

EVALUACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS Y PROPUESTA GEOTÉCNICA DE LA TROCHA AYASH- HUARIPAMPA TRAMO KM 3+260 AL KM 3+300

LANDSLIDES RISK ASSESSMENT AND GEOTECHNICAL PROPOSAL RURAL ROUT AYASH-HUARIPAMPA SECTION KM 3+260 TO KM 3+300

César Roberto Torres Chung¹

RECEPCIÓN: 10 DE OCTUBRE DEL 2020
ACEPTACIÓN: 06 DE DICIEMBRE DEL 2020

RESUMEN

Este documento presenta la evaluación y cuantificación del grado de riesgo a deslizamientos en los taludes del tramo 3+260 al 3+300 km del proyecto "Trocha de acceso al relleno sanitario de Ayash-Huaripampa, distrito de San Marcos, provincia de Huarí, región Ancash" con el objeto de mejorar la eficiencia del sistema de transporte vial. En este estudio se realizaron comparaciones, bajo condición estática, entre el método de la Serie de Taylor y el método de Monte Carlo; obteniendo resultados en base al factor de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad con la finalidad de optar por una metodología de análisis a fin de cuantificar el riesgo. Debido que los taludes presentaron un nivel de confiabilidad inaceptable se evaluó su estabilización con un muro de gaviones y muro de suelo reforzado, siendo el más económico la primera opción. En tal sentido, la realización de esta investigación se justifica porque, nos permite tener una mayor visión acerca de las potenciales pérdidas económicas que podría causar la ocurrencia de un deslizamiento. Esto permite elegir o no una solución de ingeniería dependiendo del riesgo geotécnico que se quiera asumir.

Palabras clave: estabilidad de taludes, Método de la Serie de Taylor y Monte Carlo, riesgo geotécnico.

ABSTRACT

This document presents the evaluation and quantification of the grade of landslides risk on slopes from section 3+260 to 3+300 of Project "Trocha de acceso al relleno sanitario Ayash Huaripampa, distrito de San Marcos, provincia de Huaripampa, región Ancash" in order to improve the efficiency of the road transport system. In this study, comparisons were made, under static conditions, between the Taylor Series method and the Monte Carlo method; obtaining results based on the safety factor, probability of failure and reliability index in order to opt for an analysis methodology in order to quantify the risk. Because the slopes presented an unacceptable level of reliability, their stabilization was evaluated with a gabion wall and reinforced soil wall, the first option being the most economical. In this sense, conducting this research is justified because it allows us to have a better vision of the potential economic losses that the occurrence of a landslide could cause. This allows you to choose or not an engineering solution depending on the geotechnical risk you want to assume.

Keywords: slope stability, Taylor Series and Monte Carlo method, geotechnical risk.

1 En este estudio colaboraron los estudiantes de la asignatura de «Diseño geotécnico» Dennis Caroline Altamirano Albuja, Fiorella Marie Abanto Hinostraza, Carlos Alberto Cerna Zelada e Iván Augusto Limay Rumaldo, todos de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Ricardo Palma, Lima.

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de masas de suelo constituyen uno de los problemas más complejos que se intenta resolver en la ingeniería geotécnica, ya que representa una amenaza y riesgo potencial para las comunidades, actividades económicas u obras construidas por el hombre. Por ello, es de interés evaluar la estabilidad de taludes contra posibles fallas por deslizamientos.

La valoración del riesgo a deslizamientos de taludes genera información que permite apoyarse para la toma de decisiones como aceptar o tratar los riesgos estimados relacionado con pérdidas de vidas o económicas. Por lo general, la evaluación de estabilidad de taludes utiliza el método determinístico; sin embargo, este no contempla la variabilidad e incertidumbre de las variables consideradas en el análisis.

En esta investigación se buscó evaluar y cuantificar el grado de riesgo a deslizamientos en los taludes del tramo 3+260 al 3+300 km de la trocha Ayash-Huaripampa. Para establecer las condiciones de inestabilidad de la zona de estudio se empleó los métodos de la Serie de Taylor y Monte Carlo, considerando la variabilidad e incertidumbre de los parámetros del suelo a los que está sujeto la estabilidad de taludes.

