

Estudio de la estabilidad de taludes en Panamá bajo diferentes condiciones de carga utilizando elementos finitos

Study of slope stability in Panama under different loading conditions using finite elements

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá.

gabriel.montufar@up.ac.pa , <https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Recibido: 15-08-24, Aceptado: 10-12-24

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.saberes.v8n1.a6780>

Resumen

Panamá, debido a su ubicación geográfica, es particularmente susceptible a deslizamientos de tierra provocados por lluvias intensas, actividad sísmica y prácticas inadecuadas de protección contra la erosión. Este estudio se centra en el análisis de estabilidad de taludes en un proyecto residencial en la región de Puerto Caimito, La Chorrera, Panamá. Se utilizó el software GEO5, basado en el método de elementos finitos, para evaluar la estabilidad del talud bajo diversas condiciones de carga, incluyendo gravedad, sobrecarga, saturación del suelo y actividad sísmica.

El talud en estudio presenta variaciones significativas en su altura y geometría, lo que lo convierte en un caso representativo para proyectos residenciales. Los resultados muestran que la saturación del suelo y la sobrecarga inducida por la construcción de estructuras aumentan considerablemente la vulnerabilidad a la inestabilidad del talud, especialmente bajo condiciones sísmicas. Los factores de seguridad fueron evaluados siguiendo las recomendaciones del Reglamento Estructural de Panamá (2021), indicando que la estabilidad del talud puede estar comprometida en escenarios de carga combinada.

Palabras clave: estabilidad de taludes, método de elementos finitos, factor de seguridad, esfuerzo, deformación.

Abstract

Due to its geographical location, Panama is particularly susceptible to landslides triggered by intense rainfall, seismic activity, and inadequate erosion control practices. This study focuses on the analysis of slope stability in a residential project in the Puerto Caimito region, La Chorrera, Panama. The GEO5 software, based on the finite element method, was used to evaluate the stability of the slope under various load conditions, including gravity, surcharge, soil saturation, and seismic activity.

The slope under study presents significant variations in its height and geometry, making it a representative case for residential projects. The results show that soil saturation and surcharge induced by the construction of structures considerably increase the vulnerability to slope instability, especially under seismic conditions. The safety factors were evaluated following the recommendations of the Structural Regulations of Panama (2021), indicating that the stability of the slope may be compromised in combined load scenarios.

Keywords: slope stability, finite element method, safety factor, stress, deformation.

Introducción

Panamá es un país que, debido a su geografía montañosa y su clima tropical, enfrenta desafíos significativos en términos de estabilidad de taludes. Las fuertes lluvias durante la mayor parte del año, combinadas con actividad sísmica y prácticas inadecuadas de construcción, hacen que la evaluación de la estabilidad de taludes sea un aspecto crítico en el desarrollo de infraestructuras, especialmente en proyectos residenciales (Mosquera, 2019; Mejía León, 2021). La región de Puerto Caimito, en La Chorrera, es un claro ejemplo de un área donde la interacción entre estas variables geotécnicas y ambientales puede desencadenar deslizamientos de tierra con consecuencias potencialmente devastadoras (Suarez Díaz, 1998).

En este contexto, la necesidad de realizar estudios detallados sobre la estabilidad de taludes en proyectos residenciales se vuelve fundamental para prevenir desastres y asegurar la viabilidad de las construcciones. Estudios previos han abordado la estabilidad de taludes en diferentes regiones de Panamá, utilizando diversas

metodologías, como el equilibrio límite y el análisis numérico mediante elementos finitos (Török et al., 2018; Torres-Hoyer, Torres-Hoyer, & Monsalve, 2013; Barrientos Huaman, 2022). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en proyectos de infraestructura industrial o en zonas rurales, dejando un vacío en la literatura sobre cómo las condiciones de carga y saturación del suelo afectan a taludes en desarrollos residenciales (Mosquera, 2019).

