



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



Quiébranos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Patrimonio del Estado Zulia e
interés Cultural desde 2001

Fecha de Construcción:
1954-1958

Diseño: Arquitecto Carlos Raúl
Villanueva, con elementos
novedosos de adaptación
climática.

Policromía de la obra: Artista
Zuliano Víctor Valera.

Evaluation of vehicular risk of rockfalls in Rafael Caldera Road, Mérida, Venezuela

Torres Hoyer Roberto^{1,3} , *Torres Hoyer Jesús*^{1,3} , *Bongiorno Francisco*^{2,3} , *Peña Jackeline*¹ , *Peña Oswaldo*¹ , *González Leonado*^{2,3,5} , *Picón Ricardo*^{1,4} , *Barreto Wilmer*^{1,4} 

¹Departamento de Obras Civiles y Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco, Temuco, 4780000, Chile

²Departamento de Geomecánica, Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, 5101, Venezuela

³GIGA-ULA, Grupo de Investigación de Geología Aplicada, Universidad de Los Andes, Mérida, 5101, Venezuela.

⁴Laboratorio de Mecánica Estructural, Departamento de Estructuras, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, 3001, Venezuela

⁵Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Chile INACAP, Santiago, Chile

*Autor Contacto: rtorres@uct.cl

<https://doi.org/10.22209/rt.ve2019a08>

Recepción: 20/06/2019 | Aceptación: 03/11/2019 | Publicación: 01/12/2019

Abstract

Road safety has evolved vertiginously in recent times and is one of the criteria to use, when making road solutions. There are methodologies that allow the analysis of vulnerability, threat and risk both on roads and in vehicles. This research evaluates the risk of rockfalls at three critical points of the Rafael Caldera Highway of the State of Mérida (Venezuela) through of the methodology of Fonseca and others (2010), for this we determine the level of danger considering the height of the slope, effectiveness of the gutter, average risk per vehicle, visibility distance, road width, geological characteristics, block size, weather conditions, history of landslides and their respective analysis by landslides. Based on this, a low level of danger was obtained for all slopes, 20 for first slope, 31 for second and 30 for the third case. Given the result, it should be emphasized that the danger values are low in consideration of what can be seen in the place and it is concluded that they must consider other additional characteristics to achieve a real danger value.

Keywords: risk; vulnerability; hazzard; slope; geotechnics.

Evaluación del riesgo vehicular por desprendimientos de rocas en taludes, Carretera Rafael Caldera, Mérida, Venezuela

Resumen

La seguridad vial ha evolucionado vertiginosamente en los últimos tiempos y es uno de los criterios a utilizar, al momento de realizar soluciones viales. Existen metodologías que permiten analizar la vulnerabilidad, amenaza y riesgo tanto en las vías como en los vehículos. La presente investigación evalúa el riesgo por desprendimientos de rocas en tres puntos críticos de la Carretera Rafael Caldera del Estado Mérida (Venezuela) por medio de la metodología de Fonseca y otros (2010), para ello se determina el nivel de peligrosidad considerando la altura del talud, efectividad de la cuneta, riesgo medio por vehículo, distancia de visibilidad, ancho de calzada, características geológicas, tamaño del bloque, condiciones climáticas, historial de desprendimientos y su respectivo análisis por desprendimientos. En base a esto se obtuvo un nivel de peligrosidad baja para todos los taludes, 20 para el primer talud, 31 para el segundo y 30 para el tercer caso. Considerando el resultado, se debe recalcar que los valores de peligrosidad son bajos respecto a lo que se puede apreciar en el lugar, y se concluye que los mismos deben incluir otras características adicionales para lograr un valor real de peligrosidad.

Palabras clave: riesgo; vulnerabilidad; amenaza; talud; geotecnia.

