



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL DISEÑO
DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN
CARRETERAS” una revisión sistemática de la
literatura científica

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Caroline Nicole Idrogo Cabrera

Asesor:

Mg. Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por estar presente a lo largo de toda mi carrera universitaria y por permitirme la oportunidad de superar cada obstáculo que se me presentó para llevar a cabo la elaboración de este proyecto de tesis.

A mis padres y familiares que me enseñaron que todo trabajo requiere de esfuerzo y dedicación para desarrollarlo satisfactoriamente.

AGRADECIMIENTO

Agradezco el apoyo incondicional de mi familia, en especial a mis padres que han creído siempre en mí dándome ejemplos de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución del presente proyecto.

Agradezco al Ing. Daniel Alva, por sus correcciones metodológicas, por brindarme su apoyo y por ser la guía para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Tabla de contenido

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO..... | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 6 |
| RESUMEN..... | 7 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 8 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 12 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 17 |
| CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES..... | 30 |
| REFERENCIAS | 32 |
| ANEXOS | 36 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|---------|
| Tabla 1. <i>Criterios para la inclusión de artículos en la revisión sistemática</i> | Pág. 15 |
| Tabla 2. <i>Métodos exploratorios y analíticos para determinar la estabilidad de taludes</i> | Pág. 18 |
| Tabla 3. <i>Métodos analíticos para la determinación del factor de seguridad del talud</i> | Pág. 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|---------|
| <i>Figura 1.</i> Diagrama de flujo de inclusión y exclusión de artículos | Pág. 17 |
| <i>Figura 2.</i> Utilización de software para el diseño de estabilidad de taludes (2001-2018)..... | Pág. 24 |
| <i>Figura 3.</i> % de influencia de factores geológicos en la estabilidad de taludes (2001-2018)... | Pág. 25 |
| <i>Figura 4.</i> Recopilación de métodos de análisis para la clasificación geomecánica..... | Pág. 26 |
| <i>Figura 5.</i> Criterios para la determinación del método de análisis según el tipo de roca..... | Pág. 27 |
| <i>Figura 6.</i> Movimientos geológicos en taludes inestables influenciados por el desarrollo urbanístico..... | Pág. 28 |

RESUMEN

La estabilidad de taludes representa un gran reto para la ingeniería y representa un factor relevante para el desarrollo de toda labor minera, es por ello que el presente proyecto de investigación tiene por objeto realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre la Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras con el objetivo principal de identificar los diseños para la estabilización de taludes a través de evaluaciones geotécnicas. Para el cual se realiza una completa y exhaustiva revisión sistemática de diferentes artículos y revistas de investigación. Se analizan un total de 83 documentos publicados entre el 2001 al 2019 y se seleccionan a partir de indicadores como título, tipo de fuente y objetivos de la investigación. La información se obtuvo de la versión electrónica de dichos documentos en línea en fuentes académicas como revistas de Scielo, Redalyc, Google académico y Repositorios institucionales. En los resultados se observa información específica sobre los diseños para la estabilización de taludes a través de evaluaciones geotécnicas. Asimismo se concluyen y discuten los resultados hallados durante la revisión sistemática del presente proyecto de investigación.

PALABRAS CLAVES: Evaluaciones geotécnicas, estabilidad de taludes, diseños de estabilización, análisis geomecánico, métodos y medidas de estabilización.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La inestabilidad de taludes en zonas urbanas lo largo y ancho del mundo, a nivel nacional y local ha representado un factor determinante para el desarrollo de toda labor minera así como para la seguridad de las zonas urbanas aledañas a proyectos mineros, es por ello que hoy en día ha recibido mayor atención y se le ha considerado como un reto para la ingeniería, esto dado que con el tiempo se han venido suscitando peligros naturales recurrentes que afectan áreas urbanas y a la vez cobran vidas humanas, por ende es importante realizar constantes estudios cuando un talud implica riesgo de inestabilidad, esto mediante programas especializados apoyados en los diferentes métodos o medidas de estabilización donde brinden el ángulo de talud ideal para que no ocurra deslizamientos ni caída rocas.

La estabilidad del talud está determinada por factores geométricos, como su altura e inclinación; factores geológicos; hidrogeológicos; y geotécnicos. De esta manera, la combinación de estos cuatro factores puede determinar la condición de rotura del terreno en algún tipo de superficie, permitiendo el movimiento de la masa contenida en dicha superficie. Por ello, el análisis de la estabilidad de un talud reviste gran importancia al momento de considerar una futura construcción en su entorno (Sanhueza y Rodríguez 2013).