Este estudio se propone analizar la estabilidad de taludes en un proyecto residencial ubicado en Puerto Caimito, utilizando el software GEO5 basado en el método de elementos finitos (MEF). El análisis considera diversas condiciones de carga, incluyendo gravedad, sobrecarga por construcciones, saturación del suelo, y la influencia de sismos (Geoengineer.org, 2024; Silva Quesquen, 2018). A través de este enfoque, se busca evaluar los factores de seguridad y determinar los escenarios en los cuales la estabilidad del talud podría verse comprometida (Carranza, 2017; Jimenez Martinez & Amesquita Gonzalez, 2017).

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección de Métodos y Materiales describe en detalle el proceso de modelado y las características del talud analizado. En la sección de Resultados y Discusión, se presentan y comparan los resultados obtenidos bajo las diferentes condiciones de carga. Finalmente, la sección de Conclusiones resume los hallazgos principales y ofrece recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en proyectos residenciales.

Materiales y Métodos

1. Descripción del Sitio de Estudio

El proyecto residencial se encuentra en la región de Puerto Caimito, La Chorrera, en Panamá. Esta área se caracteriza por un terreno montañoso con taludes que varían significativamente en altura, alcanzando hasta 44 metros en algunos puntos. El clima tropical de la región, con una temporada de lluvias prolongada, junto con la proximidad

al nivel freático, hace que la estabilidad del suelo sea una preocupación primordial en el desarrollo de infraestructuras residenciales.

2. Procedimientos de Muestreo

Para evaluar las condiciones geotécnicas del talud, se realizaron un total de 10 perforaciones distribuidas estratégicamente a lo largo del sitio de estudio. Las perforaciones alcanzaron profundidades que variaron entre 6 metros y 20 metros, dependiendo de la topografía y las características del terreno en cada sección. Se utilizó un equipo de percusión para realizar las perforaciones y se llevaron a cabo pruebas de penetración estándar (SPT) conforme a la norma ASTM D1586 en cada perforación. Estas pruebas permitieron evaluar la resistencia al corte de los estratos de suelo y proporcionar una clasificación preliminar de los mismos.

Las muestras de suelo recolectadas fueron clasificadas visualmente y sometidas a análisis de laboratorio para determinar su granulometría, límites de consistencia (según ASTM D4318) y resistencia a la compresión simple (ASTM D2166). También se midió el contenido natural de agua de las muestras para evaluar las condiciones de saturación.

3. Análisis de Laboratorio

Las pruebas de laboratorio fueron fundamentales para caracterizar los materiales del talud. Los ensayos incluyeron:

Granulometría: Se realizó un análisis granulométrico mediante tamizado para clasificar los suelos y determinar la distribución de tamaños de partículas.

Límites de Consistencia: Se determinaron los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) para evaluar las propiedades de plasticidad del suelo.

Pruebas de Resistencia al Corte: Se realizaron ensayos de corte directo para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo, que son esenciales para el análisis de estabilidad.

4. Modelado y Simulación

El análisis de estabilidad del talud se llevó a cabo utilizando el software GEO5, basado en el método de elementos finitos (MEF). Este enfoque permite modelar y simular el comportamiento del talud bajo diversas condiciones de carga y evaluar los factores de seguridad asociados (Zuloaga Fábrega & Sierra Galeano, 2012; Diaz Pezua, 2021). Las condiciones de carga consideradas en el estudio incluyen:

Gravedad (G): Representa la condición de carga básica debida al peso propio del suelo.

Sobrecarga por Construcción (G + B): Incluye la carga adicional impuesta por la construcción de estructuras residenciales.

Saturación del Suelo (G + B + S): Considera el efecto de la saturación del suelo debido a la infiltración de agua durante la temporada de lluvias.

Carga Sísmica (G + B + S + E): Evalúa la estabilidad del talud bajo la influencia de eventos sísmicos, utilizando un coeficiente sísmico horizontal calculado ($K_h = 0.15$).