Por ello, este tipo de análisis, que emprenden el proceso de cuantificación de riesgo, generan mayor confiabilidad, es decir; les permite a los ingenieros civiles tomar decisiones de acuerdo a valores cuantificables económicamente. Desde el punto de vista ético, el ingeniero evalúa todos los aspectos técnicos que pueden variar dando mayor confianza y buscando una solución viable técnica y económica.

2. ZONA DE ESTUDIO

El proyecto está ubicado en el distrito de San Marcos, provincia de Huarí, región Ancash. Aproximadamente a 200 km de la ciudad de Huaraz (nor-este del campamento minero de Antamina) entre la margen izquierda de la Quebrada Ayash y Tucush. Entre los 4200 a 4500 msnm. (Figura 1)

En 1997 comienza la construcción del Proyecto Antamina en las alturas de San Marcos, en las cabeceras de la cuenca de Carash. En consecuencia, con el objeto de mejorar la eficiencia del sistema de transporte vial de la provincia de Huarí, que contribuye al desarrollo y la integración física de las distintas localidades mediante el mantenimiento de la red vial, se realizó el estudio definitivo del proyecto: “Trocha de Acceso al Relleno Sanitario de Ayash Huaripampa- Distrito de San Marcos- Provincia de Huarí-Región Áncash”.

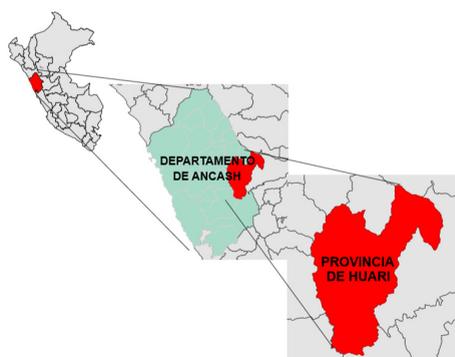


Figura 1: Localización de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A fin de realizar la evaluación de la estabilidad de los taludes en el tramo 3+130 al 3+380 del proyecto en mención, para posteriormente proponer alternativas de estabilización, se obtuvo la siguiente información:

a. Trazo y diseño vial

Para el estudio de ingeniería del expediente técnico del proyecto en mención, se ha considerado en el trazo vial, la aplicación del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, y los parámetros de diseño recomendados por el AASHTO 1993.

b. Estudio geológico

El tramo en estudio se localiza dentro de la Formación Pariahuanca que abarca relieves estructuralmente plegados con secuencias sedimentarias mesozoicas, conformadas por estratos potentes de calizas e intercalaciones de niveles delgados de lutitas y limolitas, estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con buzamientos de las capas que controlan la pendiente de las laderas, formando cuestras y espinazos que le dan una característica particular, variando en pendiente desde moderada a muy abruptas. (Figura 2)



Figura 2: Topografía de la zona en estudio.

Fuente: Proyecto “Trocha de acceso al relleno sanitario de Ayash-Huaripampa, distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Ancash”.

c. Sismicidad

El proyecto se encuentra ubicado dentro del área de influencia de la Zona 3, para la cual se espera que el factor de aceleración máxima del terreno sea de 0.35 g, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, equivalente a un periodo de recurrencia de 475 años. (Figura 3) (SENCICO, 2016)

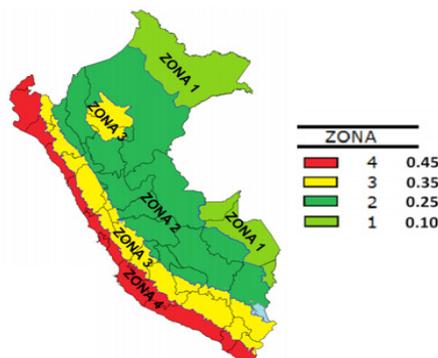


Figura 3: Zonas sísmicas.

Fuente: Norma Técnica E030 “Diseño Sismorresistente”.

d. Estudio geotécnico

Para la ejecución de las investigaciones se ha realizado calicatas sobre el eje de la vía, de las cuales se tomaron datos y muestras representativas del suelo de fundación para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos de resistencia.

De acuerdo con los ensayos realizados al material extraído de la zona de trabajo, los parámetros de los materiales encontrados son los siguientes: (Figura 4)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kN/m ²)	Phi
TERRAPLEN		16.5	1	30
LIMO		11.77	6.86	27.8
ROCA		17.5	250	31
GAVION		17.5	50	35

Figura 4: Parámetros de resistencia de los materiales.

