se proyectó en la red un cono de fricción (es decir, un cono orientado de forma vertical), en cual el radio corresponde al ángulo de fricción. Cualquier polo que caiga dentro del cono de fricción representa un plano susceptible de deslizar.

### *c.- Rotura por cuña*

Cuando existen varias familias de discontinuidades, se pueden formar cuñas, las cuales pueden deslizar a lo largo de la línea de intersección entre los planos. Para evaluar la posibilidad de rotura por cuña se utilizó un cono de fricción. La zona crítica para rotura por cuña se define por el área externa al plano del talud, pero encerrada por el círculo de fricción.

### *Metodología propuesta para verificar el Riesgo por desprendimientos de rocas*

Para analizar la existencia de un vehículo en la vía en un momento determinado existen unas series de teorías estadísticas. Los concedores recomiendan el uso de la teoría de Poisson para entender la llegada de un vehículo en un periodo de tiempo determinado, por ello se estudia el conteo de vehículos realizados, y se aplica la ecuación 7, generando la probabilidad de paso de un vehículo en un tiempo determinado.

Este cálculo genera un valor comprendido entre 0 y 1, el cual puede ser identificado como vulnerabilidad real de un vehículo cualquiera al momento de transitar la vía, en otras palabras es la probabilidad de que un vehículo este transitando la vía en un tiempo específico, que al combinar con la probabilidad de ocurrencia del

deslizamiento con valor comprendido entre 0 y 100 se tendría directamente, en conjunto al elemento desencadenante, el riesgo que puede tener un vehículo al transitar una vía y que ocurra un desprendimiento.

Los parámetros correspondientes a la característica geológica (amenaza) se proponen ser sustituidos con análisis de RMR o GSI, que corresponden a valores comprendidos entre 0 y 100, por ende, en conjunto al análisis de estabilidad cinemática del lugar, se podría combinar ambas y determinar un valor.

Si se cumplen las condiciones inestables en la cinemática, basta con la variación de algún parámetro (rugosidad o relleno de las diaclasas) para que el deslizamiento ocurra, así es posible asignarle los valores de 0 cuando no cumple y 1 si cumple con las condiciones de inestabilidad, independientemente del tipo de rotura considerada.

Entonces, se procede de la siguiente manera

- Se calcula el valor de RMR (valor entre 0 y 100).
- Se analiza la posibilidad de falla en función de la calidad del macizo aplicando la resta  $100 - \text{RMR}$ .
- Se estudian las condiciones cinemáticas (cumple 1, no cumple 0)
- Al multiplicar ambos parámetros se tiene la existencia o no, de la posibilidad de desprendimiento de roca en el talud bajo estudio, y con ello se sustituye el valor en la tabla de las características geológicas, simplificando y disminuyendo la subjetividad del analista.

Al combinar estos elementos se tiene la presencia de un análisis de riesgo que cumple con los conceptos internacionalmente aceptados.

A continuación se presenta un análisis comparativo entre los resultados obtenidos por el método de Luis Fonseca y Otros (2010) y el expresado en los párrafos anteriores, en este caso se emplea el índice RMR tal como se mostró en el capítulo 4.

Considerando que en la clasificación RMR el valor de 100 corresponde a un macizo en perfectas condiciones y 0 un macizo de muy baja calidad, y adicionalmente que para la metodología interesa definir la posibilidad de falla, se emplea la resta  $100 -$

RMR, que genera un número que indica la certeza de falla al momento de presentarse un elemento desencadenante, realizando lo mismo con los demás métodos de clasificación de los macizos rocosos GSI y SMR bajo estudio para realizar una comparación entre los mismos para la aplicabilidad de la metodología experimental.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPÍTULO IV

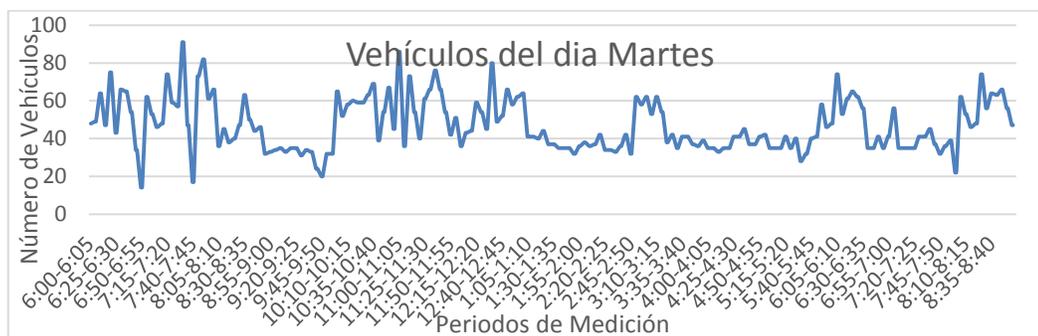
### Resultados

El presente capítulo está conformado por los resultados que se presentan de manera esquemática y sintetizada, con un pequeño análisis realizado con respecto a los conteos de vehículos, la aplicación del método de peligrosidad de Luis Fonseca y otros (2010) [31], las diferentes clasificaciones de los macizos rocosos, RMR, GSI y SMR, para que en conjunto con el análisis sistemático se pueda realizar el respectivo estudio del riesgo que producen los desprendimientos de rocas en los vehículos que transitan.

www.bdigital.ula.ve

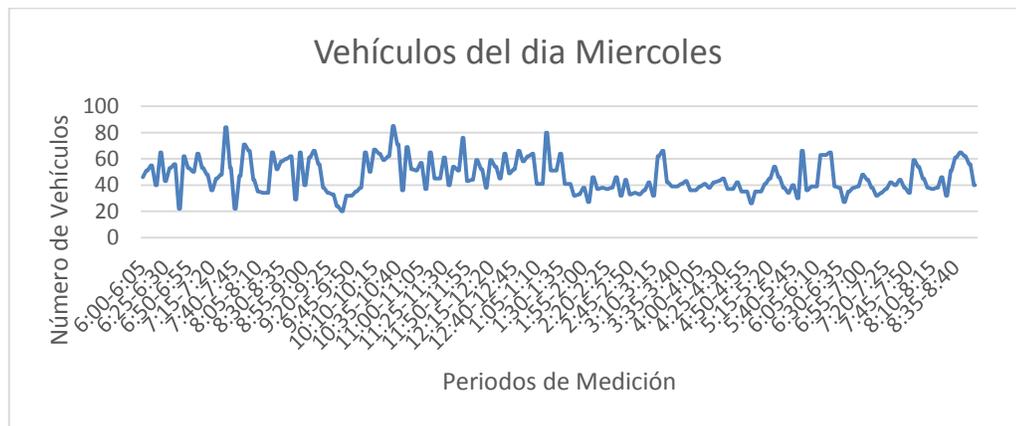
#### Conteo de Vehículos

En el trabajo realizado se hicieron conteos de vehículos que transitan por la carretera Rafael Caldera, las gráficas de frecuencia acumulada en periodos de 5 minutos se pueden apreciar en las Figura 4. 1 y Figura 4. 2.



**Figura 4. 1** Frecuencia de vehículos acumulados durante el periodo medido desde las 6 am hasta las 9 pm del día Martes, continuo sin eventualidades, donde se puede apreciar los picos y los valles en el tránsito de los mismos

Estos datos son fundamentales para el punto correspondiente a intensidad media diaria que contempla el Método de Luis Fonseca y otros (2010) [31] y de igual manera para el cálculo de la distribución de Poisson, obteniendo la probabilidad de que transite un vehículo en un punto de la vialidad en período de tiempo determinado.



**Figura 4. 2** Frecuencia de vehículos acumulados durante el periodo medido desde las 6 am hasta las 9 pm del día miércoles, continuo sin eventualidades, donde se puede apreciar los picos y los valles en el tránsito de los mismos

Todo con la finalidad de calcular el índice promedio diario de vehículos presentes en el sector, con los siguientes resultados de tráfico promedio diario:

Tráfico Promedio Hora (TPH): 563 Vehículos

Tráfico Promedio Día (TPD): 13.510 Vehículos

Tráfico Máximo Medido en 15 Minutos: 216 Vehículos.

#### *Generalidades de los taludes en estudio*

##### *Talud 1.*

El primer talud ubicado en las coordenadas UTM, N 0215552, E 0941699, conformado por una intercalación de arenisca y lutita pertenecientes a la Formación

Carbonera, en el cual aflora después de la falla de una pantalla de concreto proyectado y que se puede apreciar un conjunto de diaclasas que se midieron y analizaron (Figura 4. 3).



**Figura 4. 3** Mediciones del macizo rocoso presente en el talud 1

#### *Talud 2.*

El segundo talud (Figura 4. 4) ubicado en las coordenadas UTM, N 0215274, E 0942884, conformado por una intercalación de arenisca y láminas de lutita pertenecientes a la Formación Palmar, en el cual aflora con un gran espesor a lo largo del puente Caracol y Caracolito. El mismo tiene una gran magnitud y se tomó un sector representativo del talud dado lo imbricado del mismo en conjunto a los elementos que allí afloran se delimitó como continuo a lo largo del sector.



**Figura 4. 4** Afloramiento rocoso presente en el talud 2

*Talud 3.*

El tercer talud ubicado en las coordenadas UTM, N 0215652, E 0943392, conformado por una intercalación de arenisca y láminas de lutita pertenecientes a la Formación Palmar en el cual aflora con un gran espesor de la vialidad, el mismo tiene una gran magnitud y se tomó un sector representativo del sector en conjunto a los elementos que allí afloran (Figura 4. 5).



**Figura 4. 5** Macizo rocoso presente en el talud 3

### *Análisis de riesgo por talud.*

Los resultados del análisis de riesgo inician con la propuesta realizada por Luis Fonseca y Quintana, seguidamente se presentan la clasificación del macizo rocoso RMR y finalmente se analizan las condiciones cinemáticas de estabilidad. Todos estos parámetros se muestran para los taludes críticos seleccionados.

Los resultados asociados al RMR, GSI y SMR que en conjunto a las condiciones cinemáticas de estabilidad servirán de base para la propuesta metodológica experimental que se presenta en el capítulo 5.

### *Método de Luis Fonseca y otros (2010)*

Para el método de Luis Fonseca y Otros (2010) [31], se tienen los siguientes resultados:

### *Método de Luis Fonseca y otros (2010) Talud 1*

En la Tabla 4. 1 se pueden observar los parámetros medidos en el talud 1 con respecto al método de Luis Fonseca y otros (2010) [31].

**Tabla 4. 1** Resumen de los parámetros de riesgo de la metodología de Luis Fonseca y otros (2010) del Talud 1

Parámetro Medido		Talud 1		
		Medición	Puntaje	
Altura de Talud		4 m	5	
Efectividad de la Cuneta		3 m	30	
Riesgo Medio por Vehículo		96%	80	
Distancia de Visibilidad		166%	5	
Ancho de Calzada		10 m	30	
Características Geológicas	Caso I	Condición estructural	Diaclasas discontinuas desfavorables	30
		Fricción Rugosidad	Rugosa Irregular	5
	Caso II	Condición Estructural	Erosión Ocasional	10
		Grados de	Pequeña	5

	Erosión	diferencia	
Tamaño del bloque		0,3 m <sup>3</sup>	5
Condiciones Climáticas		Precipitación moderada	10
Historial de desprendimiento		pocos	5
Análisis por desprendimiento			20

El valor obtenido por la aplicación del método es de 20 y corresponde al nivel 1, poca peligrosidad, con prioridad de actuación muy baja; por ende existe el riesgo pero no es necesario actuar al respecto. Esto indica que en el sector de acuerdo al método existe un riesgo relativamente bajo y no requiere actuaciones a corto plazo.

*Método de Luis Fonseca y otros (2010), Talud 2*

En este mismo orden de ideas, en la Tabla 4. 2 el resultado obtenido de acuerdo al análisis de la metodología de Fonseca, el cual da una valoración de 31 en función de los parámetros medidos y observados en campo, que da un nivel 1, con poca peligrosidad, con prioridad de actuación muy baja.

Es importante recalcar que la cantidad de impactos de rocas en la carretera es significativa y que el presente resultado, aunque está muy cercano a la zona de peligrosa de acuerdo a los niveles medidos.