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento fisicomatemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad permitiendo tomar las medidas correctivas o de estabilización (Sanhueza y Rodríguez 2013).

Alpizar A. (2012) en su artículo “Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales” determina que más del 50% del sistema vial de Costa Rica se encuentra directa o indirectamente afectado por corte o relleno de taludes, la mayoría de los proyectos en operación evidencian grandes problemas de inestabilidad de taludes, que podrían haber sido evidenciados y solucionados en las etapas preliminares, es por ello que el autor propone estructurar una metodología de evaluación que comprenda tres fases básicas: Estudio Geológico Básico, Campaña de Exploración Geotécnica y Evaluación de Estabilidad del Talud y recomienda el uso de dicha propuesta como una metodología base y que esta sea enriquecida con otras experiencias que ayuden a mejorar la calidad en los procesos de análisis para brindar soluciones más económicas y eficientes en el largo plazo, y se reemplacen definitivamente las ideas de soluciones baratas y deficientes en el corto plazo.

Mesa M, Tejeda E. (2017) en su estudio “Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos” expone, que en terraplenes de pequeña altura, menores a 6 m, las pendientes en los taludes de 2:1 y 1.5:1 resultan estables, de acuerdo con las normativas nacionales e internacionales, por ello recomienda que es más conveniente comprobar la estabilidad del talud con otros valores de pendiente, así como diferentes de suelos, de manera que puedan ofrecerse otras variantes al proyectista. Cuando el terraplén supera los 12m de altura recomienda el empleo de bermas para asegurar la estabilidad del talud, solución que resulta la más favorable desde los puntos de vista técnicos y económicos.

Méndez L. (2018) en su artículo “Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia” realizó el levantamiento geológico –

geotécnico del área aplicando la clasificación RMR de Bieniawski, concluyendo que el área de estudio presenta rocas del Ordovícico como Lutitas y cuarcitas ambas muy fracturadas y diaclasadas de las Formaciones Anzaldo y Capinota. Asimismo, evaluó la estabilidad de los taludes por el método SMR, dando como resultado una descripción, mala e inestable; por el método de Fellenius determinó un factor de seguridad menor a 1.00, un factor de seguridad bajo e inestable, proponiendo una comparación entre los métodos de Bishop y Jambù haciendo uso del software SLIDE y GeoSlope para el respectivo modelamiento y obtención del Factor de seguridad.

Ayala R, Requena J (2011) en su artículo “Estabilidad relativa de taludes en el “Batolito de El Carmen” en un segmento de la carretera Mérida-Tabay, estado Mérida-Venezuela.” Concluye que el área de estudio presenta comportamientos de inestabilidad crítica a lo largo de casi todo el trayecto, en las laderas inmediatas a la carretera, debido a los procesos naturales que constituyen amenazas, principalmente de tipo movimientos de masa e hídricas, que han llegado a afectar y deteriorar en innumerables ocasiones las condiciones de la infraestructura vial. En este sentido se recomienda llevar a cabo obras de control de cauces, retención de sedimentos y canales de desagüe, para evitar daños en la carretera, específicamente en el sector Las Calaveras, asimismo a nivel comunitario recomienda impartir fundamentos teóricos los cuales les permitan conocer la realidad geográfica que presentan cada uno de los centros poblados del área, en función de poder hacer cumplir los nuevos lineamientos de prevención, ante la amenaza latente por problemas de inestabilidad de terrenos y taludes a los que está sujeta la zona.

Sáenz E. (2015) en su artículo “Evaluación geotécnica de los taludes en el tramo de carretera el Gavilán –Chigden” concluye que el comportamiento geotécnico de los taludes de tramo de carretera El Gavilán – Chigden es sumamente compleja por la presencia de rocas altamente fracturadas, es decir por las condiciones físico- mecánicas de los suelos y rocas; pero que además están siendo influenciado principalmente por el alto ángulo de talud que presentan, definiendo la inestabilidad en zonas críticas de los taludes, es por ello que el autor recomienda que en las zonas críticas se deba hacer un nuevo perfilamiento de los taludes que por su altura, ángulo de talud y la meteorización son propensas a deslizamientos, debiéndose realizar un estudio mediante programas especializados donde brinden el ángulo de talud ideal para que no ocurra deslizamientos ni caída rocas.