Fuente: Software Slide 5.0.

4. MARCO TEÓRICO

a. Teoría de confiabilidad

La teoría de confiabilidad incluye la incertidumbre de los parámetros de resistencia del suelo en el análisis geotécnico basándose en conceptos probabilísticos que determina la probabilidad de falla (Pf) y el índice de confiabilidad lo que nos da a conocer el grado de incertidumbre del análisis.

– Método de la Serie de Taylor

El método de la Serie de Taylor incluye la incertidumbre de cada variable empleada en el análisis geotécnico haciendo uso de las estadísticas para hallar el grado de desconfianza del factor de seguridad de la sección a analizar.

– Método de la Simulación de Monte Carlo

La técnica de la Simulación de Monte Carlo evalúa posibles valores de las variables aleatorias de manera determinista obteniendo una función de distribución de probabilidad del parámetro de salida.

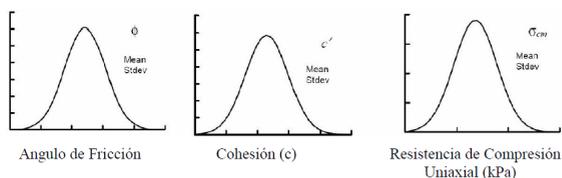


Figura 5: Curva de distribución de probabilidad de los parámetros de los materiales

Fuente: Torres Chung, C. R. (2007). Tesis de grado: Valoración del riesgo en deslizamientos

5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para evaluar la estabilidad de un talud depende de diversos factores, los cuales incluyen: la geometría del talud, los parámetros del suelo, acción de cargas dinámicas por efectos sísmicos, flujo de agua, propiedades del suelo, etc. Muchos de estos factores son difíciles de cuantificar o predecir exactamente su comportamiento como para poder incluirlo en simples análisis deterministas, lo que conlleva a que tales enfoques no producen resultados satisfactorios. (Gallardo, Guerrero Barbosa & Macgregor, 2013)

– Método Determinístico de Análisis de Estabilidad:

Los análisis deterministas de estabilidad de taludes representan a los parámetros sin margen de incertidumbre. Esto quiere decir que se obtiene una estimación puntual del valor de salida en el análisis.

– Método Probabilístico de Análisis de Estabilidad:

Los análisis probabilísticos de estabilidad de taludes representan a los parámetros con una desviación estándar, obteniendo resultados en términos de probabilidad de falla e índice de confiabilidad; es decir, que el factor de seguridad es distribuido en forma probabilística.

La presente investigación hará uso de la simulación de Monte Carlo para determinar el factor de seguridad al deslizamiento en términos de probabilidad. Lo que resulta una herramienta fundamental para la cuantificación del riesgo al deslizamiento.

6. VALORACIÓN DEL RIESGO AL DESLIZAMIENTO

El objetivo de este punto es evaluar y cuantificar el grado de riesgo a deslizamientos en los taludes del tramo 3+260 al 3+300 km, a fin de evitar algún peligro al que se vea expuesto tanto la trocha como las zonas arqueológicas de Huari, siendo la ciudadela de Ñawpamarca Huachis la que se encuentra más próxima al tramo en estudio.

a. Comparación entre el Método de la Serie de Taylor y el Método de Monte Carlo

Inicialmente, partimos bajo la hipótesis que, si consideramos a los parámetros del suelo con desviación estándar, ayudaría a disminuir el riesgo potencial a posibles deslizamientos. Y esto es posible bajo el método probabilístico, considerando valores mínimos y máximos para las diferentes variables que afectan a la estabilidad de taludes: peso específico, ángulo de fricción y cohesión del suelo.

Para aplicar la metodología de estimación de riesgo a deslizamientos, se calculó los parámetros de los suelos en forma estadística, basando los coeficientes de variación en la bibliografía encontrada. (Tabla 1)

Luego se analizó por el método Bishop Simplificado de manera determinista analizado estáticamente, para la sección 3+260, aplicando el método de la Serie de Taylor a fin de obtener los índices de confiabilidad. Este método se realizó haciendo un cálculo manual de los respectivos factores de seguridad siguiendo el algoritmo de Bishop y considerando la incertidumbre de los parámetros de resistencia del suelo del terraplén en el cálculo del factor de seguridad obteniendo los siguientes resultados: (Tabla 2)