**Tabla 4. 2** Resumen de los parámetros de riesgo de la metodología de Luis Fonseca y otros (2010) talud 2

Parámetro Medido			Talud 2	
			Medición	Puntaje
Altura de Talud			30 m	80
Efectividad de la Cuneta			15 m	30
Riesgo Medio por Vehículo			288%	80
Distancia de Visibilidad			176%	5
Ancho de Calzada			11 m	10
Características Geológicas	Caso I	Condición estructural	Diaclasas discontinuas desfavorables	30
		Fricción Rugosidad	Rugosa Irregular	5
	Caso II	Condición	Erosión Ocasional	10

		Estructural		
		Grados de Erosión	Pequeña diferencia	5
Tamaño del bloque			0,6 m <sup>3</sup>	10
Condiciones Climáticas			Precipitación moderada	10
Historial de desprendimiento			muchos	30
Análisis por desprendimiento			31	

De igual manera es importante resaltar que existen parámetros medidos y observados en campo, como la distancia de visibilidad, no acordes con la calculada, la cual es de 176% de visibilidad, en conformidad a la velocidad del vehículo establecida por ley, ya que se transitó varias veces el lugar tratando de apreciar la visibilidad real que se tiene con respecto al talud y se aprecia que simplemente no se observa en algunos lugares ni siquiera el 80% del talud al momento de conducir, por lo que se debe revisar la fórmula propuesta por el método, en conjunto al valor obtenido de 288% como riesgo medio por vehículo.

*Método de Luis Fonseca y otros (2010), Talud 3*

En la Tabla 4. 3 se aprecia el resultado obtenido de acuerdo al análisis del talud 3, el mismo se corresponde a una valoración de 30, ubicándose en el nivel 1, poca peligrosidad, con prioridad de actuación muy baja.

**Tabla 4. 3** Resumen de los parámetros de riesgo de la metodología de Luis Fonseca y otros (2010) del talud 3

Parámetro Medido			Talud 3	
			Medición	Puntaje
Altura de Talud			80 m	80
Efectividad de la Cuneta			2 m	30
Riesgo Medio por Vehículo			96%	80
Distancia de Visibilidad			166%	5
Ancho de Calzada			12 m	10
Características Geológicas	Caso I	Condición estructural	Diaclasas discontinuas desfavorables	30

		Fricción Rugosidad	Rugosa Irregular	5
	Caso II	Condición Estructural	Erosión Ocasional	10
		Grados de Erosión	Pequeña diferencia	5
Tamaño del bloque			0,3 m <sup>3</sup>	5
Condiciones Climáticas			Precipitación moderada	10
Historial de desprendimiento			muchos	30
Análisis por desprendimiento			30	

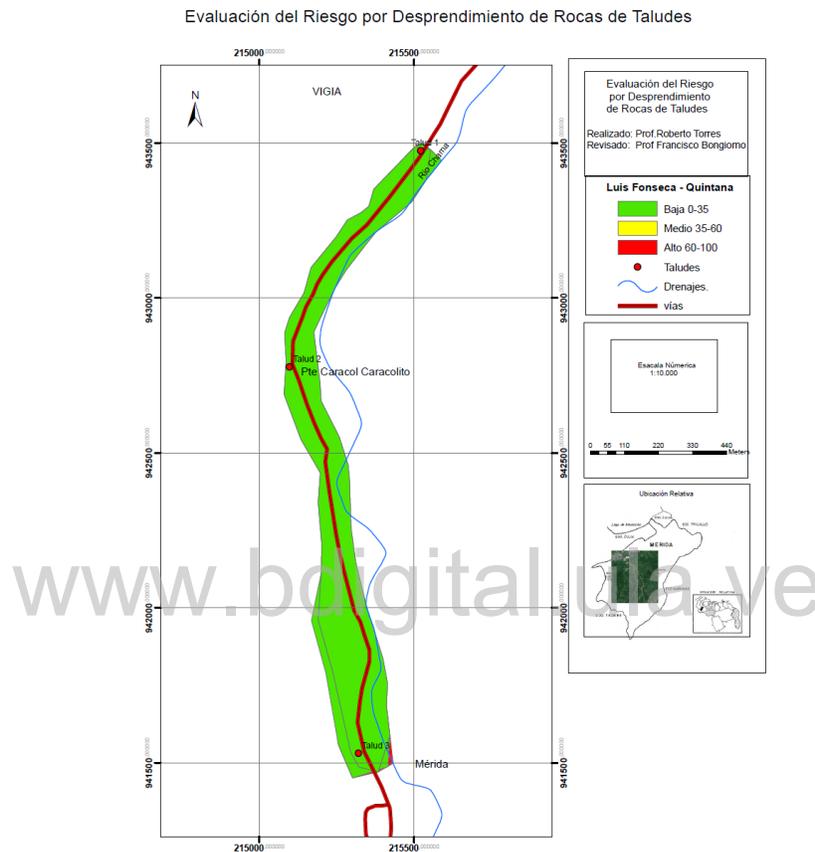
La Tabla 4. 4 resume el método de Luis Fonseca y otros (2010) [31], para los taludes estudiados

El método especifica que para más de un vehículo presente en el tramo bajo estudio, los valores de riesgo medio da valores mayores a 100, pero es importante tomar en atención el valor de distancia de visibilidad que se calculan, los valores dan mayores a 100 y no hay corrección referente a este valor.

**Tabla 4. 4** Resumen del Método de Luis Fonseca y otros (2010) de los taludes estudiados.

Parámetro Medido			Talud 1		Talud 2		Talud 3	
			Medición	Puntaje	Medición	Puntaje	Medición	Puntaje
Altura de Talud			4 m	5	30 m	80	80 m	80
Efectividad de la Cuneta			3 m	30	15 m	30	2 m	30
Riesgo Medio por Vehículo			96%	80	288%	80	96%	80
Distancia de Visibilidad			166%	5	176%	10	166%	5
Ancho de Calzada			10 m	30	11 m	10	12 m	10
Características Geológicas	Caso I	Condición estructural	Diaclasas discontinuas desfavorables	30	Diaclasas discontinuas desfavorables	30	Diaclasas discontinuas desfavorables	30
		Fricción Rugosidad	Rugosa Irregular	5	Rugosa Irregular	5	Rugosa Irregular	5
	Caso II	Condición Estructural	Erosión Ocasional	10	Erosión Ocasional	10	Erosión Ocasional	10
		Grados de Erosión	Pequeña diferencia	5	Pequeña diferencia	5	Pequeña diferencia	5
Tamaño del bloque			0,3 m <sup>3</sup>	5	0,6 m <sup>3</sup>	10	0,3 m <sup>3</sup>	5
Condiciones Climáticas			Precipitación moderada	10	Precipitación moderada	10	Precipitación moderada	10
Historial de desprendimiento			pocos	5	muchos	30	muchos	30
Análisis por desprendimiento			20		31		30	

Estos resultados se pueden representar de acuerdo a los valores en un mapa que muestren por color el valor calculado en la metodología de Fonseca de la siguiente manera:



**Figura 4.6** Representación del Método de Luis Fonseca y otros (2010)

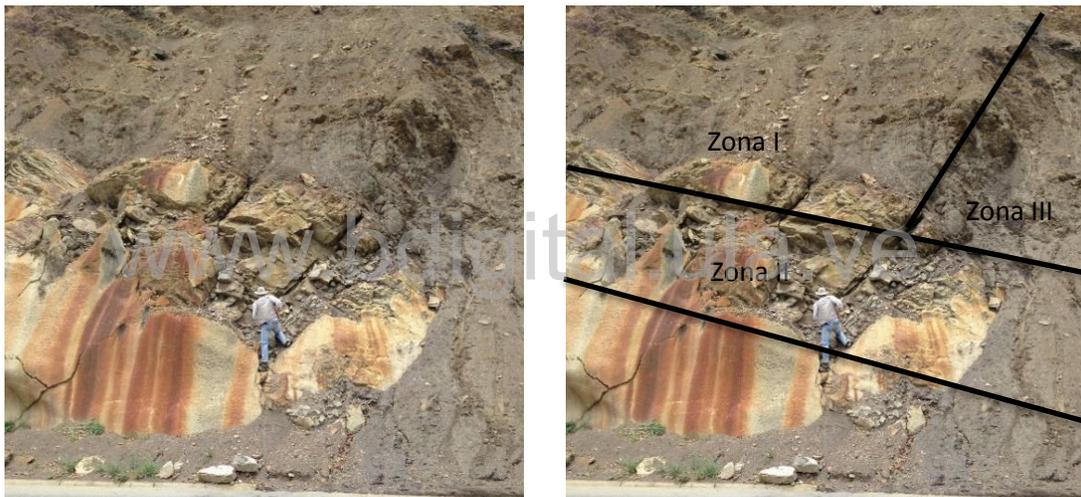
*Clasificación del Macizo Rocoso: Rock Mass Rating de Bieniawski, Geological Strength Index de Hoek, Slope Mass Rating de Romana.*

Considerando que la metodología propuesta por Luis Fonseca y otros (2010) toma en cuenta parámetros de macizo rocoso, se decide emplear las clasificaciones que incorpore mayor número de parámetros geológicos para complementarla y asociarla a la propuesta experimental realizada en esta investigación.

### *Clasificación geomecánica del talud 1*

#### *RMR del Talud 1.*

En primer lugar, se procede a realizar inspección visual del talud, y con ello generar una subdivisión de cada zona que posee características diferentes y así obtener varias calidades del macizo y utilizar el más desfavorable del sector. En virtud de esto el macizo se dividió en tres zonas, como se aprecia en la Figura 4. 7



**Figura 4. 7** Zonificación realizada al talud 1

Los parámetros geomecánicos considerados fueron analizados según la propuesta de Bieniawski; en la Tabla 4. 6 se resume la ponderación asociada y se muestra la clasificación final del macizo.

**Tabla 4. 5** Parámetros y clasificación RMR Básico talud 1

TALUD	ZONAS	RESISTENCIA DE LA MATRIZ	RQD	SEPARACIÓN DE LAS DIACLASAS	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA FREÁTICA	RMR
					LONGITUD	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN		
1	I	2	6	5	2	1	3	4	3	15	41
	II	7	13	10	4	0	5	2	5	15	61
	III	2	3	5	2	3	3	4	1	15	38
RMR CONSIDERADO											38

Este corresponde a lo que se denomina RMR básico del cual parten una serie de clasificaciones geomecánicas como el SMR, en donde se realizan estudios con respecto a las discontinuidades presentes en función a las estructuras civiles a las cuales están asociadas, y se resumen en la tabla 4.6, y se aprecia para la zona 1 del talud un macizo rocoso de calidad muy mala, clase V; para la zona 2 un macizo de calidad mala, clase IV, y por último se identifica que en la zona 3 la calidad del macizo rocoso, es muy mala, clase V, dada sus condiciones geológicas.

**Tabla 4. 6** Parámetros y clasificación RMR del talud 1

Talud	Zonas	Resistencia de la matriz	RQD	Separación de las diaclasas	Estado de las discontinuidades					Agua freática	Corrección por discontinuidades	Total
					Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleño	Alteración			
1	I	2	6	5	2	1	3	4	3	15	25	16
	II	7	13	10	4	0	5	2	5	15	25	36
	III	2	3	5	2	3	3	4	1	15	25	13
RMR Considerado												13

*GSI del Talud 1.*

Luego se analizaron las mismas características del talud aplicando la metodología del GSI de Hoek y se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 4. 7** Parámetros y clasificación GSI del talud 1

Zona	SR	SCR				GSI	
		Rr	Rw	Rf	SCR		
I	<b>19</b>	3	3	4	<b>10</b>	35	31
II	<b>20</b>	5	5	2	<b>12</b>	40	
III	<b>18</b>	3	1	4	<b>8</b>	31	

Con un valor de 31 que corresponde a calidad de superficie media y una roca muy fracturada y perturbada.

*SMR del Talud 1.*

De igual manera se procede a realizar el análisis de la calidad del macizo rocoso por el método del RMR básico, corregido por Romana, en la cual se representa en la tabla 4.8.

El estudio indica que en conjunto a la calidad del macizo y en correspondencia a la estructura asociada con la corrección por la estabilidad cinemática nos da un valor general de 29 de clase mala, inestable con rotura juntas o grandes cuñas, con tratamiento de corrección.