Introducción

La estabilidad de los taludes y laderas se encuentran condicionadas por diversos factores, por lo que su estudio es fundamental para evitar consecuencias serias para las obras de infraestructura. Por su parte, las vías de comunicación son vulnerables a los diferentes deslizamientos que pudieran ocurrir a lo largo de su historia, siendo de igual relevancia los posibles siniestros de vehículos. En base a esto, los estudios geotécnicos conforman un nuevo paradigma en la seguridad vial, puesto que permiten prevenir, mitigar o corregir movimientos de masas que afecten las vías de comunicación [1].

Resulta fundamental estudiar las amenazas viales, y para ello se evalúa el riesgo por desprendimientos de rocas en la Carretera Rafael Caldera del Estado Mérida (Venezuela) por medio del análisis de la metodología de Fonseca et al [2], que toma en consideración parámetros geotécnicos y viales como la altura del talud, ancho de la cuneta, cantidad de vehículos que transitan por la vía en estudio y los eventos (deslizamientos) que pueden producir un daño sobre los vehículos. La vulnerabilidad la constituye las condiciones y características del sistema, el cual es susceptible a amenazas u ocurrencias de eventos, por medio del cual se tendría como resultado la posibilidad de sufrir algún daño.

La autopista Rafael Caldera L007 es la vía que comunica la ciudad de Mérida con El Vigía, por ella transitan una gran cantidad de vehículos y presenta problemas de estabilidad a lo largo de su recorrido [3]. Esto, aunado a la gran cantidad de accidentes ocurridos, hace imperante analizar la peligrosidad y riesgo de desprendimiento de rocas [4], tomando en consideración el tránsito vehicular.

Materiales y Métodos

La metodología consiste en el análisis de un conjunto de parámetros de naturaleza geotécnica y vial para el estudio de la amenaza [2] que existe sobre un vehículo por el desprendimiento de rocas en taludes, para lo cual se deben tomar una serie de datos que determinan la vulnerabilidad y la amenaza [5].

Las variables consideradas para este análisis corresponden a la Altura del Talud (AT), definida desde la base del talud al tope del mismo dándole una ponderación que se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Altura del talud (AT) y efectividad de la cuneta de intercepción (EC) (Fonseca, et al [2]).

Puntos	Altura de talud (m)	Efectividad de la cuneta
5	7.5	Buena
10	15	Moderada
30	25	Limitada
80	30	No

Posteriormente se analiza la Efectividad de la Cuneta de intercepción (EC) que, en conjunto con la altura del talud, se puede observar la acción de una roca sobre la calzada. (Tabla 1). Una vez medidos los parámetros de geometría descritos, se calcula el Riesgo medio por vehículo (RMV), acorde a la ecuación 1; valor que corresponde al porcentaje del tiempo en el que el vehículo permanece en la zona de riesgo de caída de rocas. En función del valor calculado se pondera según lo indicado en la Tabla 2.

$$RMV = \frac{IMD \left[\frac{veh}{día} \right] \times longitud\ de\ recorrido\ [km] \times 100\%}{Limite\ de\ velocidad\ establecido \left[\frac{km}{h} \right] \times [24h/día]} \quad (1)$$

Dónde:

IMD: Intensidad media diaria

RMV: Riesgo medio por vehículo

Tabla 2. Riesgo medio por vehículo (RMV) y Ancho de la calzada (AC) (Fonseca, et al [2]).

Puntos	Riesgo medio por vehículo (%)	% Visibilidad	Ancho calzada (m)
5	25	100	14
10	50	80	11
30	75	60	9
80	100	40	6

Uno de los parámetros viales a desarrollar corresponde a la Distancia de Visibilidad (DV), la cual se calcula en función del cono de visibilidad y la velocidad del vehículo en cuestión (Ec. 2) [2]. 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, asignándole el valor correspondiente según la Tabla 2.

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

También se analizan parámetros geométricos de la vía como el Ancho de la calzada (AC) (Tabla 2) y geológico-geotécnicos como las Características Geológicas (CG) (Tabla 3), Fonseca et al [2] proponen que se establezcan de acuerdo al evento más desfavorable, en concordancia a las características del macizo rocoso.