TABLA 1: Propiedades estadísticas de los parámetros del suelo

T E R R A P L É N	COHESIÓN (kN/m ²)	1	COV	Parámetros Estadísticos	Desviación Estándar	Relación Min y Max
				0.70		
L I M O	COHESIÓN (kN/m ²)	6.86	30%	1.30	0.30	0.90
				31.28		
	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	34	8%	36.72	2.72	8.16
				15.68		
PESO UNITARIO (kN/m ³)	16.5	5%	17.33	0.83	2.48	
			4.80			
L I M O	COHESIÓN (kN/m ²)	6.86	30%	8.92	2.06	6.17
				25.58		
	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	27.8	8%	30.02	2.22	6.67
				11.18		
PESO UNITARIO (kN/m ³)	11.77	5%	12.36	0.59	1.77	
			175			
M R C C I O S O	COHESIÓN (kN/m ²)	250	30%	325	75	225
				28.52		
	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	31	8%	33.48	2.48	7.44
				16.77		
PESO UNITARIO (kN/m ³)	17.65	5%	18.53	0.88	2.65	

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2: Resultados de la Serie de Taylor bajo condición estática

T E R R A P L É N	COV	PARÁMETROS		FS	ΔFS	(ΔFS/2) ²	
		c	c ⁺				
T E R R A P L É N	30%	c (kN/m ²)	c ⁺	1.30	1.048	0.04	0.0005
			c ⁻	0.70	1.004		
	8%	φ (°)	+	36.72	1.103	0.15	0.0054
			-	31.28	0.956		
5%	γ (kN/m ³)	γ ⁺	17.33	1.013	-0.03	0.0002	
		γ ⁻	15.68	1.039			

Fuente: Elaboración propia.

– Desviación estándar del factor de seguridad:

$$\sigma_F = \sqrt{\left(\frac{\Delta F1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F2}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F3}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_F = \sqrt{\left(\frac{0.04}{2}\right)^2 + \left(\frac{0.15}{2}\right)^2 + \left(\frac{-0.03}{2}\right)^2} = 0.078$$

– Coeficiente de variación VF%:

$$V_F = \frac{\sigma_F}{F_{MLV}}$$

$$V_F = \frac{0.078}{1.027} = 7.58\%$$

– Índice de confiabilidad Lognormal:

$$\beta_{LN} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{F_{MLV}}{\sqrt{1 + V_F^2}}\right)}{\sqrt{\text{Ln}(1 + V_F^2)}}$$

$$\beta_{LN} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{1.027}{\sqrt{1 + 0.0758^2}}\right)}{\sqrt{\text{Ln}(1 + 0.0758^2)}} = 0.316$$

– Índice de confiabilidad normal:

$$\beta_N = \frac{F_{MLV} - 1}{\sigma_F}$$

$$\beta_N = \frac{1.027 - 1}{0.058} = 0.349$$

Finalmente, por medio del ábaco de Taylor mostrado en la Figura N°6 se determinó la probabilidad de falla.

La segunda forma de análisis empleada se basa en el método de equilibrio límite de Morgenstern Price, mediante el proceso de simulación de Monte-Carlo para hallar el factor de seguridad haciendo uso de las estadísticas bajo una condición estática. Este análisis empleó el programa Slide 5.0 sobre el cual se modeló la sección en mención, considerando la variación de los parámetros dentro del algoritmo de cálculo del programa. (Figura 7)

Finalmente, la Tabla 3 muestra un resumen de los valores calculados bajo una condición estática mediante los métodos de la Serie de Taylor y Monte Carlo, empleando el método de Bishop Simplificado y el método de equilibrio límite de Morgenstern Price, respectivamente. A fin de realizar una comparación entre los valores de β , VF (%) y PF(%), determinados anteriormente.

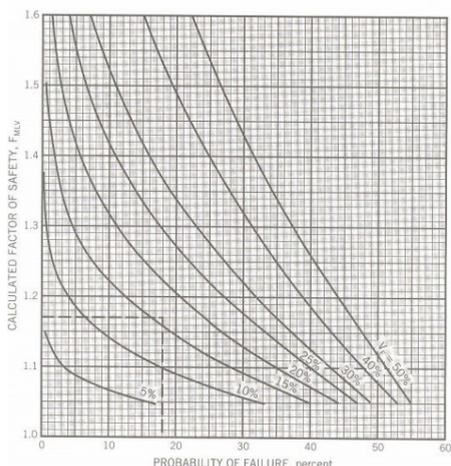


Figura 6: Ábaco de Taylor
Fuente: Duncan, 2000.