**Tabla 4. 8** Parámetros y clasificación SMR del talud 1

Zona	RMR	F1	F2	F3	F4	SMR	
I	41	0,83	1	0	0	41	32
		0,15	1	-60	0	32	
		0,35	1	-6	0	38,9	
II	61	0,83	1	0	0	61	52
		0,15	1	-60	0	52	

		0,35	1	-6	0	58,9	
III	38	0,83	1	0	0	38	29
		0,15	1	-60	0	29	
		0,35	1	-6	0	35,9	

### Clasificación geomecánica del Talud 2

#### RMR del Talud 2

Se repite el proceso de zonificación, tal como se realizó en el macizo del talud 1, se obtuvieron 5 zonas las cuales se describen en la Figura 4. .



**Figura 4. 8** Zonificación del talud número 2 en función del análisis del RMR

**Tabla 4. 9** Parámetros y clasificación RMR Básico del talud 2

TALUD	ZONAS	RESISTENCIA DE LA MATRIZ	RQD	SEPARACIÓN DE LAS DIACLASAS	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA FREÁTICA	RMR BASICO
					LONGITUD	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN		
2	I	2	6	5	6	1	5	4	4	15	48
	II	7	13	10	6	0	3	2	5	15	61
	III	2	3	5	6	3	3	4	1	15	42
	IV	7	13	15	4	0	3	6	5	15	68
	V	2	6	5	6	3	3	0	5	10	40
	VI	2	6	8	6	1	6	4	1	15	49
RMR CONSIDERADO											40

**Tabla 4. 10** Clasificación del Macizo Rocoso de acuerdo a RMR de Bienawski para el talud 2

TALUD	ZONAS	RESISTENCIA DE LA MATRIZ	RQD	SEPARACIÓN DE LAS DIACLASAS	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA FREÁTICA	CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	TOTAL
					LONGITUD	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN			
2	I	2	6	5	6	1	5	4	4	15	25	23
	II	7	13	10	6	0	3	2	5	15	25	36
	III	2	3	5	6	3	3	4	1	15	25	17
	IV	7	13	15	4	0	3	6	5	15	25	43
	V	2	6	5	6	3	3	0	5	10	25	15
	VI	2	6	8	6	1	6	4	1	15	25	24
RMR CONSIDERADO												15

En la Tabla 4.10 se aprecian los diferentes parámetros estudiados para cada zona, la ponderación asociada y la consecuente clasificación del macizo. En este sentido, se tiene para la zona I un macizo clase IV de calidad mala; a la zona II le corresponde la clase IV, calidad mala; la zona III se refiere a un macizo clase V de calidad muy mala; la siguiente zona mejora significativamente alcanzando la clase III, calidad media, siendo las mejores condiciones observadas para el macizo, luego se tiene la zona V, clase V, calidad muy mala y por último, en la zona VI se observa una clasificación de clase IV con una calidad mala.

#### *GSI del Talud 2*

Se realizó el análisis del GSI que corresponde al talud 2 observándose que existe correspondencia en cada una de las zonas calculadas en función al RMR tanto básico como el corregido, de igual maneras se aprecia en la tabla 4.11.

Una vez calculado el GSI se tiene que el macizo corresponde a una roca de clase media, moderadamente meteorizado, con superficie alterada y roca perturbada y fracturada.

**Tabla 4. 11** Parámetros y clasificación GSI del talud 2

Zona	SR	SCR				GSI	
		Rr	Rw	Rf	SCR		
I	<b>19</b>	5	4	4	<b>13</b>	42	31
II	<b>20</b>	3	5	2	<b>10</b>	35	
III	<b>18</b>	3	1	4	<b>8</b>	32	
IV	<b>20</b>	3	5	6	<b>14</b>	44	
V	<b>19</b>	3	5	0	<b>8</b>	31	
VI	<b>19</b>	6	1	4	<b>11</b>	37	

www.bdigital.ula.ve

*SMR del Talud 2*

Se puede apreciar en la tabla 4.12 los parámetros medidos en campo que corresponde al SMR de Romana para el talud 3, en donde se aprecian valores correspondientes a un macizo rocoso con un valor mínimo de 11 que corresponde a una descripción de roca muy mala, totalmente inestable, con grandes roturas por planos continuos en donde se recomienda realizar una reexcavación en ciertos puntos del talud para generar la estabilización del mismo.

**Tabla 4. 12** Parámetros de SMR del talud 2

Zona	RMR	F1	F2	F3	F4	SMR		
I	48	0,68	0,7	-60	0	19	19	11
		0,45	0,7	-60	0	29		
		0	0	0	0	48		

II	61	0,68	0,7	-60	0	32	32
		0,45	0,7	-60	0	42	
		0	0	0	0	61	
III	42	0,68	0,7	-60	0	13	13
		0,45	0,7	-60	0	23	
		0	0	0	0	42	
IV	68	0,68	0,7	-60	0	39	39
		0,45	0,7	-60	0	49	
		0	0	0	0	68	
V	40	0,68	0,7	-60	0	11	11
		0,45	0,7	-60	0	21	
		0	0	0	0	48	
VI	49	0,68	0,7	-60	0	20	20
		0,45	0,7	-60	0	30	
		0	0	0	0	49	

### Clasificación geomecánica del Talud 3

www.bdigital.ula.ve

### RMR del Talud 3.

Aquí se muestra en la tabla 4.13 los datos medidos del RMR básico.

**Tabla 4. 13** Parametros de RMR Basico del talud 3

TALUD	ZONAS	RESISTENCIA DE LA MATRIZ	RQD	SEPARACIÓN DE LAS DIACLASAS	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA FREÁTICA	CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES
					LONGITUD	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN		
3	I	2	6	5	6	1	1	4	3	15	43
	II	7	13	15	6	0	3	2	5	15	66
	III	7	13	10	4	0	3	6	5	15	63
RMR CONSIDERADO											43

En este caso, el talud se subdividió en tres zonas como se indica en la Figura 4. , las características asociadas a la clasificación se muestran en la Tabla 4.14. Como se aprecia la zona I se clasifica como un macizo de clase V, calidad muy mala; en la zona II, se puede observar que el índice calculado da un valor de 41 clasificándose

como un macizo rocoso de clase III, calidad media y por último la zona III posee un índice de 38 el cual se clasifica como un macizo de clase IV de calidad mala.

**Tabla 4. 14** Clasificación del Macizo Rocosu de acuerdo a RMR de Bienawski para el talud 3

TALUD	ZONAS	RESISTENCIA DE LA MATRIZ	RQD	SEPARACIÓN DE LAS DIACLASAS	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA FREÁTICA	CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	TOTAL
					LONGITUD	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN			
3	I	2	6	5	6	1	1	4	3	15	25	18
	II	7	13	15	6	0	3	2	5	15	25	41
	IV	7	13	10	4	0	3	6	5	15	25	38
RMR CONSIDERADO												18



**Figura 4. 9** Zonificación del talud 3 para el cálculo del RMR

*GSI del Talud 3.*

En conformidad, se realizaron las mediciones que corresponden al SR y SCR del SMR de Romana del talud 3, obteniendo la tabla 4.15.

**Tabla 4. 15** Parámetros de GSI del talud 3

Zona	SR	SCR				GSI	
		Rr	Rw	Rf	SCR		
I	19	1	3	4	8	31	31

II	20	3	5	2	10	35	
III	20	3	5	6	14	34	

Es por ello que estos parámetros nos da la información correspondiente a una superficie del macizo rocoso, plana, moderadamente meteorizada y alterada, con un macizo rocoso fracturado y perturbado.

### *SMR del Talud 3.*

En la tabla se muestran los parámetros medidos y calculados correspondientes al talud 3 y al Slope Mass Rating de Romana, en donde se obtuvo un valor de 1 que corresponde a un macizo de clase V muy malo, totalmente inestable, con grandes roturas y continuidad con método de tratamiento recomendado de reexcavación.

**Tabla 4. 16** Parámetros de SMR del talud 3

Zona	RMR	F1	F2	F3	F4	SMR	
I	43	0,58	1	-60	0	8	1
		0,7	1	-60	0	1	
		0	0	0	0	43	
II	66	0,58	1	-60	0	31	24
		0,7	1	-60	0	24	
		0	0	0	0	66	
III	63	0,58	1	-60	0	28	21
		0,7	1	-60	0	21	
		0	0	0	0	63	

### *Análisis Cinemático*

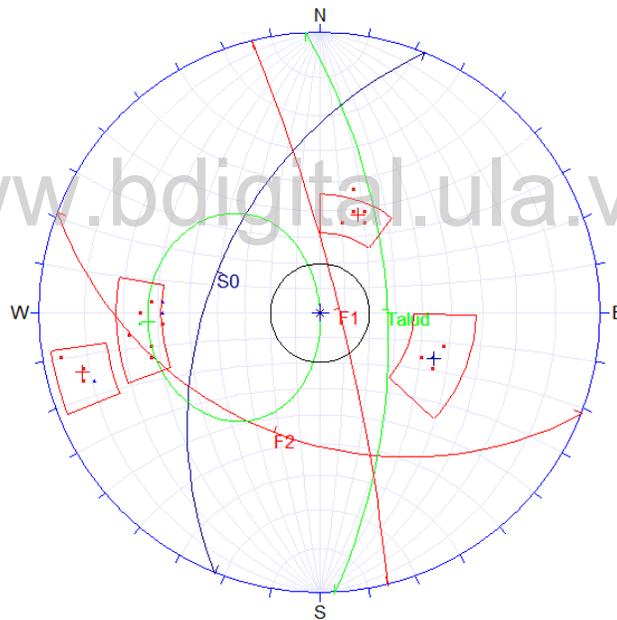
*Talud 1.* Como es sabido, el comportamiento mecánico de un macizo rocoso está altamente influenciado por las características de sus discontinuidades, en virtud de

esto y las clasificaciones geomecánicas obtenidas se realiza el análisis cinemático, los datos necesarios para su realización se muestran en la Tabla 4.17. A continuación se presentan los análisis para las diversas roturas que pudieran presentarse:

**Tabla 4. 17** Rumbos y buzamientos de las discontinuidades del talud 1

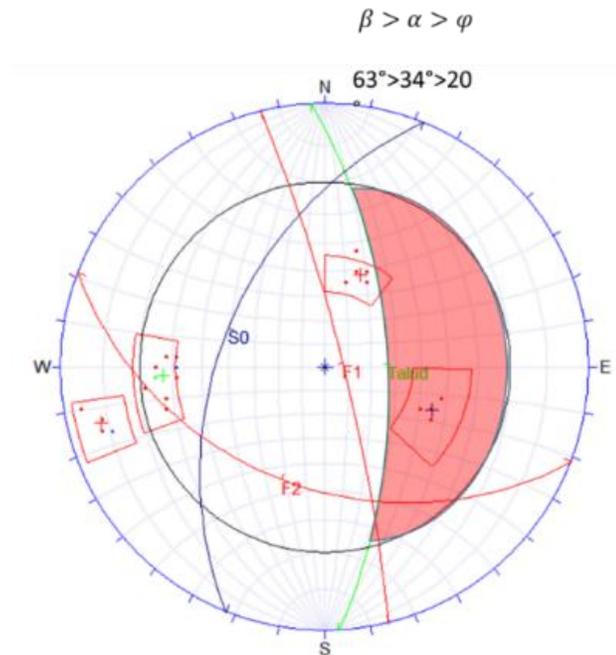
Talud 1				
Ubicación	Carretera Rafael Caldera			
Coordenada		N 0215552		
		E 0941699		
Medido por:	Roberto J Torres H			
	Rumbo	Buzamiento	Dip	Dip/Direction
Talud	NS	60E	60	90
Talud	N5E	62SE	62	95
Talud	N3E	59SE	59	93
Talud	NS	64E	64	90
Talud	N2W	60NE	60	88
Talud	NS	58E	58	90
Talud	N5E	60SE	60	95
Estratificación	N70E	45NW	45	295
Estratificación	N59E	48NW	48	284
Estratificación	N67E	47NW	47	292
Estratificación	N73E	50NW	50	298
Estratificación	N68E	45NW	45	293
Diaclasas	N15W	83NE	83	75
Diaclasas	N16W	80NE	80	74
Diaclasas	N17W	79NE	79	73
Diaclasas	N10W	85NE	85	80
Diaclasas	N14W	83NE	83	76
Diaclasas	N5W	64NE	64	85
Diaclasas	N13W	64NE	64	77
Diaclasas	N3W	65NE	65	87
Diaclasas	N5W	67NE	67	85
Diaclasas	N8W	70NE	70	82
Diaclasas	N10W	63NE	63	80
Diaclasas	N70E	40SE	40	200
Diaclasas	N75E	45SE	45	205
Diaclasas	N68E	48SE	48	198
Diaclasas	N66E	38SE	38	196
Diaclasas	N73E	40SE	40	203

*Rotura Plana:* Dadas las condiciones de inestabilidad propuestas por Hoek y Brown (1981)[41]  $\beta > \alpha > \phi$ , las condiciones para la rotura plana no se cumplen, pero se encuentra en una condición muy cercana, por lo que no se descarta la probabilidad de ocurrencia, de todas formas se analizó por el método de Markland y dentro de la zona de inestabilidad caen ciertos polos por lo que existe la rotura, en cualquier momento que se modifique el estado actual tales condiciones producto de la saturación en períodos de lluvia, modificación de la geometría, por citar algunos, podría significar la inestabilidad.