Tomando en cuenta estos elementos empíricos y teóricos, la presente revisión sistemática pretende, dar respuesta al problema de investigación ¿Cuáles son los diseños de estabilidad de taludes en carreteras a través de evaluaciones geotécnicas?, estableciendo una perspectiva teórica a la Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras.

Por lo cual el objetivo general de esta investigación es identificar los diseños para la estabilización de taludes a través de evaluaciones geotécnicas y como objetivo específico enunciar los métodos de análisis para el cálculo del factor de seguridad en la estabilización del talud. La selección y revisión de artículos y revistas de investigación nos permitirán realizar una investigación profunda y exhaustiva del tema.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente revisión sistemática, incluyo un total de 21 artículos y revistas de investigación. Por otra parte, la búsqueda se realizó en función del tema de investigación “Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras” en idioma español. Posteriormente se desarrolló un procedimiento en ocho etapas: a) formulación del título, b) formulación de la pregunta y objetivos de estudio c) búsqueda bibliográfica d) identificación de los estudios e) sistematización de datos F) elección de los documentos en línea g) evaluación y análisis de los estudios encontrados y, por último, la redacción de la introducción (antecedentes bases teóricas, problemática, objetivos y justificación) todos los estudios se incluyeron por la calidad de su metodología.

Tipo de investigación:

El presente proyecto de investigación es del tipo revisión sistemática de la literatura científica, para ello se analizaron y sintetizaron las evidencias encontradas en investigaciones en torno al objetivo general de la investigación “Identificar los diseños para la estabilización de taludes a través de evaluaciones geotécnicas”. La revisión sistemática, se desarrolló a partir de referencias teóricas y empíricas con la finalidad de realizar una investigación profunda y exhaustiva en el tema con base al enfoque social urbanístico a fin de evitar accidentes provocados por los deslaves y desprendimientos de rocas en centros habitados que a su vez ocasionan pérdidas sociales y económicas (Rocha et al., 2002).

Proceso de selección de información:

Para la localización de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales. Se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos Google académico, Scielo y Redalyc, utilizando las siguientes palabras clave: Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras, Análisis geotécnico para la estabilización de taludes y Diseño de estabilidad de taludes (en español). En esta primera búsqueda los registros obtenidos oscilaron entre 63 a 109 referencias. La selección inicial se realizó con la lectura de los títulos de las publicaciones, se eligieron aquellos en los cuales se hiciera explícito el tema “Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras”. En los artículos donde se presentaba duda respecto al tema, se realizó lectura completa de los resúmenes. Se hizo una lista de los estudios potencialmente relevantes, los cuales se identificaron y seleccionaron, para finalmente conformar un listado de 21 títulos.

Criterios de inclusión y exclusión

Se analizó la información teniendo en cuenta los siguientes criterios de inclusión: investigaciones de primer nivel publicadas en la base Google académico, Scielo, Redalyc, y Repositorios institucionales, cuyo fin fue determinar el estado investigativo sobre la evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras.

Para registrar los datos se utilizó un protocolo que permitió organizar la información de cada artículo. El protocolo recogía información de los siguientes campos: Sumatoria, Base de datos, Accesibilidad, tipo de artículo, Autores, Título, Palabras Clave, Resumen del

artículo, País, Año, ¿Estudio de trabajo empírico?, ¿Qué variables se analizaron?, ¿Cómo se realizó la medición? (instrumento), Criterio de Inclusión del artículo y Criterio de exclusión del artículo.

Proceso de Revisión:

Todos los estudios y proyectos de investigación referenciados a través de los autores fueron analizados y codificados independientemente, agrupándose los documentos por tópicos y por tener información óptima y precisa de los que no abarcaban el tema en general, esto permitió identificar el estado de las investigaciones sobre las evaluaciones geotécnicas para el análisis y diseño de estabilidad de taludes.