Tabla 3: Cuadro comparativo entre los Métodos Serie de Taylor y Monte Carlo bajo condición estática

Método	Serie de Taylor	Monte Carlo	%ERROR
FMLV	1.02717	1.02700	0.02%
σ	0.078	0.078	
νF	7.576%	7.577%	-0.02%
pf	30%	34.3%	12.54%
b_{LN}	0.316	0.371	14.69%
b_N	0.349	0.401	12.94%

Fuente: Elaboración propia

b. Valoración del riesgo

Para la evaluación de la estabilidad del tramo 3+260 al 3+300 se empleó el método de Monte Carlo y los mismos valores de los parámetros estadísticos en el programa Slide 5.0. (Figura 8)

Con ello se obtuvieron los siguientes resultados para cada sección de análisis del tramo en cuestión. (Tabla 4)

De la Figura 9 se observa que las secciones estudiadas en condición estática se encuentran en la zona inaceptable de riesgo.

A fin de conocer el nivel de amenaza al que se ve expuesto la trocha como poblaciones aledañas se estimó las pérdidas económicas de las

Tabla 4: Resultados del tramo estudiado bajo condición Estática

		F.S. PROBABILÍSTICO	PROBABILIDAD DE FALLA	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	COSTO DE RIESGO	RIESGO
PROGRESIVA 3+260	LOCAL	1.091	19.10%	0.7	S/ 83,200	S/ 11,124
PROGRESIVA 3+270	LOCAL INFERIOR	0.91	85%	0.7	S/ 83,200	S/49,736.96
	LOCAL SUPERIOR	0.567	100%	0.7	S/ 83,200	S/ 58,240
PROGRESIVA 3+280	LOCAL INFERIOR	0.805	100%	0.7	S/ 83,200	S/ 58,240
	LOCAL SUPERIOR	0.550	100%	0.7	S/ 83,200	S/ 58,240
PROGRESIVA 3+290	LOCAL INFERIOR	0.686	100.00%	0.7	S/ 83,200	S/ 58,240
	LOCAL SUPERIOR	0.584	100%	0.7	S/ 83,200	S/ 58,240
PROGRESIVA 3+300	LOCAL	0.653	100%	0.7	S/ 83,200	S/ 58,240

Fuente: Elaboración propia.

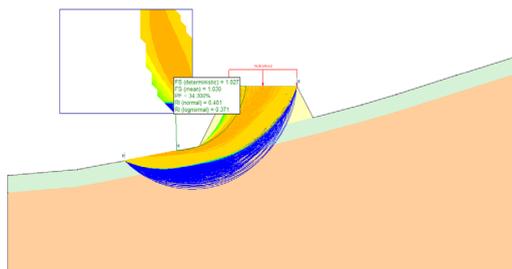


Figura 7: Análisis Estático Probabilístico Sección 3+260km
Fuente: Software Slide 5.0.

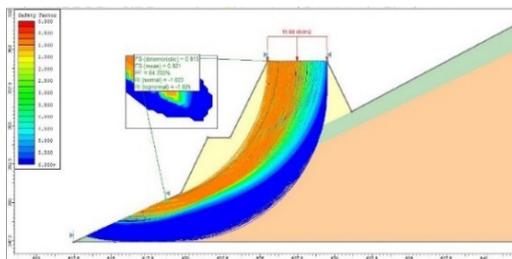


Figura 8: Análisis Estático Probabilístico Sección 3+270km
Fuente: Software Slide 5.0.

Los resultados muestran una aproximación en los resultados. Obteniendo errores muy bajos en el factor de seguridad y coeficiente de variación, mientras que en la probabilidad de falla y confiabilidad el %error es mayor al 10%.

secciones. Tomando como valor referencial el costo de riesgo de S/.83,200, por cada 10 metros, que considera pérdidas económicas que cubre trabajos de reconstrucción y mantenimiento de la carretera en el tramo en estudio. (Tabla 5)

$$R = PF (\%) \times IV \times CR$$

Donde:

- R: Riesgo expresado en pérdidas económicas.
- PF (%): Probabilidad de falla.
- IV: Índice de vulnerabilidad.
- CR: Costo de riesgo (S/).