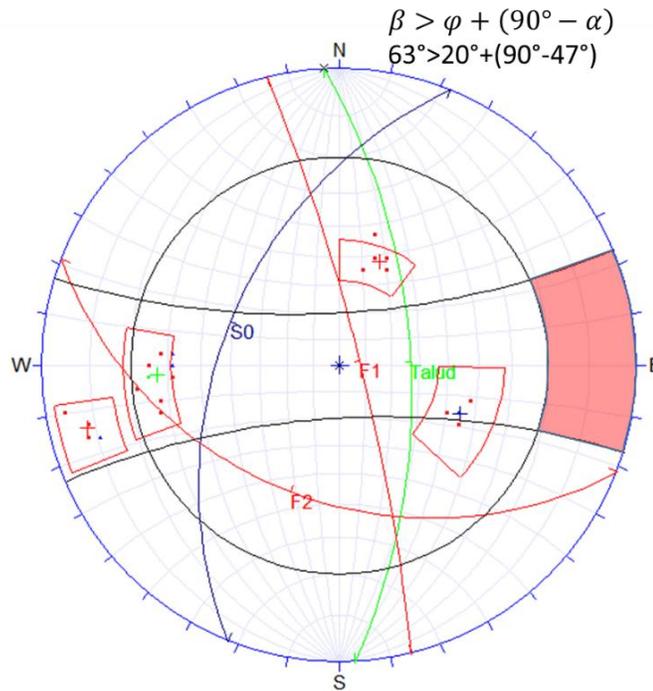
**Figura 4. 6** Proyección estereográfica y análisis de rotura plana talud 1

*Rotura en Cuña:* De igual manera la condición para que exista la rotura en cuña se tiene que es estable pero la misma se encuentra muy cercana al talud y por ende la posibilidad que falle es baja pero no descartable, entre las familias F2 y F1. (Figura 4. 710).



**Figura 4. 7** Proyección estereográfica y análisis de rotura en cuña talud 1

*Rotura por Vuelco:* Las condiciones para que exista la rotura por vuelco son  $\beta > \varphi + (90 - \alpha)$  y que el plano de discontinuidad sea paralelo (más o menos 20 grados) con relación del plano del talud. Se tiene que la primera condición se cumple entre S0 y el talud, a saber  $63^\circ > 20^\circ + (90^\circ - 47^\circ)$ , sin embargo el paralelismo asociado no se cumple, sin embargo por lo cercano que se encuentra a la condición solicitada (Figura 4. 8) no se descarta la ocurrencia de la rotura por vuelco.



**Figura 4. 8** Proyección estereográfica y análisis por vuelco del talud 1

*Talud 2*

Se sigue la misma línea mostrada en el apartado anterior, en este sentido los datos de orientación espacial de las discontinuidades y el talud se muestran en la Tabla 4. 18, con base a estos se desarrollaron las proyecciones estereográficas y los análisis de las roturas que se muestran en los puntos subsecuentes.

*Rotura Plana:* Para la rotura plana se cumple con las condiciones, con lo cual se podría decir que es solo es cuestión de tiempo para que ocurra el movimiento, entre las discontinuidades F1 con el corte del talud, debe ocurrir un evento desencadenante para la existencia de la mencionada falla. Esta condición se observa en la Figura 4. 9.

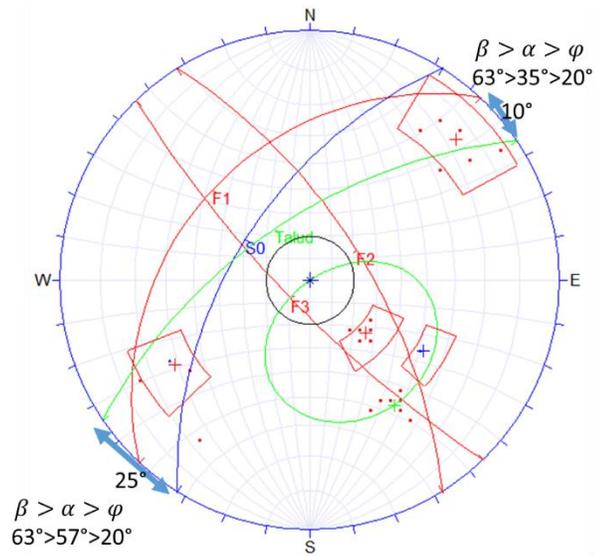
**Tabla 4. 18** Rumbos y buzamientos de las discontinuidades del talud 2

Talud 2				
Ubicación	Carretera Rafael Caldera			
Coordenada	N 0215274			
	E 0942884			
Medido por:	Roberto J Torres H			
	Rumbo	Buzamiento	Dip	Dip/Direction
Talud	N55E	60NW	60	325
Talud	N55E	63NW	63	325
Talud	N54E	62NW	62	324
Talud	N49E	59NW	59	319
Talud	N55E	68NW	68	325
Estratificación	N32E	56NW	56	302
Estratificación	N31E	56NW	56	301
Estratificación	N62E	58NW	58	332
Estratificación	N32E	33NW	33	302
Estratificación	N63E	59NW	59	333
Diaclasas	N30W	65NE	65	60
Diaclasas	N55W	76NE	76	35
Diaclasas	N29W	77NE	77	59
Diaclasas	N37W	62NE	62	53
Diaclasas	N30W	67NE	67	60
Diaclasas	N50E	35NW	35	320
Diaclasas	N43E	37NW	37	313
Diaclasas	N41E	37NW	37	311
Diaclasas	N52E	30NW	30	322
Diaclasas	N42E	32NW	32	312
Diaclasas	N53W	79SW	79	233
Diaclasas	N55W	85SW	85	235
Diaclasas	N35W	73SW	73	215
Diaclasas	N45W	80SW	80	225
Diaclasas	N39W	79SW	79	219
Diaclasas	N50W	70SW	70	230

*Rotura en Cuña:* De igual manera la condición para que exista la rotura en cuña, se tiene que se debe cumplir que  $\beta > \alpha > \phi$ , donde  $\alpha$  es el buzamiento de la línea de intersección entre las dos discontinuidades presentes en la localidad la intersección entre las discontinuidades,  $\beta$  es el ángulo del talud con respecto a la horizontal.

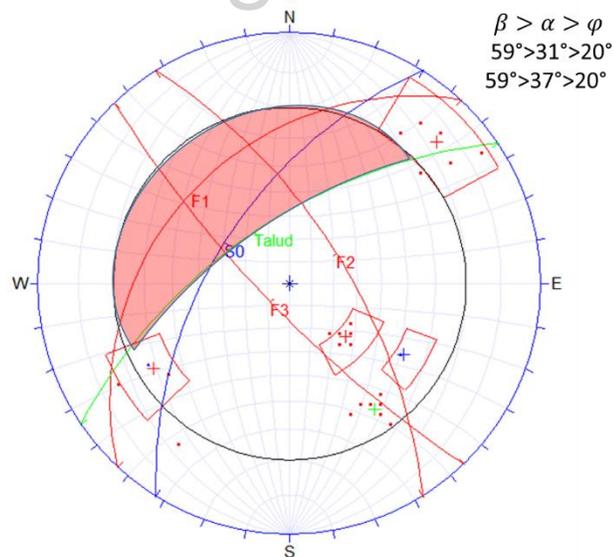
Este talud se analiza de acuerdo a la Figura 4. 10, en donde se cumple con la condición inestable en dos familias de discontinuidades que se puede apreciar entre las discontinuidades F1 y F3, F1 con F2, S0 y F3, S0 y F2, de la figura mencionada

todas esas intersecciones dentro de la zona delineada como zona de inestabilidad de acuerdo a las condiciones del sector bajo estudio.



**Figura 4. 9** Representación estereográfica y análisis de falla plana en el talud 2.

www.bdigital.ula.ve



**Figura 4. 10** Representación estereográfica y análisis de falla por cuña en el talud 2.

*Talud 3*

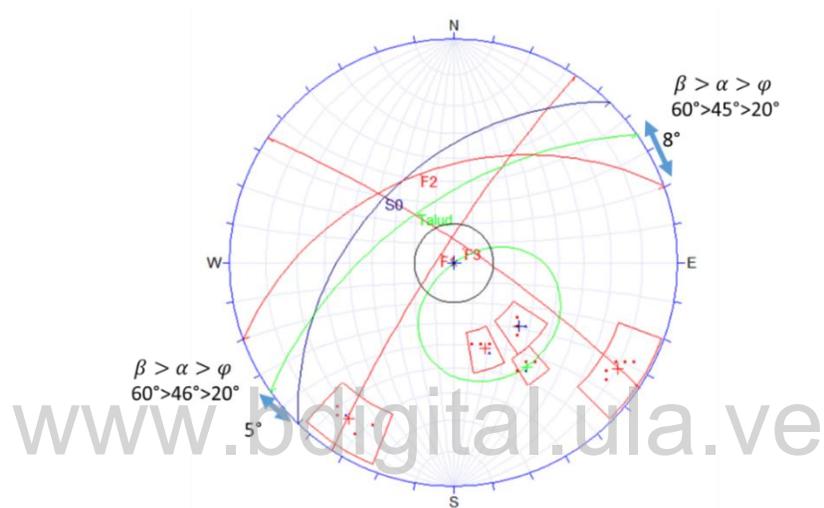
Tabla 4. 19 se indican los diferentes rumbos y buzamientos medidos en campo.

**Tabla 4. 19** Rumbos y buzamientos de las discontinuidades del talud 2

Talud 3				
Ubicación	Carretera Rafael Caldera			
Coordenada	N 0215652			
	E 0943392			
Medido por:	Roberto J Torres H			
	Rumbo	Buzamiento	Dip	Dip/Direction
Talud	N55E	60NW	60	325
Talud	N50E	58NW	58	320
Talud	N53E	57NW	57	323
Talud	N58E	59NW	59	328
Talud	N57E	60NW	60	327
Estratificación	N45E	42NW	42	315
Estratificación	N39E	40NW	40	309
Estratificación	N43E	45NW	45	313
Estratificación	N48E	46NW	46	318
Estratificación	N43E	45NW	45	313
Diaclasas	N35W	80NE	80	35
Diaclasas	N25W	78NE	78	25
Diaclasas	N29W	82NE	82	29
Diaclasas	N38W	81NE	81	38
Diaclasas	N35W	79NE	79	35
Diaclasas	N40W	80NE	80	40
Diaclasas	N70E	45NW	45	340
Diaclasas	N67E	44NW	44	337
Diaclasas	N78E	39NW	39	348
Diaclasas	N68E	47NW	47	338
Diaclasas	N70E	44NW	44	340
Diaclasas	N30E	82NW	82	300
Diaclasas	N29E	85NW	85	299
Diaclasas	N37E	82NW	82	307
Diaclasas	N35E	79NW	79	305
Diaclasas	N32E	81NW	81	302

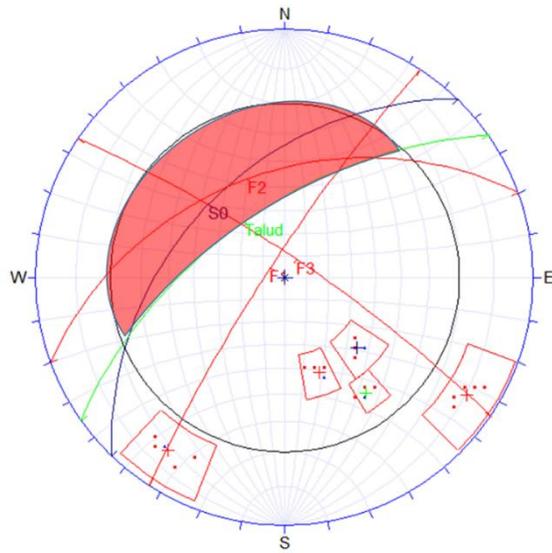
*Rotura Plana:* Las condiciones de Hoek y Brown (1981)[41] se cumplen, por ello se podría decir que va a ocurrir el evento. Como se puede observar en la Figura 4. 11

existe la posibilidad de que se generen dos roturas planas, entre la discontinuidad y la estratificación con el talud. Adicionalmente de acuerdo con el método de Markland se tiene que los polos de las discontinuidades F2 y S0 cumple que los polos se encuentran dentro de la zona inestable, fuera del círculo de fricción pero dentro del cono proyectado del talud visible en la figura de color verde.