Tabla 1

Artículos incluidos en la revisión sistemática

| Base de datos | Autor (es) | Título de la investigación | País | Año | ¿Cómo se realizó la medición? |
|------------------|---|---|------------|------|--|
| Redalyc | Eleazar Arreygue-Rocha, Víctor Hugo Garduño-Monroy, Paolo Canuti, Nicola Casaglie, Alberto Iotti y Sergio Chiesa. | Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México. | México | 2002 | Análisis de bloques, uso de software. |
| Google académico | Alicia Alpízar Barquero | Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales. | Costa rica | 2012 | Utilizaron RMR, Q de Barton |
| Redalyc | Sanhueza Plaza, C.; Rodríguez Cifuentes, L. | Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. | Chile | 2013 | Fórmulas matemáticas, diseño en software |
| Google académico | Maureen Carrillo, Lepolt Linkimer, Albán Rodríguez, Héctor Zuñiga | Clasificación geomecánica y análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso coris, c Cartago, Costa Rica. | Costa rica | 2002 | Tablas para la clasificación del macizo rocoso, fórmulas matemáticas, diseño en software |

| | | | | | |
|--------------------|--|--|-----------|------|--|
| Revista ingeniería | Luis Oros Méndez | Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia. | Bolivia | 2018 | Toma de muestras, análisis de muestras. |
| Google académico | Verónica Sobarzo, Felipe Villalobos y Robert King | Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. | Chile | 2011 | Toma de muestras, laboratorio, diseño en software. |
| Researchgate | Fredy Alonso Valeriano Nina | Análisis de Estabilidad Probabilístico del Talud de la Cantera Espinal – Juliaca Probabilistic Analysis of Slope Stability Espinal Quarry – Juliaca. | Perú | 2014 | Toma de datos, uso de software, ensayos de laboratorio. |
| Scielo | Xiangyue Li, Luis Emilio Rendón Díaz-Mirón, Joselina Espinoza-Ayala, José Alfredo González | Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes. | México | 2011 | Muestras, análisis de laboratorio, diseño, |
| Researchgate | Luis Jordá, Roberto Tomás, Miguel Cano, Adrian Riquelme | Evaluación de la calidad geomecánica de taludes inestables en la zona andina mediante la aplicación de la clasificación Slope Mass rating. | Ecuador | 2016 | Herramientas de campo, Tablas de la clasificación de Slope Mass Rating |
| Researchgate | SERÓN GÁÑEZ, José Bernardo. ROMANA RUIZ, Manuel. MONTALAR YAGO, Enrique. CRUZADO PORCAR, José Manuel. DENIA RÍOS, José Luís. | Aplicación de la clasificación geomecánica SMR mediante un sistema de información geográfica (sig.). | España | 2001 | Toma de muestras, análisis de laboratorio, uso de software |
| Researchgate | Ludger O. Suárez-Burgoa, Exneyder a. Montoya Araque | Programa en código abierto para el análisis bidimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite. | Colombia | 2016 | Uso de software |
| Google académico | F. J. Montalván, María Loor, Luis Pérez, Paúl Carrión, Alamir Álvarez, Brenda Reyes y Gricelda Herrera. | Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual para una población de 5000 habitantes. | Ecuador | 2017 | ensayos de campo, laboratorio y modelamiento en software. |
| Scielo | Torres-Hoyer, Roberto; Torres-Hoyer, Jesús; Monsalve, María Laura | Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el método de elementos finitos: Autopista San Cristóbal – La Fría, Venezuela | Venezuela | 2013 | Toma de muestras, análisis de laboratorio, uso de software |

| | | | | | |
|------------------|---|---|-----------|------|---|
| Scielo | W. Fernández, S. Villalobos, R. King. | Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto | Chile | 2018 | Análisis probabilístico de acuerdo a la toma de datos, diseño en Excel. |
| Google académico | Teófilo Allende, Christian Obregón, Carlos Rossello, Wilson López. | Evaluación geológica, geodinámica & geotécnica del tramo vial Ninacaca-Huachón (Cerro de Pasco) | Perú | 2014 | Uso de herramientas de campo, diseño en software |
| Google académico | Pablo A. Beneyto, Guillermo J. Gutierrez, Javier L. Mroginski, Héctor A. Di Rado y Armando M. Awruch. | Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística | Argentina | 2011 | Uso de software |
| Google académico | Edgar Montiel Gutiérrez | Análisis geotécnico preventivo en la estabilidad de taludes de la estructura de control del P.H. La Yesca | México | 2011 | Uso de mapas, uso de software. |
| Google académico | Norly Belandria, Francisco Bongiorno, Iris De Barcia, Jesús Torres, Francisco Riveros. | Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector "Las Cruces", vía Mérida-Jají, estado Mérida | Venezuela | 2014 | Uso de mapas, análisis de laboratorio, uso de software. |
| Google académico | Milena Mesa Lavista, Eduardo Tejada Piusseaut. | Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. | Cuba | 2017 | Toma de datos, uso de software. |
| Google académico | Romel Jesus Gallardo | Estabilidad de taludes en corredores viales | Colombia | 2010 | Construcción de muros |
| Redalyc | Ayala, Rubén; Requena, Jesús | Estabilidad relativa de taludes en el "Batolito de El Carmen" en un segmento de la carretera Mérida-Tabay, estado Mérida-Venezuela. | Venezuela | 2010 | Toma de muestras, diseño y modelamiento en software |