Finalmente, del proceso de valoración de riesgo del tramo estudiado se ha obtenido un nivel de confiabilidad inaceptable por lo que se propondrán alternativas de solución geotécnicas a fin de evitar dichas pérdidas económicas.

CURVA DE CONFIABILIDAD

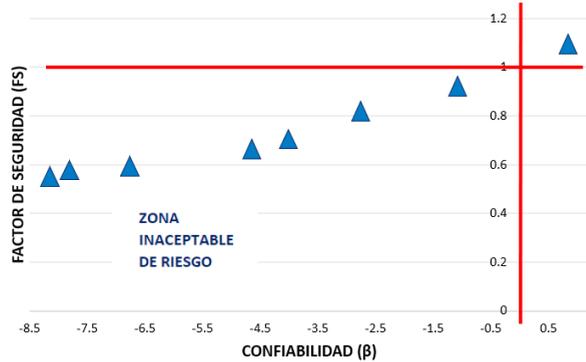


Figura 9: Curva de Confiabilidad bajo condición Estática

Fuente: Software Slide 5.0

Tabla 5: Resultado de pérdidas económicas del tramo estudiado

		F.S. PROBABILÍSTICO	PROBABILIDAD DE FALLA	ÍNDICE DE CONFIABILIDAD NORMAL	VOLUMEN	PENDIENTE
PROGRESIVA 3+260	LOCAL	1.091	19.10%	0.833	41.705	63
PROGRESIVA 3+270	LOCAL INFERIOR	0.91	85%	-1.038	41.225	63
	LOCAL SUPERIOR	0.567	100%	-7.829	91.693	63
PROGRESIVA 3+280	LOCAL INFERIOR	0.805	100%	-2.751	41.225	63
	LOCAL SUPERIOR	0.550	100%	-8.125	91.693	63
PROGRESIVA 3+290	LOCAL INFERIOR	0.686	100.00%	-4.041	39.424	64
	LOCAL SUPERIOR	0.584	100%	-6.789	89.503	64
PROGRESIVA 3+300	LOCAL	0.653	100%	-4.681	15.274	64

Fuente: Elaboración propia.

7. PROPUESTAS PARA REDUCIR EL RIESGO

Las propuestas geotécnicas a desarrollar tienen como objetivo mejorar la estabilidad de los taludes modificando ciertas condiciones que la hacen vulnerable. Su análisis estático y pseudo-estático se realizará con la ayuda del programa Slide 5.0 bajo el método de equilibrio límite de Morgenstern Price a través de la simulación de Monte Carlo tomando en cuenta la variabilidad de los parámetros del suelo: cohesión, peso específico y ángulo de fricción.

La primera propuesta es el muro de gaviones, el cual consiste en una caja de forma prismática rectangular de malla tejida a doble torsión y se pueden rellenar con piedras del lugar. Es una estructura monolítica, flexible, por su composición son permeables, de bajo impacto ambiental, y de fácil construcción. Se diseñaron para cada sección del tramo estudiado de acuerdo con la altura que se requería. (Figura 10)

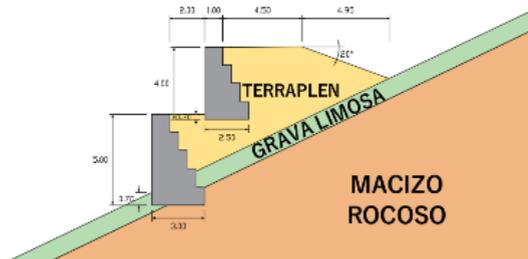


Figura 10: Propuesta 1: Muro de gaviones

Fuente: Elaboración propia.