Para el modelado, se generó una malla de elementos finitos que subdividió el talud en elementos más pequeños, lo que permitió realizar un análisis detallado de las tensiones y deformaciones en el suelo. Los parámetros de entrada para el modelo se derivaron de los ensayos de laboratorio y las pruebas de campo (ICUA, 2024; Tang, Li, Xu, & Mac, 2015).

5. Análisis de Datos

Los resultados del análisis de elementos finitos se utilizaron para calcular los factores de seguridad (SF) bajo cada condición de carga. El método de reducción de resistencia se aplicó para determinar el punto en el que el modelo ya no converge, lo que indica la pérdida de estabilidad del talud (Mucuta-Lito, Cartaya-Pires, & Watson-Quesada, 2020; Monte Parra, 2020; Caballero, Castillo, Castellón, & Rodríguez, 2023). Los factores de seguridad se compararon con los valores recomendados por el Reglamento Estructural

de Panamá (2021) para evaluar la viabilidad de las condiciones actuales y proyectadas del talud.

Resultados y discusión

Los análisis de estabilidad corresponden al apartado más crítico encontrado. El análisis para encontrar el factor de seguridad utilizó el método de Newton - Raphson con un número máximo de iteraciones en una etapa de cálculo igual a 100 y realizando un cambio de matriz de rigidez después de cada iteración. En cuanto al paso de cálculo inicial, la relación entre la carga en una etapa de carga y la carga general prescrita es del 25% de la carga total. El análisis de estabilidad de taludes se basa en la cohesión efectiva (c') y el ángulo de fricción efectivo (ϕ'), parámetros de reducción relacionados con la tensión y la deformación. El factor de seguridad se define como un parámetro que debe aplicarse para reducir los valores reales de los parámetros de resistencia que conducen a la pérdida de estabilidad. El grado de estabilidad del talud está definido por la relación:

$$SF = \frac{\tan(\phi_s)}{\tan(\phi_p)}$$

(1)

En la ecuación 1, ϕ_s corresponde al valor real del ángulo de fricción interno, ϕ_p corresponde al valor del ángulo de fricción interno en la falla. El análisis también indica la gráfica de los vectores de desplazamiento y la deformación plástica equivalente $\epsilon_{eq.}$, P_I . Las deformaciones plásticas indican la forma y magnitud de la sección de falla potencial. En cuanto a la deformación, la sección de cálculo de estabilidad del programa GEO5 FEM permite únicamente la representación gráfica de desplazamientos (en las direcciones Z y X) y deformaciones (totales o plásticas). La deformación de la estructura corresponde al estado de análisis para parámetros reducidos del suelo; por lo tanto, no tiene nada en común con la deformación verdadera, que sólo da una imagen de todo el comportamiento del talud o de la estructura en el momento de la falla (ISRM, 2023; Sarah

& Daryono, 2012; Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2019; Gutierrez Tovar, 2016; Flores Artola & Oporta, 2019).

Para este análisis se seleccionó el tramo más crítico. Los parámetros de entrada incluyen un análisis de deformación plana que es adecuado para resolver problemas lineales en los que las dimensiones longitudinales están dadas por un orden de magnitud mayor que las dimensiones laterales del área a resolver. Las dimensiones seleccionadas en el modelado del suelo son: alcance mínimo en X: 0,00 metros, alcance máximo de X: 50,00 metros y profundidad del modelo por debajo del punto de interfaz más profundo: 15,00 metros. En los parámetros del suelo se modeló el suelo arenoso limoso correspondiente al levantamiento S1, S2 y S3, el modelo del material utilizado fue Drucker - Prager. Las características del suelo se indican en la siguiente tabla 1:

Tabla 1

Parámetros del suelo

#	Z (m)	$\gamma_{húmedo}$ $\left(\frac{kN}{m^3}\right)$	c' (kPa)	ϕ' (°)	E (MPa)	v
S ₁	0 - 7	26.28	47	26	8	0.3
S ₂	7 - 12	25.98	43	25	8	0.3
S ₃	12 - 32	25.98	62	18	10	0.3