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se obtuvieron los siguientes resultados:

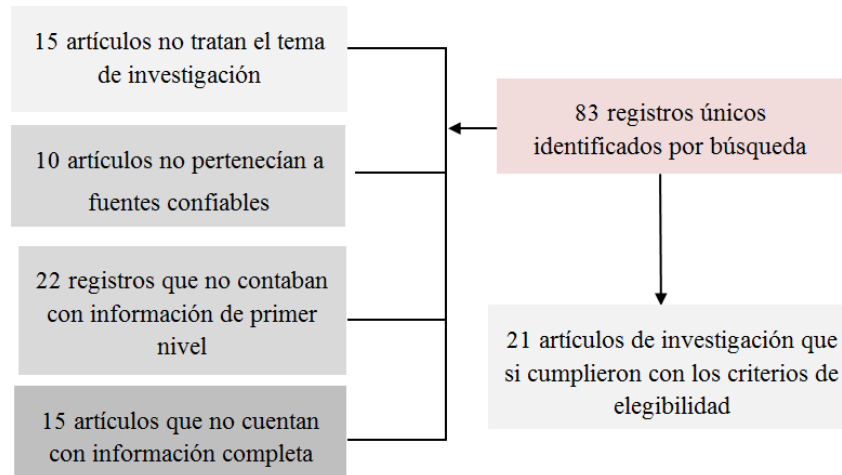


Figura 1. Diagrama de flujo de inclusión y exclusión de artículos

La búsqueda de los artículos en bases de datos Google académico utilizando las palabras clave: “Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras” arrojó un total de 83 referencias bibliográficas, Scielo 33 artículos, Redalyc 20 artículos, Researchgate 15, Repositorios institucionales 10 y Revista ingeniería 5 artículos, del total de resultados se procedió a eliminar artículos que no cumplieran con los criterios de inclusión mencionados (ver tabla 1) quedando con un número final de 21 artículos para el análisis de resultados por diferentes autores.

Tabla 2.

Métodos exploratorios y analíticos para la estabilización de taludes

| AÑO | TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN | EVALUACIÓN CON MÉTODOS EXPLORATORIOS | EVALUACIÓN CON MÉTODOS ANALÍTICOS |
|------|---|---|-----------------------------------|
| 2001 | Aplicación de la Clasificación Geomecánica SMR mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). | <ul style="list-style-type: none"> Método SMR, “Slope Mass Rating”. Método RMR, proporciona una división en clases de estabilidad y recomendaciones para métodos de soporte y corrección. | |

| | | | |
|------|---|--|---|
| 2002 | Clasificación geomecánica y análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso Coris, Cartago, Costa Rica. | <ul style="list-style-type: none"> Método RMR, incluye los parámetros: resistencia a la compresión uniaxial, RQD, espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades. | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> El sistema Q de Barton. | |
| 2002 | Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México. | | <ul style="list-style-type: none"> El análisis cinemático de la estabilidad verificando gráficamente condiciones geométricas sobre la proyección hemisférica, estudiando el movimiento de los bloques de roca sin referirse a las fuerzas que lo producen. |
| 2010 | Estabilidad de taludes en corredores viales. | | <ul style="list-style-type: none"> Análisis Retrospectivo; método que permitió definir la secuencia de eventos que llevaron a la inestabilidad del talud, se inició con la acción de factores condicionantes como la alta pendiente, la presencia de fracturas, la resistencia al desgaste diferencial, los agentes ambientales, la infiltración de agua y la excavación en la base del talud. |
| 2010 | Estabilidad relativa de taludes en el "Batolito de El Carmen" en un segmento de la carretera Mérida-Tabay, estado Mérida-Venezuela. | <ul style="list-style-type: none"> Se determinaron las condiciones del macizo rocoso, midiendo algunos parámetros propuestos por la ISRM, niveles de meteorización, grado de fracturación, orientación de los planos de discontinuidad y rangos de pendiente. | |
| 2011 | Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. | <ul style="list-style-type: none"> Ensayos de corte directo; se realizaron ocho ensayos de corte de directo, cuatro en muestras de arenisca parda y cuatro en muestras de arenisca rojiza, ambas de la formación Quiriquina. | <ul style="list-style-type: none"> Determinación del Factor de Seguridad al deslizamiento conociendo los parámetros geométricos y geotécnicos para determinar la cinemática de falla del talud. Método de Equilibrio Límite para comparar las fuerzas resistentes, con las fuerzas que actúan a favor del movimiento. |
| 2011 | Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes. | | <ul style="list-style-type: none"> Método simplificado de Janbú. Método de elemento finito para determinar factores de seguridad, el cual ofrece la ventaja de no suponer a priori superficies de falla. |