La segunda propuesta es una estructura de suelo reforzado con Terramesh System, el cual consiste en un paramento frontal reforzado con geomallas que permite que el suelo tenga un mejor desempeño, distribuyendo mejor las tensiones descargadas sobre él. (Figura 11)

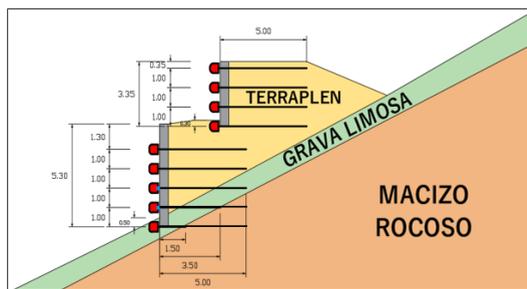


Figura 11: Propuesta 2: Muro de suelo reforzado

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. En el tramo estudiado, los problemas de estabilidad se deben a su ubicación geográfica, ya que se encuentra en una zona montañosa donde su aspecto geológico, hidrológico y sísmico ponen en riesgo a las comunidades, así como el sistema de transporte vial presentando pendientes de 64° en las secciones analizadas.
2. A fin de optar por una adecuada metodología de análisis para la cuantificación de riesgo al deslizamiento, se empleó dos métodos: Serie de Taylor y Monte Carlo, empleando los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern Price respectivamente; ya que considera la variabilidad e incertidumbre de los parámetros de análisis obteniendo resultados en términos de factor de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad. De acuerdo con la Tabla 3 “Cuadro comparativo entre los Métodos Serie de Taylor y Monte Carlo bajo condición estática” se concluye que el método de Bishop Simplificado, basado en la Serie de Taylor, es una buena herramienta para determinar el nivel de confiabilidad en análisis de taludes; sin embargo, el método de Morgenstern Price, basado en la simulación de Monte Carlo, cumple con el equilibrio de fuerzas y momentos entre cada dovela, mientras que el método de Bishop Simplificado solo cumple con el equilibrio de momentos. Obteniendo una probabilidad de falla mayor en el método de Monte Carlo con un valor de 34.3% y 30% para la Serie de Taylor; además, de un índice de confiabilidad de 0.371 y de 0.316, respectivamente.
3. De la Figura 9 “Curva de Confiabilidad” de las secciones analizadas estáticamente, representa de manera gráfica y resumida el nivel de riesgo. Del cual se concluye que el tramo analizado se encuentra en zona inaceptable de riesgo. Además, se estimó el valor de las pérdidas económicas que asciende a los S/.410,300.80 soles para los 40 metros del tramo estudiado, el cual considera trabajos de reconstrucción y mantenimiento de la carretera del tramo en estudio.
4. De acuerdo con las propuestas presentadas, el muro de gaviones y muro de suelo reforzado, ambas cumplen satisfactoriamente con los factores de seguridad mínimo de 1.50 para condición estática y 1.25 bajo condición pseudoestática. Por lo que se optará por el uso del muro de gaviones; ya que, desde un punto de vista económico, para alturas no mayores a 6.00m, el muro de gavión es más económico al de suelo reforzado. Además, de acuerdo con los estudios de suelo realizados a la zona, se emplearán los materiales originarios del lugar del proyecto para el relleno del gavión tipo caja.

RECOMENDACIONES

- Realizar análisis pseudo-estáticos para brindar mayor confiabilidad a los cálculos, es recomendable la aplicación de este análisis de manera paralela al estático.

- Emplear otro método de estabilidad como el método de Spencer para la Serie de Taylor, que satisfice las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos; mientras que el método de Bishop Simplificado solo satisfice el equilibrio de momentos.
- Realizar mayor cantidad de ensayos al suelo en diferentes partes del tramo a fin de hallar su desviación estándar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Torres Chung, C. R. (2007). Valoración Del Riesgo En Deslizamientos. Tesis de grado. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- [2] Fernández, W., Villalobos, S., & King, R.. (2018). Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto. Revista ingeniería de construcción, Vol 33, N°1, pág 5-14. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100005>
- [3] Gallardo Amaya, R. J., Guerrero Barbosa, T. E., & Macgregor Torrado, A. A. (2013). Investigación Geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia). INGE CUC, Vol. 9, N° 2, pág. 67.
- [4] J. Michael Duncan, M. o. (2000). Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering , 307-309.
- [5] SENCICO. (2016). Norma Técnica E030 - Diseño Sismorresistente.
- [6] Viltres Milán, Y., Pintón Castro, R., & Guardado Lacaba, R. (2011). Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del Municipio Moa. IX Congreso Cubano de Geología.
- [7] Alonso, Eduardo (1989). Análisis de la estabilidad de taludes. Casos simples. En Corominas, J. (editor), “Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales”, Monografía nº 3, Sociedad Española de Geomorfología, pp. 97-118.