El Tamaño del bloque o volumen de material desprendido (TB) es otro de los parámetros incluidos, esta medida debe ser representativa de cualquier tipo de evento de desprendimiento que ocurra (Tabla 4), mismo tratamiento debe darse para la evolución de las Condiciones climáticas y presencia de agua (CC).

Tabla 3. Condición estructural del macizo rocoso (CG) (Fonseca, et al [2]).

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.

Tabla 4. Tamaño del Bloque (TB), Volumen de material desprendido y condiciones climáticas (CC) (Fonseca [2]).

Punto	Tamaño del bloque (m)	Desprendimientos	Influencia del clima y agua en el talud
5	0.3	Pocos	Precipitación de baja a moderada, sin períodos de congelación, sin presencia de agua.
10	0.6	Ocasionales	Precipitación moderada o cortos períodos de congelación o presencia de agua intermitente en el talud.
30	1.0	Muchos	Precipitación alta o largos períodos de congelación o presencia de agua.
80	1.2	Constante	Precipitación alta o largos períodos de congelación o presencia de agua de forma continua en el talud y largos períodos de congelación.

Se realiza un seguimiento a la Historia de los desprendimientos (HD) ya que es información clave para poder estimar la potencial falla en el futuro. Con todos los parámetros definidos anteriormente, se procede a calcular el análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras mediante la Ec. 4, la cual, en función del valor asignado y una ponderación específica a cada parámetro, define el riesgo de desprendimiento de rocas presente hacia un vehículo que transite por la vía (Tabla 5).

$$\text{Índice (\%)} = \frac{2(AT)+EC+RV+2(DV)+AC+3(CG)+2(TB)+2(CC)+HD}{15} \quad (4)$$

Tabla 5. Análisis de riesgo de desprendimiento en carretera (Fonseca, et al [2]).

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

Resultados y Discusión

El análisis de riesgo por desprendimiento, se

realizó en tres puntos críticos, los cuales se describen a continuación.

Talud 1.

El primer talud (Figura 1) se ubica en las coordenadas N 0215552, E 0941699, está conformado por una intercalación de arenisca arcillosas y lutitas que meteorizan en tonos abigarrados de rojo y amarillo, irregularmente estratificadas, pertenecientes a la Formación Carbonera de edad Eoceno tardío, en él se pueden apreciar un conjunto de diaclasas que se midieron y analizaron para la identificación del mecanismo de falla. Se obtuvo un índice de 20% (Tabla 6), que sugiere poca peligrosidad y muy baja prioridad de actuación, lo que contrasta con lo observado en la Figura 1.

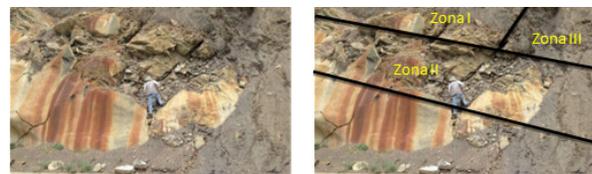
**Figura 1.** Zonificación y mediciones para el macizo rocoso del talud 1

Tabla 6. Valores medidos y puntajes asignados para el 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 Erosión	Pequeña diferencia	5
	Tamaño del bloque		0,3 m3	5
	Condiciones Climáticas		Precipitación moderada	10
Historial de desprendimiento			pocos	5
Análisis por desprendimiento			20	

Talud 2.

El segundo talud (Figura 2) de coordenadas, N 0215274, E 0942884, corresponde a una intercalación de areniscas amarillentas a gris claro, con meteorización parda y manchadas de óxido de hierro y láminas de lutita pertenecientes a la Formación Palmar [6], el cual posee un gran espesor a lo largo del puente Caracol y Caracolito. Los resultados obtenidos indican un nivel de peligrosidad bajo, siendo el índice en este caso mayor al registrado para el talud 1 (Tabla 7).

Talud 3.

El tercer talud ubicado en las coordenadas, N 0215652, E 0943392, está conformado por una intercalación de arenisca y láminas de lutita pertenecientes a la Formación Palmar [6]. Aflora con un gran espesor en la vialidad. Considerando su magnitud, se tomó un sector representativo del sector en conjunto a los elementos que allí afloran (Figura 3). Las mediciones realizadas (Tabla 8) indica un nivel de peligrosidad muy bajo, similar a los casos anteriores.