| | | | |
|------|---|---|---|
| 2011 | Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística. | | <ul style="list-style-type: none"> ● Método de los Elementos Finitos ● Análisis de tensiones por elementos finitos en un talud ● Método de Análisis por Equilibrio Límite ● Factor de Seguridad general que expresa la estabilidad del talud basándose en las tensiones calculadas en la masa de suelo. |
| 2011 | Análisis geotécnico preventivo en la estabilidad de taludes de la estructura de control del P.H. La Yesca. | <ul style="list-style-type: none"> ● Se recurrió a utilizar el método de clasificación geomecánica RMR en cada cambio de calidades. | |
| 2012 | Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales. | <ul style="list-style-type: none"> ● Exploración mecánica ● Prospección e interpretación sísmica ● RMR de Bieniawski ● Análisis de equilibrio límite ● Índice SMR para taludes ● Q de Barton ● Índice Geomecánico de Resistencia (GSI) ● Prospección geotécnica <ul style="list-style-type: none"> ○ Las Galerías de Exploración a Cielo Abierto, método directo de exploración, con toma de muestras alteradas y/o inalteradas, para facilitar el reconocimiento geotécnico. ○ Ensayos de refracción sísmica. ○ Sondeos Mecánicos con extracción continua de testigos y ensayos SPT en las capas de suelo. | |
| 2013 | Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. | <ul style="list-style-type: none"> ● Para la ladera del terreno se ha considerado uno de los perfiles topográficos más representativos. ● La estratigrafía tipo del sector se ha desarrollado en función de la inspección visual de las calicatas. | <ul style="list-style-type: none"> ● Métodos de equilibrio límite y los tenso-deformacionales; y los métodos probabilísticos. ● Método de Fellenius. ● método de Janbú. ● Método de Bishop simplificado. |
| 2013 | Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el método de elementos finitos: Autopista San Cristóbal – La Fría, Venezuela. | <ul style="list-style-type: none"> ● Levantamientos geológicos – geotécnicos de campo. ● Ensayos de laboratorio para determinar; contenido de humedad natural, peso específico relativo de los sólidos, análisis granulométrico, límites de consistencia, peso unitario, corte directo y compresión simple. | <ul style="list-style-type: none"> ● Método de elementos finitos, pre-procesamiento, procesamiento y post procesamiento. ● Cargas y condiciones de borde. ● Análisis cuasi tridimensional. ● El criterio de rotura Mohr-Coulomb. |
| 2014 | Análisis de Estabilidad Probabilístico del Talud de la Cantera Espinal – Juliaca. | | <ul style="list-style-type: none"> ● Los análisis se realizaron por el método probabilístico de estimación de puntos con el método de elementos finitos. |