**Figura 4. 11** Análisis cinemático para la rotura plana del talud 3

*Rotura en Cuña:* Como se aprecia en la Figura 4. 125 existe la posibilidad de múltiples fallas por cuñas, identificados en la figura como, S0 con F3, en conjunto a F2 con S0, F1 con F2 y F3 con F2 por lo que se hace constante el deslizamiento que ocurre en el sector, y evidenciable en cualquier parte de la calzada donde se aprecian los diferentes impactos de roca.



**Figura 4. 12** Análisis cinemático para la rotura por cuña del talud 3.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPÍTULO V

### Análisis de los resultados

En líneas generales una vez presentados los resultados, se procede a realizar un análisis exhaustivo de los parámetros para compararlos entre si y lograr generar conclusiones referentes al análisis de riesgo, al cual se refiere la presente investigación, por ende se observara en primer lugar los resultados de la Metodología de Luis Fonseca y otros (2010) [31], para posteriormente realizar un conjunto de correcciones, al método para mejorarlo en conformidad a la realidad presente en la vía.

*Análisis de Riesgo por la metodología de Luis Fonseca y otros (2010).*

Dentro de esta metodología es importante recalcar que los conceptos utilizados referentes a riesgo, no cumplen satisfactoriamente con los parámetros definidos por la Organización de Naciones Unidas.

#### *Altura máxima del Talud*

Es importante plantearse la duda que aparece al momento de analizar taludes con alturas mayores a 30 metros; aunque a nivel de seguridad vial se recomienda que los mismos no posean dicha altura, existen taludes antiguos que sobrepasan la altura máxima propuesta, no haciéndose suficiente el valor ponderado en la ecuación final (Ec. 2).

#### *Cuneta de Intercepción*

El segundo parámetro a considerar es la utilización del término “cuneta de intercepción”, puesto que el objetivo de la misma es recolectar y canalizar las aguas

de escorrentía superficial. Si bien se reconoce que pudieran tener un papel importante en la retención del material desprendido del talud y evitar que llegue a la calzada, se propone el uso del término “berma de seguridad” ya que si se prevén deslizamientos es prudente diseñar un pequeño espacio para tal fin que permita interceptar los diferentes desprendimientos de roca del talud.

#### *Riesgo Medio por Vehículo*

El tercer punto corresponde al riesgo medio por vehículo siendo uno de los parámetros en los que se basa fundamentalmente el método, realizando dos acotaciones fundamentales:

- El mismo sólo puede aplicarse en tramos de talud relativamente cortos ya que de lo contrario se calculan valores mayores al 100% y aunque se realiza la acotación de que si existiesen esos valores, corresponden a la presencia de más vehículos en la sección de análisis, y no necesariamente significa un riesgo real si no, que se le asigna un valor máximo presente de acuerdo a la tabla correspondiente.
- En lugares donde exista un tráfico muy alto, es difícil la aplicación e interpretación de los resultados obtenidos haciéndolo confuso, porque en el tramo bajo estudio se presentan más de un vehículo.

#### *Distancia de Visibilidad*

El cuarto parámetro a analizar corresponde a la distancia de visibilidad, si bien se encuentra ligada a la velocidad que desarrolla el vehículo, de igual manera está asociada a la geometría de la vía y la visual que posee el conductor, por lo que se vincula también al tipo vehículo que utilice, haciendo el estudio de esta variable más complejo de lo que realmente se representa en la metodología, y se mejora por medio de la determinación de un cono de visibilidad, que no es diferente al cálculo necesario para la ubicación y tamaño de la señalización vertical de una carretera, solo con la

variante relacionada a la altura que posea el talud o masa del talud propensa a deslizarse, y con ello generar una distancia de visión acorde.

Cabe destacar que la ecuación utilizada para calcular el porcentaje de visibilidad es

$$\%Visibilidad = \frac{Longitud\ del\ Tramo\ [m]}{Distancia\ de\ Visibilidad\ [m]} * 100 \quad Ec.2$$

En donde la distancia de visibilidad se encuentra tabulada de acuerdo a la velocidad propuesta para la vía. En longitudes de tramos mayores a 350 metros el porcentaje de visibilidad resultó mayor a 100%. Dicho resultado se pueden observar en la tabla 5.1. En función de los valores obtenidos para el porcentaje de Visibilidad calculados por la ecuación 2, se tiene que el mismo supera el 100% en cualquier momento. Esto conduce a una reformulación de la ecuación, invirtiendo el cociente propuesto por Luis Fonseca y otros (2010) para que el valor máximo obtenido sea el máximo de 100 correspondiendo a lo tabulado en la tabla 2.4.

$$\%Visibilidad = \frac{Distancia\ de\ Visibilidad\ [m]}{Longitud\ del\ Tramo\ [m]} * 100 \quad Ec. 11$$

Se podría mantener la ponderación que se le daría al resultado obtenido, es decir, 5 para el 100% de visibilidad y un peso de 80 para resultados menores a 40%, en consonancia a la tabla 2.4. Con esta corrección el método queda con los siguientes valores.

**Tabla 5. 1** de valores corregidos de la distancia de Visibilidad método de Luis Fonseca y otros (2010)

Parámetro Medido	Talud 1		Talud 2		Talud 3	
	Medición	Puntaje	Medición	Puntaje	Medición	Puntaje
Altura de Talud	4 m	5	30 m	80	80 m	80
Efectividad de la Cuneta	3 m	30	15 m	30	2 m	30
Riesgo Medio por Vehículo	96%	80	288%	80	96%	80

Distancia de Visibilidad		60%	30	56%	30	60%	30	
Ancho de Calzada		10 m	30	11 m	10	12 m	10	
Características Geológicas	Caso I	Condición estructural	Diaclasas discontinuas desfavorables	30	Diaclasas discontinuas desfavorables	30	Diaclasas discontinuas desfavorables	
		Fricción Rugosidad	Rugosa Irregular	5	Rugosa Irregular	5	Rugosa Irregular	5
	Caso II	Condición Estructural	Erosión Ocasional	10	Erosión Ocasional	10	Erosión Ocasional	10
		Grados de Erosión	Pequeña diferencia	5	Pequeña diferencia	5	Pequeña diferencia	5
Tamaño del bloque		0,3 m3	5	0,6 m3	10	0,3 m3	5	
Condiciones Climáticas		Precipitación moderada	10	Precipitación moderada	10	Precipitación moderada	10	
Historial de desprendimiento		pocos	5	muchos	30	muchos	30	
Análisis por desprendimiento		23		34		34		

Otra manera de estudiar la distancia de visibilidad surge empleando la siguiente expresión, válida para la implementación de señalización vertical, diseñada por el ministerio de transporte y obras públicas del Perú, (1998)[49]:

$$T(s) = 0,31 * N + 1,94 \quad \text{Ec. 13}$$

Donde: T= tiempo de lectura

N= número de letras, que para efectos sería la visión a la masa deslizada (1 letra, 1 roca).

El valor de tiempo calculado con la ecuación 5.3 se introduce en la ecuación 5.4 y así se obtiene la distancia de visibilidad (d).

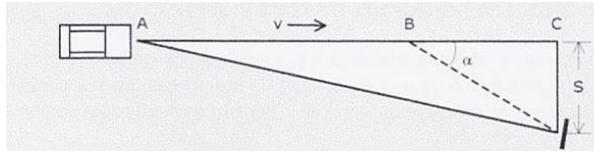
$$d = S - \frac{vT}{3,6} \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde: S, es la distancia entre los ejes del vehículo y el punto visual

$v$ , es la velocidad del vehículo

$T$ , es el tiempo de visión (ver figura 5.1)

Con el valor calculado de esta ecuación, se puede entrar en la Tabla 2. 5 y determinar el valor del parámetro distancia de visibilidad, de manera precisa.



**Figura 5.1.** Esquema para el cálculo de la distancia de visibilidad, basado en la señalización vertical.

Con esta corrección, el método quedaría bajo la aplicación de la siguiente manera.

**Tabla 5. 2** Corrección del método de Fonseca - Quintana con vehículo en movimiento

Parámetro Medido	Talud 1		Talud 2		Talud 3	
	Medición	Puntaje	Medición	Puntaje	Medición	Puntaje
Distancia de Visibilidad	22%	80	44%	80	22%	80
Análisis por desprendimiento	30		41		40	

### *Características Geológicas*

Con respecto a las características geológicas se discrimina en la Metodología de Luis Fonseca y otros (2010) [31] dos casos, en función a la condición estructural (diaclasas) y fricción presente en las diaclasas y el segundo caso corresponde a condición estructural (grado de erosión) y diferencia entre los grados de erosión (Tabla 2. 6 a Tabla 2. 9 de la pág. 19-20). Con ello, es importante señalar que para verificar dichos valores se presenta la ambigüedad y lo subjetivo que el analista pueda ver al momento de realizar el estudio, al no contar con parámetros medibles o comparables a lo largo de lo que corresponde a la matriz y nivel de diaclasamiento y lo favorable o no al deslizamiento que pudiera ocurrir.

Hoy en día existen un conjunto de métodos que han sido corregidos y aprobados por diferentes geotecnistas que permiten disminuir el nivel de mediciones subjetivas

asociadas a la calidad de los macizos rocosos como el RMR, GSI, Índice Q o SMR. Se recomienda el uso de aquellos sistemas de clasificación que estén comprendidos en valores entre 0 y 100 para poder cumplir con uno de los parámetros necesarios para la determinación del riesgo por desprendimiento de rocas en taludes, en el sentido de relacionarlos con el volumen del material desprendido si se considera la distribución espacial de las diaclasas en función del RQD y la separación y continuidad de las mismas.

#### *Condiciones Climáticas*

Con respecto a las condiciones climáticas denominado como agente detonante, cabe destacar que existen países tropicales donde el parámetro deshielo no aplica, por lo que se debe realizar una acotación para que sea aplicado en países donde el hielo y deshielo no ocurran.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

#### Análisis Estadístico:

En el análisis de la distribución de Poisson se tiene que la probabilidad de que un vehículo este transitando en un segundo específico de la carretera en estudio, en el período más transitado de la vía es de 0.90, esto indica la probabilidad de que ocurra el evento B.

De la Tabla 5. 3 a la Tabla 5.6, muestran en resumen los resultados obtenidos para los taludes en estudio, empleando la metodología propuesta en esta investigación para el análisis de riesgo por desprendimiento, para cada uno de los sistemas de clasificaciones de los macizos rocosos planteados en la investigación.

Por su parte, la Tabla 5. 7 exhibe la comparación numérica realizada entre los métodos de Luis Fonseca y otros (2010) [31] y experimental.

Para comparar cada método se debe considerar los rangos por medio de los cuales se mide la intensidad del riesgo y que son relativamente iguales de 0 a 35 el rango de bajo riesgo, de 36 a 60 riesgo medio y por ultimo de 61 a 100 riesgo alto.