Al generar la malla se crearon 2483 nodos, 1386 elementos subdivididos en 970 elementos de zona, 104 elementos de viga y 312 elementos de interfaz. La longitud del borde es de 1,5 metros e incorpora suavizado de malla y generación de elementos de múltiples nodos. Las etapas consideradas en el análisis para obtener los factores de seguridad son cargas gravitacionales, cargas gravitacionales + carga edificación, carga gravitacional + carga edificación + T.S. de saturación, carga por aceleración gravitatoria + carga edificación + T.S. de saturación + sismo. Como se indica en la tabla 2. El valor

de presión sísmica horizontal calculado es $K_h = 0,15$. La carga externa aplicada fue de 20 kN/m².

Tabla 2

Factores de seguridad obtenidos con MEF

Condición	SF
G	2.06
G + B	1.85
G + B + S	1.85
G + B + S + E	1.58

Donde G es la carga de aceleración gravitatoria, B es el peso del edificio, S es la saturación del suelo y E corresponde a la carga sísmica dinámica. Comparando los resultados obtenidos mediante el análisis de elementos finitos para la estabilidad de taludes, podemos observar que según los criterios establecidos en el Reglamento Estructural Panameño REP 2021, el primer caso donde el peso debido a la aceleración gravitatoria es la única fuerza desestabilizadora arroja un factor de seguridad de 2.06 que es mayor que 1,50 por lo tanto la pendiente es estable en condición estática. Para el segundo caso, donde se suma la carga del edificio y el peso de la estructura del pavimento, el factor de seguridad disminuye a 1,85, por lo que la pendiente permanece estable. En el tercer caso donde se incorpora el efecto de la saturación del suelo, el nivel freático se encontró a 5 metros por debajo de la base del talud y el factor de seguridad permanece en 1,85 porque la sección de falla más probable permanece por encima del nivel freático y esto no afecta la estabilidad del talud, en el cuarto caso donde se suma la carga dinámica, el factor de seguridad es 1.58 el cual está por encima del factor de seguridad recomendado por el código panameño de 1.2, por lo tanto el talud es estable en condición dinámica. Las deformaciones máximas equivalentes $\epsilon_{eq,l}$ expresan los

lugares donde hay una sección de falla potencial como se indica en la tabla 3 y la figura 1.

Tabla 3

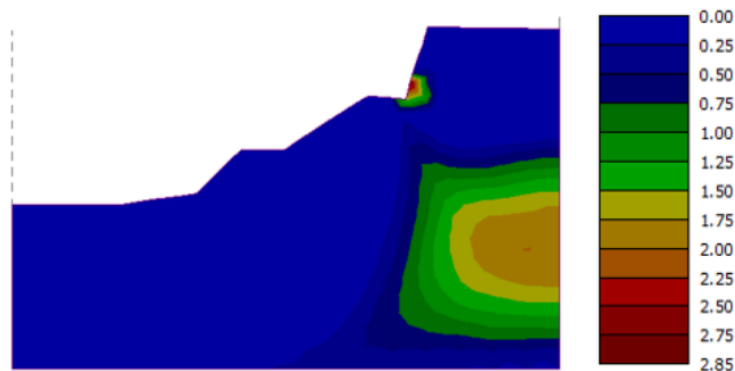
Deformaciones máximas equivalentes

Condición	X (m)	Y (m)	$\epsilon_{eq,pl}$ (%)
G	36.48	11.67	2.12
G + B	36.48	11.67	2.82
G + B + S	36.48	11.67	2.82

La condición sísmica requiere datos de un acelerograma, según esta información, el punto donde es más probable que se genere una sección de falla por deformación plástica es en alteración de pendiente más cercano a la parte superior del suelo.

Figura 1

Representación de la deformación máxima equivalente en la pendiente de estudio para la condición G+B.



La presión de poro debido a la infiltración de agua reduce la estabilidad del talud, los resultados para las condiciones donde el suelo estaba parcialmente saturado se indican en la tabla 4.