| | | | |
|------|--|---|--|
| 2014 | Evaluación geológica, geodinámica & geotécnica del tramo vial Ninacaca-Huachón (Cerro de Pasco). | <ul style="list-style-type: none"> • Mapeo geomecánico • Análisis geomecánico de las discontinuidades | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de estabilidad cinemática ejecutado con el software de cómputo DIPS V. 5.1. A fin de identificar los modos potenciales de inestabilidad en función de la litología, el ángulo de fricción y la dirección e inclinación de la cara del talud según técnicas estereográficas y aplicando el test de Markland. |
| 2014 | Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector “Las Cruces”, vía Mérida-Jají, estado Mérida. | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis fotogeológico. • Recolección muestras para determinar propiedades físicas y mecánicas a través de ensayos de laboratorio. | <ul style="list-style-type: none"> • Método de equilibrio límite • Método de análisis Bishop Simplificado y el de Fellenius Ordinario. • Método de las dovelas |
| 2016 | Evaluación de la calidad geomecánica de taludes inestables en la zona andina mediante la aplicación de la clasificación Slope Mass Rating. | <ul style="list-style-type: none"> • Slope Mass Rating (SMR), eficaz en la evaluación preliminar de las probabilidades y modos de rotura más desfavorables en obras lineales de gran longitud como carreteras, ferrocarriles y pistas mineras. | |
| 2016 | Programa en código abierto para el análisis bidimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite. | | <ul style="list-style-type: none"> • Método de equilibrio límite. • Método de Fellenius y de Bishop. • Método de las dovelas. |
| 2017 | Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual para una población de 5000 habitantes. | <ul style="list-style-type: none"> • Levantamientos geológicos – geotécnicos de campo. | <ul style="list-style-type: none"> • El factor de seguridad, por medio del método de Janbú simplificado. • Evaluación de parámetros geomecánicos de cohesión, densidad y ángulo de fricción. • Análisis y determinación de perfiles críticos. • Diseño de la estabilidad de taludes de relleno sanitario mediante el SLIDE. |
| 2017 | Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. | | <ul style="list-style-type: none"> • Métodos de equilibrio límite (Bishop, Fellenius, M-Price, Janbú). • Método de elementos finitos. • Método de las dovelas. |
| 2018 | Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia. | <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento geológico – geotécnico del área. • Clasificación RMR de Bieniawski. • Clasificación SMR. • Índice de la Calidad de la Roca – R.Q.D. • Ensayo de Compresión Simple y/o Uniaxial. | <ul style="list-style-type: none"> • Determinación del Factor de Seguridad, Se tomó en cuenta el análisis bidimensional por la facilidad de su aplicación. |

| | | | |
|--------------------|---|---|---|
| <p>2018</p> | <p>Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de corte directo en suelos residuales graníticos. | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de bondad de ajuste mediante el método de Kolmogorov - Smirnov, para la determinación de la función densidad de probabilidad de los parámetros de resistencia al corte. • Análisis probabilístico de simulación Monte Carlo mediante software MATLAB. • Método de Equilibrio Límite. • Índice de Confiabilidad y probabilidades de falla. |
|--------------------|---|---|---|

La evaluación geotécnica para la determinación de estabilidad de taludes nos permite analizar según los antecedentes del sector en estudio, una serie de métodos exploratorios como los levantamientos geológicos – geotécnicos de campo, inspecciones del sitio para definir los parámetros a analizar, exploración del terreno por métodos directos, como la realización de calicatas y cortes, e indirectos como son los ensayos de penetración y ejecución de ensayos en terreno y en laboratorio, para la obtención de parámetros del suelo (ver tabla 2) que a su vez servirán para analizar y diseñar el factor de seguridad del talud para su posterior diseño de estabilidad mediante métodos analíticos matemáticos.

Se identificaron una serie de métodos de análisis exploratorios geomecánicos para el diseño de estabilidad de taludes, entre los cuales se encuentran el RMR, Q, SMR mencionados en la tabla (ver tabla 2)

La clasificación SMR nos brinda: Una división en clases de estabilidad, El riesgo de inestabilidad que se corre en cada forma posible de rotura: Plana o Cuña, Vuelco o Rotura en Masa, Sugiere recomendaciones para métodos de soporte y/o corrección (Romana, 1985).

Las discontinuidades, caracterizadas de acuerdo a, la orientación de las familias principales, RQD, espaciamiento y estado de las juntas han sido valorados para la obtención del RMR básico (Bieniawski, 1989)

Asimismo, en base a una gran cantidad de casos de estabilidad en excavaciones subterráneas, el principal propósito del Q de Barton es determinar la calidad del macizo rocoso en túneles, los parámetros son: calidad de la roca (RQD), número de sistemas de fisuras, rugosidad de fisuras, factor de reducción de agua en las fisuras, alteración de fisuras y factor de reducción de esfuerzos. (Barton, 1974).



Figura 4. Criterios para la determinación del método de análisis según el tipo de roca

A partir de la revisión de los artículos descritos en la tabla (ver tabla 1), se determinó también que la evaluación del talud se puede efectuar mediante diferentes métodos de análisis, y en función a la calidad del macizo rocoso que estos posean.