**Tabla 5. 3** Resumen del Método Experimental RMR Básico

Talud	Estabilidad Cinemática		RMR básico	100-RMRb	P(A)	Poisson P(B)	Resultado
	Rotura	Valoración					
Talud 1	Plana	1	38	62	62	0,9	55,8
	Cuña	0	38	62	0	0,9	0
	Vuelco	0	38	62	0	0,9	0
Talud 2	Plana	1	40	60	60	0,9	54
	Cuña	1	40	60	60	0,9	54
	Vuelco	0	40	60	0	0,9	0
Talud 3	Plana	1	43	57	57	0,9	51,3
	Cuña	1	43	57	57	0,9	51,3
	Vuelco	0	43	57	0	0,9	0

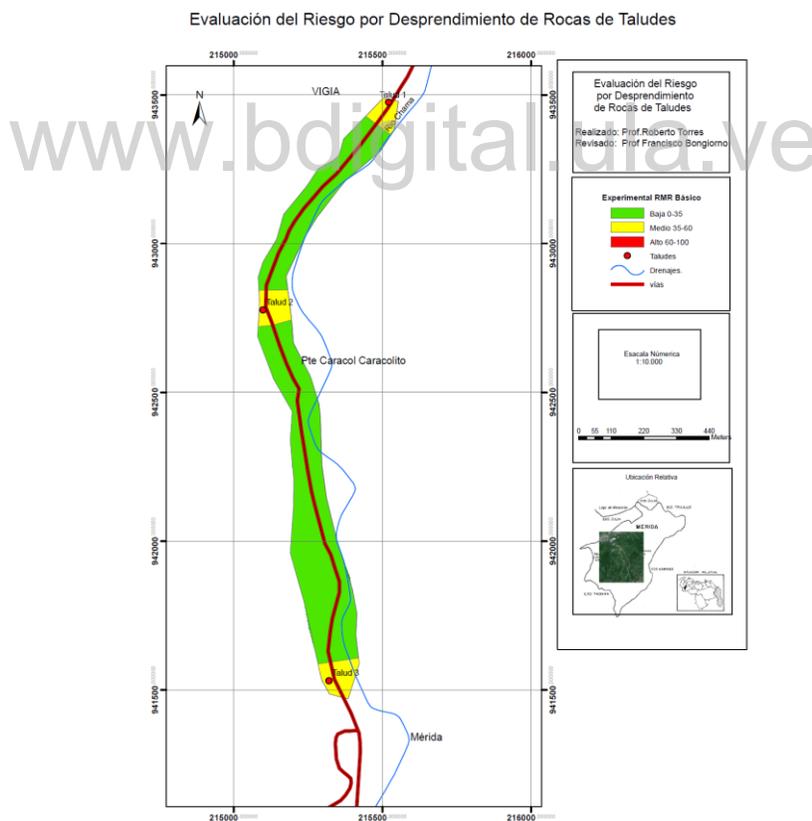


Figura 5.2 Mapa que representa el riesgo con RMR básico

**Tabla 5. 4** Resumen del Método Experimental RMR

Talud	Estabilidad Cinemática		RMR	100-RMR	P(A)	Poisson P(B)	Resultado
	Rotura	Valoración					
Talud 1	Plana	1	13	87	87	0,9	78,3
	Cuña	0	13	87	0	0,9	0
	Vuelco	0	13	87	0	0,9	0
Talud 2	Plana	1	15	85	85	0,9	76,5
	Cuña	1	15	85	85	0,9	76,5
	Vuelco	0	15	85	0	0,9	0
Talud 3	Plana	1	18	82	82	0,9	73,8
	Cuña	1	18	82	82	0,9	73,8
	Vuelco	0	18	82	0	0,9	0

Evaluación del Riesgo por Desprendimiento de Rocas de Taludes

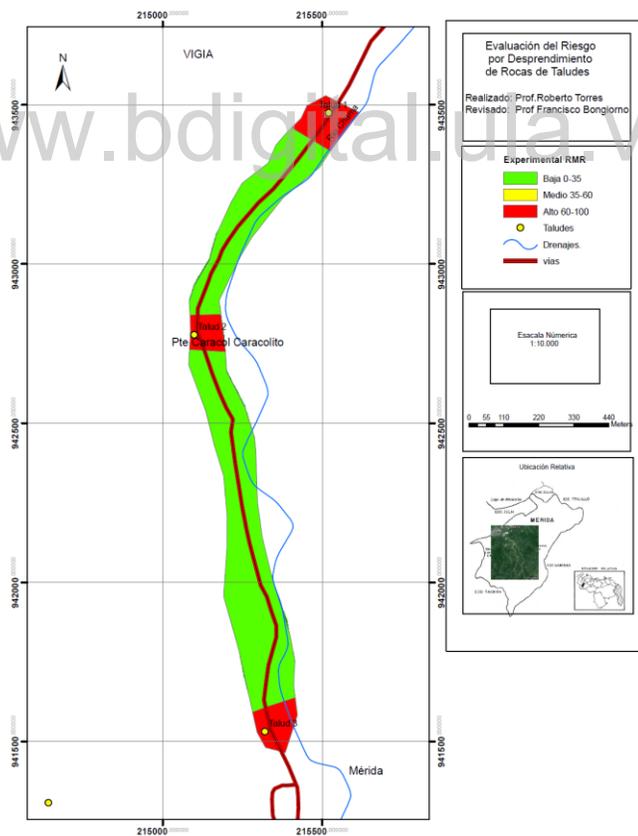


Figura 5.3 Mapa que representa el riesgo con RMR

**Tabla 5. 5** Resumen del Método Experimental GSI

Talud	Estabilidad Cinemática		GSI	100-GSI	P(A)	Poisson P(B)	Resultado
	Rotura	Valoración					
Talud 1	Plana	1	31	69	69	0,9	62,1
	Cuña	0	31	69	0	0,9	0
	Vuelco	0	31	69	0	0,9	0
Talud 2	Plana	1	31	69	69	0,9	62,1
	Cuña	1	31	69	69	0,9	62,1
	Vuelco	0	31	69	0	0,9	0
Talud 3	Plana	1	31	69	69	0,9	62,1
	Cuña	1	31	69	69	0,9	62,1
	Vuelco	0	31	69	0	0,9	0

Evaluación del Riesgo por Desprendimiento de Rocas de Taludes

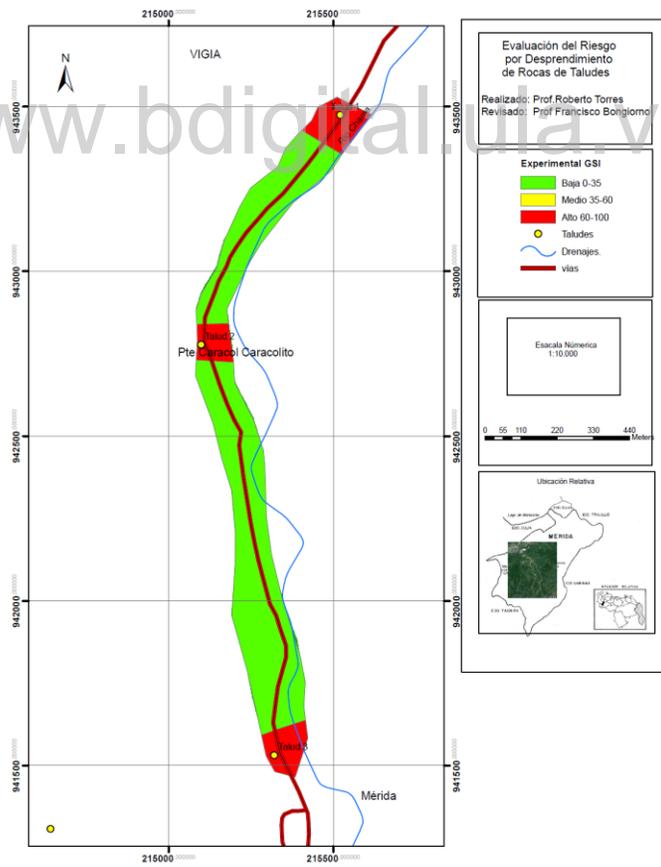


Figura 5.4 Mapa que representa el riesgo con GSI

**Tabla 5. 6** Resumen del Método Experimental SMR

Talud	Estabilidad Cinemática		SMR	100-SMR	P(A)	Poisson P(B)	Resultado
	Rotura	Valoración					
Talud 1	Plana	1	29	71	71	0,9	63,9
	Cuña	0	29	71	0	0,9	0
	Vuelco	0	29	71	0	0,9	0
Talud 2	Plana	1	11	89	89	0,9	80,1
	Cuña	1	11	89	89	0,9	80,1
	Vuelco	0	11	89	0	0,9	0
Talud 3	Plana	1	1	99	99	0,9	89,1
	Cuña	1	1	99	99	0,9	89,1
	Vuelco	0	1	99	0	0,9	0

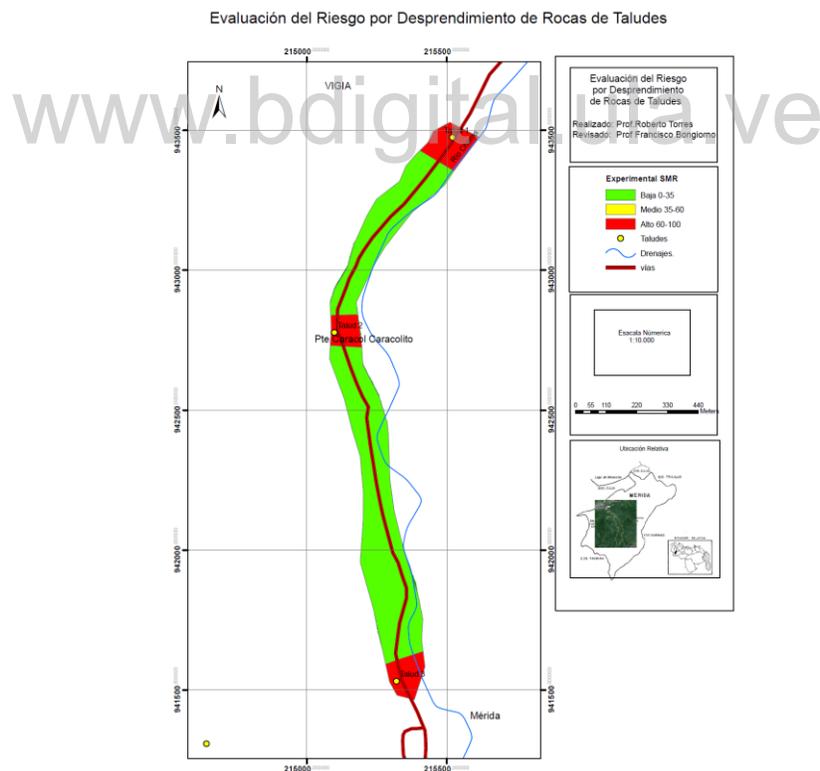


Figura 5.5 Mapa que representa el riesgo con SMR

**Tabla 5. 7** Comparación entre los Métodos Luis Fonseca – Quintana y experimental

Método	Talud 1	Talud 2	Talud 3
Luis Fonseca - Quintana	20	31	30
Luis Fonseca – Quintana Formula corregida	23	34	34
Luis Fonseca – Quintana Formula Propuesta	30	41	40
Experimental RMR Básico	55,8	54	51,3
Experimental RMR	78,3	76,2	78,3
Experimental GSI	62,1	62,1	62,1
Experimental SMR	63,9	80,1	89,1

Con respecto al Talud 1 según el método de Luis Fonseca y otros (2010) existe un riesgo bajo, mientras que en la metodología propuesta existe un riesgo prácticamente nulo debido a que las condiciones de estabilidad cinemática no se cumplen. Se observa de igual manera que no concuerdan los resultados a nivel numérico pero sí lo hacen en el rango de intensidad del riesgo.

En el talud 2 se aprecia un cambio significativo, para la metodología de Luis Fonseca y otros (2010) [31] el grado de riesgo es bajo aunque cercano a la intensidad media, mientras que el obtenido bajo la metodología experimental se encuentra en el rango de riesgo alto, lo cual cobra especial relevancia considerando lo observado en campo referente a la gran cantidad de impactos que ocurren en la calzada.

Para el talud 3, se tiene el mismo análisis puesto que los intervalos son exactamente los mismos, un bajo riesgo por el método de Luis Fonseca y otros (2010) y un riesgo elevado para la metodología propuesta.