Tabla 4

Presiones de poro máximas

Condición	X (m)	Y (m)	U (kPa)
G + B + S	50.00	-	100.00 15.00

Para la condición de saturación parcial, la presión de poro aumenta con la hondura y es máxima en el límite inferior del modelo. Las tensiones registradas en el suelo, se indican en la tabla 5 y figura 2.

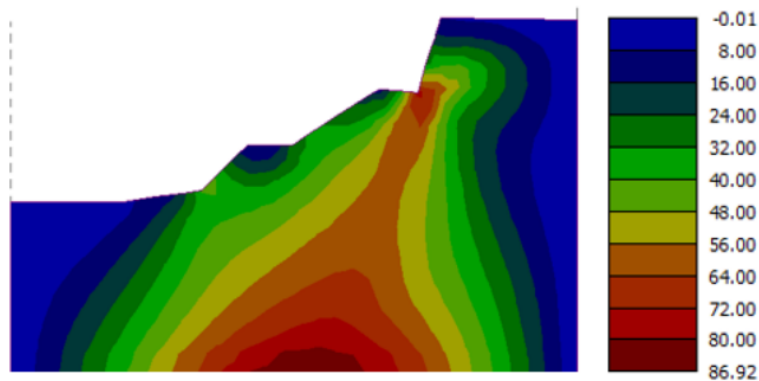
Tabla 5

Esfuerzos cortantes máximos obtenidos con MEF

Condición	X (m)	Y (m)	T _{xz} (kPa)
G	27.27	-15.00	83.89
G + B	27.27	-15.00	86.83
G + B + S	27.27	-15.00	86.83

Figura 2

Esfuerzo cortante generado en el suelo para la condición G+B



Existe una gran concentración de esfuerzos cortantes a lo largo de todo el talud, pero la parte que más concentra estos esfuerzos es el cambio de pendiente más cercano a la cima del suelo.

Conclusión

Este estudio evaluó la estabilidad del talud en un proyecto residencial en Puerto Caimito, La Chorrera, Panamá, utilizando el método de elementos finitos (MEF) a través del software GEO5. Se analizaron diversas condiciones de carga, incluyendo gravedad, sobrecarga por construcción, saturación del suelo, y actividad sísmica, para determinar los factores de seguridad y los potenciales mecanismos de falla.

1. Resumen de Hallazgos Clave

Los resultados indican que el talud bajo condiciones de carga estática (G) presenta un factor de seguridad adecuado, superior a 2.0, lo que sugiere estabilidad en ausencia de sobrecargas adicionales y saturación. Sin embargo, la inclusión de la sobrecarga por construcción (G + B) reduce el factor de seguridad a 1.85, lo que destaca la influencia

significativa de las cargas estructurales en la estabilidad del talud (Roiser, 2017; Echeverri Ramírez, 2013, Briceño, Guillén, Belandria, & León, 2023). Bajo condiciones combinadas de saturación del suelo y actividad sísmica ($G + B + S + E$), el factor de seguridad disminuye a 1.58, situándose cerca del límite inferior recomendado por el Reglamento Estructural de Panamá (1.2), lo que indica que el talud es vulnerable a inestabilidad en situaciones extremas (Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, 2003).

2. Implicaciones Prácticas

Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar cuidadosamente las cargas adicionales y las condiciones ambientales en el diseño y construcción de proyectos residenciales en regiones con características geotécnicas similares a las de Puerto Caimito. Específicamente, se recomienda implementar medidas de mitigación, como sistemas de drenaje efectivos y refuerzos estructurales, para asegurar la estabilidad del talud bajo condiciones de saturación y sismo.

3. Limitaciones del Estudio

Este estudio se basa en un análisis numérico que, aunque robusto, depende de la precisión de los datos de entrada, incluyendo las propiedades del suelo y las cargas aplicadas. Las condiciones reales en el sitio de construcción pueden variar, lo que podría afectar la precisión de los resultados. Además, la falta de datos específicos de acelerogramas para la región podría haber influido en la evaluación de la carga sísmica.