Tabla 7. Valores medidos y puntajes asignados para el 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%	10
Ancho de Calzada			11 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		0,6 m3	10
	Condiciones Climáticas		Precipitación moderada	10
Historial de desprendimiento			muchos	30
Análisis por desprendimiento			31	



Figura 2. Zonificación y mediciones para el macizo rocoso del talud 2



Figura 3. Zonificación y mediciones para el macizo rocoso del talud 3

Fonseca et al [2]. El caso mencionado corresponde al talud 3 (Tabla 8).



Figura 5. Derrumbes ocurridos durante tormenta sísmica posterior al estudio realizado en el sector, obsérvese el vehículo impactado.

Tabla 8. Valores medidos y puntajes asignados para el 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 m3	5
Condiciones Climáticas		Precipitación moderada	10	
Historial de desprendimiento		muchos	30	
Análisis por desprendimiento	30			

Fonseca et al [2] especifica que cuando existe más de un vehículo presente en el tramo de estudio, se obtienen valores de riesgo medio superiores a 100, sin embargo, es importante señalar que en el valor de distancia de visibilidad que se calcula, los valores son siempre mayores a 100 y no hay corrección referente a este valor.

Cabe resaltar que, a los 6 meses de haber realizado el estudio de campo, ocurrieron un enjambre o tormenta sísmica que generaron una serie de desprendimientos de rocas que impactaron en un vehículo como muestra en la Figura 5. En el evento lamentablemente hubo un fallecido, lo cual no concuerda con el análisis de la metodología de

Conclusiones

La metodología utilizada para la evaluación del riesgo por desprendimientos, es de uso sencillo y está constituido por elementos viales y geológicos, y permite obtener una evaluación preliminar del riesgo de los vehículos. Una vez analizados los parámetros correspondientes se calcula el nivel de peligrosidad que existe por desprendimientos, obteniendo una susceptibilidad de, 20 para el talud 1, 31 para el número 2 y 30 para el tercer caso, que representa poca peligrosidad, sin tener necesidad de actuación.

Los índices obtenidos diferían con lo observado

en los levantamientos de campo y, adicionalmente, la ocurrencia de una serie de eventos sísmicos de poca a mediana intensidad meses después de la toma de datos, mostraron que la categorización obtenida por el método presenta deficiencias. Es por esto que se debe realizar un exhaustivo análisis con la intención de profundizar al respecto y considerar elementos menos descriptivos y más cuantitativos.

En cuanto al caso de estudio se recomienda realizar un conjunto de medidas que permitan generar soluciones o mitigaciones de los taludes en función a cada nivel de amenaza; esto constituye otra limitación del método ya que no presenta ninguna sugerencia a partir de la estimación del riesgo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Radelat, G.: Principios de Ingeniería de Tránsito. Institute of Transportation Engineers. 2003.
- [2] Fonseca, R., Raïmat, C., y Caba, J.: Aplicación de membranas flexibles para la prevención de riesgos naturales. Madrid-España: Geobrugg Ibérica S.A. 2010.
- [3] Romero, M., Torres, R. y Villarreal, A.: Evaluación geotécnica de los taludes ubicados en la carretera trasandina, sector la Mitisus, Estado Mérida. 2011
- [4] González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C.: Ingeniería Geológica. Madrid-España: Editorial Person Prentice Hall. 2004
- [5] Ayala, F., y Olcina, J.: Riesgos Naturales. Barcelona-España. Ariel Ciencia. 2002.
- [6] Elberg, M., Vivas, J., Fernandez, V., Sosa, G. y González, L.: Análisis numérico de las discontinuidades del macizo rocoso de la autopista Rafael Caldera en Venezuela. Ciencia e Ingeniería Vol 32, No. 2 (2011) 67-72



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2019, No. 1, pp. 154 - 262_____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientificaluz.org