## CONCLUSIONES

Luego de revisado los resultados y de realizar el análisis correspondiente a cada uno de ellos se tienen las siguientes conclusiones:

- El método de Luis Fonseca y otros (2010) [31] para la evaluación del riesgo por desprendimientos, es de fácil uso y está constituido por elementos viales y geológicos.
- Una vez analizados los parámetros correspondientes del método de Luis Fonseca y otros (2010) [31], el mismo, realiza un cálculo del nivel de peligrosidad que existe por desprendimientos, dando una susceptibilidad que poseen los vehículos al momento de transitar en el tramo en el que existe la posibilidad de la ocurrencia de un desprendimiento de rocas y que pueden impactar vehículos.
- La efectividad del Método de Luis Fonseca y otros (2010) se ve comprometido, dada la ambigüedad de algunos de sus datos, ya que por ejemplo el efecto de la cuneta (la cual fue diseñada para recolectar agua de escorrentía superficial) sirva para efectos de retención de clastos desprendidos naturalmente del talud.
- Luego de analizado 3 taludes bajo el método de Luis Fonseca y otros (2010), se procedió a realizar su caracterización geomecánica de los mismos, bajo los métodos de RMR Básico, RMR, GSI y SMR, realizando un análisis de riesgo en cada uno de ellos generando resultados más conservadores en respecto a los generados en el método de Luis Fonseca y otros (2010) [31].
- Otra de las limitantes del método de Luis Fonseca y otros (2010) [31] es, si el tramo en estudio es de gran magnitud y los conteos de vehículos son altos, el porcentaje de riesgo medio por vehículo es mayor a 100, por lo que no estaría dando un valor real, en términos de porcentaje, ya que condiciona a un solo

vehículo por sección en estudio. Aunque los autores realizan la corrección en el artículo, es bueno determinar el número real de vehículos en la sección, con mayor detalle en el momento de realizar el conteo.

- El método no especifica la longitud de los tramos, por lo que se infiere que deben ser cortos ya que de lo contrario el Riesgo Medio por Vehículo, daría mayor a 100 por ciento, en todo caso el parámetro asigna un valor relativamente alto para ambos casos.
- Es importante destacar que existe problemas en la ecuación 2, que corresponde al cálculo de distancia de visibilidad, por lo que se propone invertir el cociente como se encuentra en el Capítulo V en la ecuación, 12 modificada De igual manera se propone una alternativa de solución que corresponde al cálculo de distancia de visibilidad tomando en consideración que el vehículo se encuentra en movimiento como la ecuación 14 propuesta.
- Es interesante que el parámetro del tamaño del bloque sea en volumen, ya que las nuevas tendencias corresponden directamente a este parámetro volumen, ya que van abriendo paso al RQD como elemento determinante en la clasificación de los macizos rocosos, dejándolo a un lado, es por ello que, este parámetro, tamaño del bloque, se debe utilizar el tamaño de roca más grande medido y dependerá del RQD tanto medido, como el calculado y buscar el efecto intermedio entre la continuidad y el espaciamiento de las discontinuidades.
- El parámetro condiciones climatológicas corresponde a países donde ocurre hielo y deshielo por lo que los países tropicales no puede ser considerado, aunque exista un periodo de lluvia y otro de sequía y se deben correlacionar con estos parámetros.
- El método de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada, presenta parámetros muy subjetivos y dependerá de la apreciación del analista que aplique el método y es importante dejar a un lado parámetros

subjetivos, por metodologías que están aceptadas, o generar tablas o modelos de comparación de las condiciones geológicas bien sea en el caso I o el caso II.

- Por ende se aplicaron métodos reconocidos mundialmente para el verificar la calidad del macizo entendiéndose los diferentes métodos como el RMR de Bienawski, Índice Q de Barton, GSI de Hoek y el SRM de Romana, todos con la misma finalidad de determinar la calidad del macizo rocoso, pero en observación cada uno posee su individualidad, con lo que es importante aplicar cada uno de ellos. En el transcurso de la aplicación de los métodos, se pudo apreciar que el RMR, GSI, y SMR, vienen expresado de 0 a 100 (0 para la roca de mala calidad y 100 para macizo intacto), determinando con ello, que incluso con su corrección en función de la estructura en estudio, se puede utilizar para el cálculo de amenaza, si se considera la estabilidad cinemática, y como elemento desencadenante la presencia de agua del talud o las diferentes precipitaciones, saturando el material.
- Los métodos de cálculos de la calidad de macizos rocosos, son cualitativos tratando de generar un valor cuantitativo y dependerá del punto de vista del analista de campo, por lo que el parámetro debe ser lo más preciso posible
- Los análisis a nivel comparativo del método de Luis Fonseca y otros (2010) y el experimental, fueron realizados por el mismo analista porque se reduce el factor apreciación o subjetividad, en los parámetros geológicos. Aunque en este punto se debe realizar un apartado ya que la metodología de Roberto Luis Fonseca, Carles Raïmat Quintana y Josep Caba Muntada, representa una peligrosidad que genera el talud con respecto a un vehículo. por lo que se deben realizar reparaciones al mismo concluyéndose que una amenaza debe estar constituida con un elemento susceptible (que en nuestro caso es el talud), con elemento desencadenante (la lluvia o cualquier elemento que genere el cambio del factor de seguridad incluso un sismo), que en conjunto a la

presencia del elemento vulnerable, representado por el vehículo, nos dará el respectivo riesgo presente por el desprendimiento de rocas de los taludes.

- Los parámetros viales pueden ser medidos en cualquier parte, teniendo aceptación por todos los científicos sin dejar a un lado elementos primordiales al momento de realizar los conteos.
- Se pueden emplear verificar ambos métodos midiendo otros parámetros viales como: la brecha, el nivel de servicio y la capacidad, para correlacionar la cantidad de vehículos que se encuentran en la vía al momento de ocurrir la amenaza, dando un valor de vulnerabilidad. Si bien se buscó la probabilidad de la presencia de un vehículo el inverso la ausencia del mismo, servirá de comprobación o no del método.
- Las probabilidades explican eventos abstractos por lo que se deben revisar con detenimiento los resultados generando la confiabilidad del estudio.
- Con los sistemas de clasificación de los macizos rocosos y el análisis de estabilidad cinemático, nos indicara la posibilidad de la ocurrencia de la falla del talud, analizando parámetros geotécnicos y geológicos, establecidos claramente en la tabla 5.7.
- La distribución de Poisson tiene limitante que solo se debe aplicar si existe flujo libre en los vehículos en el análisis, por lo que se debe tener en consideración al momento de realizar las mediciones.
- Se debe verificar que para la susceptibilidad a derrumbarse el talud, en el método de Luis Fonseca y otros (2010) se tienen valores o rangos para definir la peligrosidad, y de acuerdo a la gravedad se pueden estipular recomendaciones para la acción a tomar en función a los correctivos para disminuir o mitigar la amenaza.
- El análisis del riesgo por la metodología experimental se puede verificar con mayor facilidad dado a que corresponde a parámetros cuantitativos aunque su descripción geológica y geotécnica son cualitativos.

## RECOMENDACIONES

- El método de Luis Fonseca, Cabat y Quintana, forma una herramienta sencilla de utilizar, pero para evitar ambigüedades al momento de aplicar se recomienda que se utilice la ecuación 5.1 para el cálculo de la distancia de visibilidad.
- De igual manera se puede utilizar para el método de Luis Fonseca y otros (2010) en el punto de las condiciones geológicas evitando problemas sobre ¿cuál de los casos utilizar?, colocar el análisis directo del RMR o cualquiera de los métodos de clasificación de los macizos rocosos y valorándolo en la tabla correspondiente a la puntuación del método.
- De igual manera el método de Luis Fonseca y otros (2010) [31] puede seguir usando tomando en consideración elementos geotécnicos aceptados a nivel mundial como RMR o GSI o cualquier otro haciendo la conversión de 100 – RMR para con ello tener una amenaza posible del desprendimiento en conjunto a la estabilidad cinemática.
- Se recomienda que existan medidas de soluciones o mitigaciones de los taludes en función a cada nivel de amenaza.
- Se pueden realizar estudios referentes al factor de seguridad del talud en rocas, y que de acuerdo a la variabilidad de los parámetros de estabilidad continuar los estudios referentes a los parámetros estadísticos que pudieran sugerir al aplicar las presentes correcciones realizadas.
- Se pueden continuar las campañas de medición y poder complementar con cada caso diferentes experiencias y complementar las observaciones realizadas en la presente investigación.

## REFERENCIAS:

- [1] Albarracín, O. y Gómez, D. (2009). *Caracterización y Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosó del sector La Sierra, Sogamoso, Boyacá, Colombia*. Disponible en línea: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/caracterizacion-geomecanica-macizorocoso-sierra/caracterizacion-geomecanica-macizo-rocoso-sierra.pdf>.
- [2] Alonso, F. (2007). *Ingeniería Geológica: Caracterización de Macizos rocosos*. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo. Disponible en: <http://petro.uniovi.es/Docencia/iga/1MacizosRoc07.pdf>.
- [3] Alpízar, A. (2012). *Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales*. XI Congreso Nacional de Geotecnia, Congeo, Costa Rica.
- [4] Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. (5ta edición). Caracas: Venezuela. Episteme.
- [5] Arias, F. (1999). *El Proyecto de investigación: Guía para su elaboración*. 3ra. Edición. Caracas: Episteme. Disponible en: <http://www.upn.edu.mx/docs/Elproyectodeinv.pdf>
- [6] Armas, J. (2004). *Cartografía Geológica estructural del valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Tamps, México*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias de La Tierra. Disponible en: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020149840/1020149840.html>
- [7] Ayala, F., y Olcina J. (2002). *Riesgos Naturales*. Barcelona- España: Editorial Ariel Ciencia.
- [8] Azuarte, D. (2004). *Caracterización Geológica y Geomecánica de los macizos rocosos de la sección Guatire- Cauagua de la Autopista Rómulo*

**Betancourt, Estado Miranda.** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas- Venezuela. Disponible en:<http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/581/1/TEG%20Azuarte%20Daniel.pdf>

- [9] Barton, N. (2011). *Técnicas y experiencias más recientes en el diseño y estabilización de excavaciones en rocas para obras civiles en geologías complejas Curso Regional, Costa Rica.*
- [10] Barrios, M., Flores, L. (2007). *Estudio Geológico – Geotécnico de la autopista Rafael Caldera, entre los sectores el Caracol y la Quebrada el Diablo, del Municipio Alberto Adriani del Estado Mérida.* Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Geológico. Mérida: Venezuela. Universidad de los Andes.
- [11] Belandria, N. y Bongiorno, (2012). *Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana. Guía práctica didáctica de geotecnia aplicada.* Universidad de Los Andes: Mérida-Venezuela.
- [12] Belandria, N y Bongiorno, F. (2012). *Clasificación geomecánica de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana.* Geotecnia aplicada. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geológica. Grupo de investigación en geología aplicada (GIGA). Disponible en:  
[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia\\_geotecnia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf)
- [13] Bienawski, Z.T. (1979). “*The geomechanics classification in rock engineering applications*”. Proc. 4<sup>th</sup> Internacional Conference on Rock Mechanics. Montreaux. Balkema Vol.2.
- [14] Boesi, T, Higgs, R, Lorente, M.A., Mompert, L, Testamark, J .S Falcón, R. (1993). “*Facies and sedimentary environments of the cretaceous La Luna Formation in San Pedro del Rio Section, Venezuelan Andes: A multidisciplinary study*”. Conferencia Internacional. Venezuela.