4. Recomendaciones para Futuras Investigaciones

Se sugiere que futuras investigaciones se enfoquen en la validación experimental de los resultados obtenidos mediante ensayos de campo o simulaciones más detalladas que incorporen variaciones en las propiedades del suelo y diferentes escenarios sísmicos. También sería valioso explorar la aplicación de técnicas de refuerzo adicionales, como el uso de anclajes y muros de contención, y su impacto en la estabilidad de taludes en contextos residenciales.

Referencias Bibliográficas

- Conferencia Internacional sobre Acústica Submarina (ICUA, 2024). (2024). Métodos avanzados como las técnicas de elementos finitos de alto orden y el análisis isogeométrico. Recuperado de <https://icua2024.org/wp-content/uploads/2024/06/ICUA2024-Abstracts.pdf>
- Geoengineer.org. (2024). ¡La nueva versión PLAXIS 2024 ya está disponible! Destacado - Análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos de elementos finitos. Recuperado de <https://www.geoengineer.org/news/plaxis-20241-new-release-is-out>
- ISRM. (2023). Método de análisis de estabilidad de taludes controlado por plano de debilidad. Recuperado de <https://isrm.net/download/media.file.9298b37b8b61bd59.SVNSTSBOZXdzam91cm5hbCAyMDIzIFZvbCAyNiB2MS4wLnBkZg==.pdf>
- A. Kerguelen Argumedo, I. García Mendive y A. Sfriso. (2016). "Análisis de estabilidad de taludes utilizando elementos estocásticos finitos en el depósito Phoenix", Conferencia Internacional Especializada en Rocas Blancas, pp. 1-3.
- Á. Török, Á. Barsi, G. Bögöly, T. Lovas, Á. Somogyi y P. Görög. (2018). "Estabilidad de la pendiente y evaluación de la caída de roca de toba utilizando RPAS con modelado de pendiente FEM 2-D", Revista The Natural Hazards and Earth System Sciences, pp. 583-598, 2018.
- D. Sarah y M. Daryono (2012). "Investigación geológica de ingeniería de deslizamiento lento en la aldea de Jahiyang, Salawu, Tasikmalaya", Revista Indonesia de Geología, vol. 7 No. pp. 27-38.
- Zuloaga Fábrega y J. Sierra Galeano (2012). "Diseño y construcción de estabilización de un talud compuesto por suelos tropicales residuales mediante la técnica del clavado de suelo", Obras Urbanas, pp. 10-12.
- R. Torres-Hoyer, J. Torres-Hoyer y M.L. Monsalve (2013) "Análisis de estabilidad cuasi tridimensional de un talud de suelo mediante el método de elementos finitos: Carretera San Cristóbal - La Fría, Venezuela". Revista de Ciencias e Ingeniería, vol. 34, No. 2, pp. 63-72.
- C. Tang, L. Li, N. Xu y K. Mac (2015). "Monitoreo microsísmico y simulación numérica de la estabilidad de taludes rocosos en ingeniería hidroeléctrica", Revista de Mecánica de Rocas e Ingeniería Geotécnica, vol. 7, págs. 493-508.
- P. A. Silva Quesquen (2018). "Análisis comparativo de estabilidad de taludes y propuesta de solución con muros anclados en la Carretera Las Pirias-Cajamarca", Universidad César Vallejo, Lima, Perú, págs. 25-29.