- [15] Bongiorno, F., Diaz E., Jimenez, E., y Belandria N., (2011) “*Estudio geomorfológico aplicado a las susceptibilidad de terrenos en la cuenca alta del Río Albarregas, para la gestión de riesgo en el área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida*”. Revista Geominas. Universidad de Oriente. Vol 39. Nº 35. pp 26 – 29. Agosto 2011.
- [16] Bongiorno, F., Monsalve, Z., Belandria, N., y Montilla N., (2010) “*Evaluación geotécnica del Río El Topo, autopista Caracas – La Guaira, Venezuela*” Revista Ciencia e Ingeniería. Universidad de los Andes. Vol 31, Nº 1. pp 25 – 32. Diciembre – Marzo 2010.
- [17] Cabrera, M. (2010). *Influencia de la persistencia de una familia de discontinuidades en la estabilidad frente al deslizamiento de una presa de gravedad*. Trabajo de fin de Máster. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: [http://oa.upm.es/4517/1/TESIS\\_MASTER\\_MIRIAM\\_CABRERA\\_CARPIO.pdf](http://oa.upm.es/4517/1/TESIS_MASTER_MIRIAM_CABRERA_CARPIO.pdf)
- [18] Cáceres, V. (sf). *Aplicación de la Mecánica de rocas en el diseño de túneles (según Barton y Bieniawski)*. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/mecanica-tuneles.html>
- [19] Carrillo, M.; Linkiner, L.; Rodríguez, A. y Zuñiga, H. (2002). *Clasificación Geomecánica y análisis de estabilidad de taludes del macizo rocoso Coris, Cartago, Costa Rica*. Revista Geológica de América Central, 26: 91-96. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. Disponible en: <http://www.geo.arizona.edu/~linkimer/Publications/26-CARRILLO.pdf>
- [20] Cartaya, M. (2001). *Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obras Subterráneas de la región Oriental del País*. (Resumen de tesis doctoral). Minería y Geología, vol.22, núm. 3, Julio-Septiembre, 2006. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2235/223517652004.pdf>
- [21] Carter, T. y Castro, L. (2007). *Anexo B: Clasificación del macizo rocoso*. En: *Guía para la evaluación de la estabilidad de los pilares corona*. Sub-sector minería. Dirección general de asuntos ambientales mineros. Ministerio de

Energía y Minas. República del Perú. Disponible en:  
[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/XXIV\\_Pilares\\_Corona.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/XXIV_Pilares_Corona.pdf)

- [22] Cenapred (s.f) Definición de taludes. [On line] Disponibles en:  
[http://www.cenapred.gob.mx/es/Glosario/Glosario\\_T.php](http://www.cenapred.gob.mx/es/Glosario/Glosario_T.php) [Consultado, 2012, enero, 26]
- [23] Chávez, M. (2003). *Geotécnia para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado* .[On line] Disponible en [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/aliaga\\_chm/geodina.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/aliaga_chm/geodina.pdf)[Consultado, 2012, Febrero, 26].
- [24] Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología– CVET (1997) “*Léxico Estratigráfico de Venezuela*”. 3era. Edición. Ministerio de Energía y Minas. Bol. Geo. Pub. Especial N°12. Caracas.
- [25] Copons, R. (2003). “*Los Desprendimientos*”. Terceres jornades del CRECIT. La didáctica dels riscos naturals. Centre de Batxillerat de l’Escola Andorrana
- [26] CORPOANDES (2002). *Municipio Alberto Adriani*. Disponible en:  
[http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia\\_informacion/MERIDA\\_2002/Municipal%202002%20PDF/Alberto%20Adriani.pdf](http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_informacion/MERIDA_2002/Municipal%202002%20PDF/Alberto%20Adriani.pdf)
- [27] DipAnalyst. *Kinematic Analysis Software for Rock Slope*. Recuperado en: 2012, Agosto 13, en <http://dipanalyst.com/Kinematic%20Analysis/Kinematic%20Analysis.html>
- [28] Duncan, W. & Christopher, M. (2005). *Rock slope engineering: Civil and mining (Ed. 4<sup>th</sup>)*. NewYork: Spon Press.
- [29] Duque, G. (2003). *Capítulo 12: Macizo Rocoso*. En: Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Disponible en: <http://www.galeon.com/manualgeo/geo12.pdf> Consultado, 2012, Enero, 29

- [30] Elberg, M., Vivas, J., Fernandez, V., Sosa, G. y González, L. (2011). *Análisis numérico de las discontinuidades del macizo rocoso de la autopista Rafael Caldera en Venezuela*. Ciencia e Ingeniería. [Online] 32:2.
- [31] Fonseca, R., Raïmat, C., y Caba, J. (2010). “*Aplicación de membranas flexibles para la prevención de riesgos naturales*”. Madrid-España: Editorial Geobruigg Ibérica S.A.
- [32] García A, A. (2005). *Inestabilidad de laderas: Mapas de Amenazas, recomendaciones técnicas para su elaboración*. Pp 1- 88.
- [33] Gavilanes, H. (sf). *Curso de explotación de canteras*. Tema: Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes. Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador. Disponible en: [http://www.aimecuador.org/capacitacion\\_archivos\\_pdf/Estabilidad\\_de\\_taludes.pdf](http://www.aimecuador.org/capacitacion_archivos_pdf/Estabilidad_de_taludes.pdf) Consultado, 2012, Enero, 29
- [34] *Geología Venezolana* (2000). Disponible en <http://geologiavenezolana.blogspot.com/2010/11/ingenieria-geologica.html>. Consulta: 2014, Agosto 13.
- [35] Goodman, R. (1980). “*Introductions to Rock Mechanics*”. Toronto John Wiley.
- [36] González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2004). “*Ingeniería Geológica*”. Madrid-España: Editorial Person Prentice Hall
- [37] González de Juana, C.; Stainforth, R.; Martín, C.; De Rivero, F.; Petzall, C.; Bellizzia, A. et al. (1970). *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología. Caracas. Editorial Sucre. Segunda edición.
- [38] Graciela, M. (2012, marzo 27). *Caja de herramientas para un Nuevourbanismo: los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Recuperado en agosto de 2012 en <http://www.laciudadviva.org/blogs/?p=13692> Consultado, 2012, Enero, 29

- [39] Hackley, P. *U.S. Geological Survey*. Disponible: <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038/>. Consulta: 2012, Mayo 15.
- [40] Hoek, E., Kaiser, P.K. & Bawden, W.F. (1995). **“Suport of underground excavations in hard rocks. Balkema”**.
- [41] Hoek, E. y Brown T. (1997). **“Practical estimates of rock mass strength”**. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Vol34. N° 8. pp 1665 -1186.
- [42] INGEOMIN. **“Estudio de susceptibilidad y amenazas geológicas con fines de socialización geocientífica”**. República Bolivariana de Venezuela.
- [43] Instituto Geológico y Minero de España (1987). **Manual de Taludes**. Serie: Geotecnia. Servicio de publicaciones I.G.M.E. Madrid.
- [44] Kanji, M., (2012). **Rocas Blandas- Problemas y soluciones en obras de ingeniería**. Trabajo presentado en el 2do Simposio Sur Americano de Excavaciones en Roca 2012. San José, Costa Rica.
- [45] Laporte, G. (2012). **Limitaciones de los sistemas de clasificación aplicados a macizos constituidos por rocas suaves volcanoclásticas y sedimentarias clásticas**. Trabajo presentado en el 2do Simposio Sur Americano de Excavaciones en Roca 2012. San José, Costa Rica.
- [46] La Marca, E. (1997). **“Origen y evolución geológica de la cordillera de Mérida, andes de Venezuela. Cuadernos de la escuela de geografía, nueva época, N°1: 1 – 110**. Universidad de los Andes, Mérida, 5 – 92 pp.
- [47] Marcuzzi, J. y Cerusico L. (2009). **Caracterización geotécnica y análisis de la estabilidad de los macizos rocosos del camino de acceso al Cerro San Bernardo, ciudad de Salta**. Cuadernos de la Facultad de Ingeniería e Informática. Universidad Católica de Salta, vol. 6, 2011: 29-44. Disponible en: <http://www.ucasal.net/eucasa/documentos/cuadernos-ing-6.pdf>  
Consultado, 2012, Enero, 29

- [48] Ministerio del Poder Popular para el Turismo (sf). ***Ruta del Libertador***. Rutas de Venezuela. Disponible en: [http://rutalibertador.mintur.gob.ve/mapa\\_venezuela\\_principal.php](http://rutalibertador.mintur.gob.ve/mapa_venezuela_principal.php) Consultado, 2012, Enero, 29
- [49] Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú (2013) ***Definiciones*** Disponible: <https://www.mtc.gob.pe/portal/icomunicaciones.htm>
- [50] Monsalve, M; León, F y Ucar, R. (2009). ***Caracterización de los factores internos y externos que afectan el deslizamiento ubicado en el sector La Trujillana de la autopista Rafael Caldera, El Vigía, Estado Mérida, Venezuela***. Revista GEOMINAS, Venezuela, V 37 N 49 ago. P145-148. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44864224/GEOMINAS49>
- [51] Mora, R. (2007). “Fundamentos sobre deslizamientos”. [On line] Disponible en: <http://geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/mora-deslizamiento.pdf> Consultado, 2012, Enero, 29].
- [52] Pérez, A. (2005). “Las catástrofes y el progreso de la geotecnia” [On line] Disponible:<http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Ingenier%C3%ADa-Humanismo/Cat%C3%A1strofesGeotecnia.pdf> [Consultado, 2012, Enero, 16].
- [53] Pérez, T. (2011). ***Análisis Geológico Estructural***. Universidad de Alicante. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/73113651/Analisis-Geologico-Estructural-Leccion-13-Diaclasas> Consultado, 2012, Enero, 29
- [54] Puell, F. (2003). ***Aplicación de criterios de rotura no lineales a la estabilidad general de taludes en macizos rocosos***. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos. Disponible en: <http://oa.upm.es/229/1/04200310.pdf> Consultado, 2012, Enero, 29

- [55] Proyecto Multinacional Andino. Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). *“Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas”*. Grupo de trabajo GEMMA. Publicación Geológica Multinacional.
- [56] Radelat G. (2003) **Principios de Ingeniería de Transito**. Institute of Transportation Engineers.
- [57] Rivera, Y. (2009). **Estado del arte de la Ingeniería Geotécnica en estabilidad de taludes**. Universidad Particular de Loja. Escuela de Ingeniería Civil. Loja, Ecuador. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/76621258/Geotecnica-de-ad-de-Taludes> Consultado, 2012, Enero, 29
- [58] *RocLab (Guía del usuario)*. Rocscience Inc., Granada, España, 2004.
- [59] Rodríguez, A. y Villarroel, V. (2010). *Estudio geológico de la susceptibilidad a movimientos en la cuenca del río Limón, Edo. Aragua*. Trabajo final de grado. Disponible en: [http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfiegucv/EDOCS/SRed/2011/02/T041500007194-0-TESIS\\_TEG-000.pdf](http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfiegucv/EDOCS/SRed/2011/02/T041500007194-0-TESIS_TEG-000.pdf) Consultado, 2012, Enero, 29
- [60] Romana, M. (1997). *“El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes”*. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Vol. III. Granada.
- [61] Romero, M., Torres R. y Villarreal, A. (2011). *Evaluación geotécnica de los taludes ubicados en la carretera trasandina, sector la Mitisus, Estado Mérida*. Trabajo Servicio Comunitario.
- [62] Sánchez, M. (2009). *“Modelación de flujo de derrubios empleando el método SPH. Aplicación a casos reales”* [On line] Disponible: [http://oa.upm.es/2014/1/MILA\\_SANCHEZ\\_MORALES.pdf](http://oa.upm.es/2014/1/MILA_SANCHEZ_MORALES.pdf) [Consultado, 2012, Enero, 29].

- [63] Salas, E., y Bongiorno, F. (2007). *Estudio Geológico Geotécnico de la Troncal 7, entre los sectores Estanquez y La Victoria, del Municipio Sucre del estado Mérida*. Trabajo Final de Grado. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.
- [64] Sanchez, Y., Torres, R (2012) *Caracterización Geomecánica de los Taludes ubicados en el tramo vial de la Autopista Rafael Calderas, Estado Mérida, Sector comprendido entre el túnel Santa Teresa y el puente Caracol – Caracolito*. Trabajo final de Grado, Universidad de Los Andes.
- [65] Silva, H. (2011). *Muros y taludes de suelos reforzados*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de construcción. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/71846730/Informe-de-La-Presentacion-de-MACCFERRI>
- [66] Solórzano, N. y Zurita, P. (2010). *Estudio Geológico Geotécnico de los taludes de la Urb. La Quinta, Los Teques, Municipio Guaicaipuro, Edo. Miranda*. Trabajo final de grado. Caracas-Venezuela. Disponible en: [http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfieguvcv/EDOCS/SRed/2011/02/T041500007191-0-Estudio\\_GeolgogicoGeotecnico\\_de\\_los\\_taludes\\_de\\_la\\_Urb\\_la\\_Quinta\\_Los\\_t\\_eques\\_Edo\\_Miranda-000.pdf](http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfieguvcv/EDOCS/SRed/2011/02/T041500007191-0-Estudio_GeolgogicoGeotecnico_de_los_taludes_de_la_Urb_la_Quinta_Los_t_eques_Edo_Miranda-000.pdf)
- [67] Torres, J. Torres, R. y Monsalve M. (2009). *Análisis de Estabilidad de Taludes de la Autopista San Cristobal- La Fría: Subtramo San Juan de Colón – San Félix, Estado Táchira*. X Congreso Nacional de Geotecnia, San José de Costa Rica, Costa Rica.
- [68] Wyllie, D. y Mah, C. (2005). *Rock Slope Engineering: civil and mining*. [Version Digital PDF]. (4th Edition). Nueva York, U.S.A: Spon Press.
- [69] Zhao, J. (s.f). *Rock Mechanics (Mécanique des roches). Modulo 5 Rock Foundation and slopes*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC). Laboratoire de mécanique des roches (LMR). pp 1- 61.