- M. Roiser (2017). "Análisis de inestabilidad de taludes mediante equilibrio límite y elementos finitos, tramo Santa Rosa - Tuco Bajo vía Bambamarca - Centro Urbano Tuco", Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, pp. 73-87.
- G. E. Echeverri Ramírez (2013). "Estabilidad de taludes en suelos residuales evaluada a corto y largo plazo", Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, págs. 10-20.
- J. Suarez Díaz (1998). "Landslides and taludes estabilidad en áreas tropicales", Erosion and Landslide Research Institute, págs. 117-148.
- Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (2003). "Manual de ingeniería de estabilidad de taludes". Manual N° 1110-2-1902, págs. 24-28.
- H. Mucuta-Lito, M. Cartaya-Pires, R. Watson-Quesada (2020). "Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del coeficiente de seguridad". Minería y Geología, Vol. 36, N. 4, págs. 444-450.
- N. Mosquera (2019). "Aplicación de un modelo estocástico para evaluación de amenaza de deslizamiento en dos sitios críticos de la vía Villavicencio - Pipiral (PR83+510 – PR86+500), incluyendo los detonantes de sismo y lluvia". Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás, Repositorio Institucional, págs. 51-67.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2019). "Evaluación Geológica del Deslizamiento de Antapi, Ubinas". Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Informe Técnico N° A6916, págs. 10-19.
- C. Diaz Pezua (2021). "Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3S kilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí, distrito de Santa María de Chicmo". Tesis de Licenciatura, Universidad Continental, Repositorio Institucional, págs. 8-52.
- I. Monte Parra (2020). "Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finito". Tesis de Licenciatura, Universidad de Concepción, Repositorio Institucional, págs. 25-54.
- R. Barrientos Huaman (2022). "Estudio de sismicidad inducida para solucionar problemas de inestabilidad del macizo rocoso del sector Ayala Inferior Mina San Vicente". Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga, Repositorio Institucional, págs. 41-71.
- J. Briceño, M. Guillén, N. Belandria y F. León (2023). "Análisis de estabilidad de taludes de secciones típicas en la construcción de carreteras a través de modelos numérico". Universidad de los Andes, Revista TEKHNÉ N. 26, págs. 66-70.
- M. Eugenio Carranza (2017). "Análisis De Inestabilidad De Taludes Mediante Equilibrio Límite Y Elementos Finitos, Tramo Santa Rosa– Tuco Bajo Carretera

- Bambamarca – Centro Poblado Tuco”. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca, Repositorio Institucional, págs. 73-87.
- A. Gutierrez Tovar (2016). “Control de los coeficientes de seguridad y desplazamiento de las estructuras de contención de los taludes de excavación mediante el método de elementos finitos y teoría del equilibrio límite”. Tesis de Maestría, Universidad Industrial De Santander, Repositorio Institucional, págs. 54-93.
- J. Jimenez Martinez y B. Amesquita Gonzalez (2017). “Evaluación de estabilidad de un talud en la zona norte de Pamplona entre los barrios Juan XXIII y San Luis, aplicando métodos determinísticos para diagnosticar posibles fenómenos de remoción en masa”. Tesis de Licenciatura, Universidad de Pamplona, Repositorio Institucional, págs. 113-121.
- E. Flores Artola y Y. Oporta (2019). “Evaluación de estabilidad de talud en el Mirador de Catarina para el reordenamiento urbano del mirador”. Trabajo Monográfico para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Repositorio Institucional, págs. 104-116.
- C. Caballero, P. Castillo, J. Castrellón, S. Rodríguez (2023). “Análisis geomecánico mediante modelo de estabilidad de laderas en la zona de Bambito (Chiriquí)”. Revista de Iniciación Científica, Universidad Tecnológica de Panamá, Vol. 9, N. 2, págs. 91-97.
- A. González (2015). “Estabilidad de Taludes y Laderas, Análisis Cuantitativo y Cualitativo”. Grupo ITEICO Euroamericano, págs. 26-29.
- D. Mejía León (2021). “Evaluación del macizo rocoso aplicando el método gráfico de estabilidad para el dimensionamiento geomecánico de tajeos”. Tesis de Licenciatura, Universidad Continental, Repositorio Institucional, págs. 42-60.
- Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura. (2022). *Reglamento para el Diseño Estructural Panameño (REP-2021)*. Gaceta Oficial Digital, No. 29594-A. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29594_A/83985.pdf