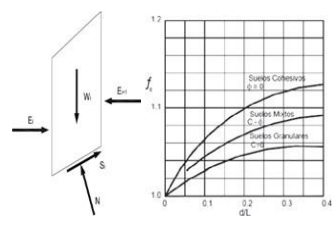
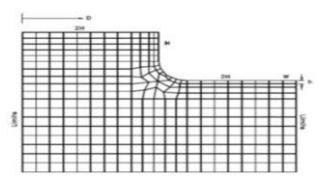
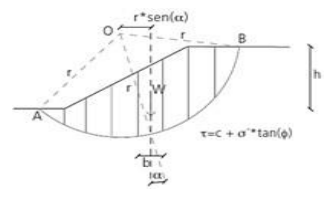
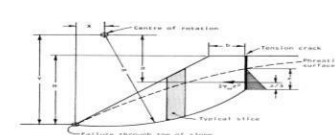
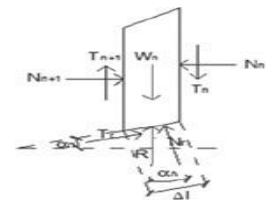
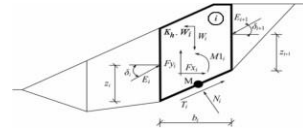
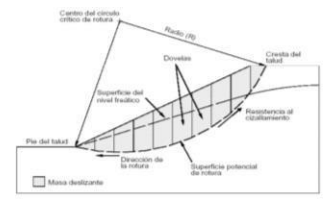
La mecánica de rocas puede definirse como la parte de la Geotecnia que se ocupa del estudio de las propiedades geomecánicas y del comportamiento mecánico de los materiales rocosos, con el fin de conocer cuál va a ser su respuesta cuando sean sometidos a la acción de determinados esfuerzos (Alpizar, 2012).

Asimismo, la determinación del factor de seguridad en los taludes puede ser abordado mediante el empleo de teorías simplificadas de resistencia de materiales, como los métodos de equilibrio límite, o bien, mediante técnicas más precisas como el Método de los Elementos Finitos, conduciendo, en ambos casos, a soluciones determinísticas (Beneyto et al., 2011) descritas en la siguiente tabla (ver tabla 3).

Tabla 3.

Métodos analíticos para la determinación del factor de seguridad del talud

| MÉTODO DE ANÁLISIS | EQUILIBRIO | SUPERFICIE DE FALLA | CARACTERÍSTICAS | DIAGRAMAS |
|--------------------|------------|---------------------|-----------------|-----------|
|--------------------|------------|---------------------|-----------------|-----------|

| | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---|---|---|
| JANBÚ. | De fuerzas. | Cualquier forma de superficie de falla. | Las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, no tomando en cuenta las fuerzas cortantes. Esto se refleja en la aplicación de un factor de corrección f_0 , el que depende netamente del nivel de curvatura que presente la superficie de rotura. Los factores de seguridad son bajos. |  |
| ELEMENTO FINITO | Analiza esfuerzos y deformaciones | Cualquier forma de superficie de falla. | Analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. |  |
| FELLENIUS | De fuerzas | Circulares | No tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas. Este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos. |  |
| BISHOP | De momentos | Circulares | Analiza la estabilidad de un talud con SPF del tipo circular, tomando en cuenta el efecto de las fuerzas entre dovelas. |  |
| BISHOP SIMPLIFICADO | De momentos | Circulares | Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. |  |
| MORGENSTERN Y PRICE | Momentos y fuerzas | Cualquier forma de superficie de falla. | Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. Es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. |  |
| MÉTODO DE DOVELAS | De momentos | Circulares | Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo producido por estas fuerzas se obtiene el Factor de Seguridad. |  |

La aplicación de los diferentes métodos exploratorios y de análisis se realiza con el objeto de llegar a estimar el nivel de seguridad de los taludes y, según el resultado obtenido, implementar medidas correctivas o de estabilización adecuadas para evitar riesgos potenciales por deslizamientos. Los métodos de análisis de estabilidad están basados en un planteamiento fisicomatemático en el que operan las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, que actúan sobre el talud y determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se pueden agrupar en dos: métodos determinísticos, dentro de los cuales están los métodos de equilibrio límite y los tenso-deformacionales; y los métodos probabilísticos (Plaza y Sifuentes, 2019).

Los más utilizados son los métodos de equilibrio límite descritos (ver tabla 3) los cuales analizan el equilibrio de un talud potencialmente inestable, comparando las fuerzas proclives al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Basándose primordialmente en la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; y la definición de un factor de seguridad.

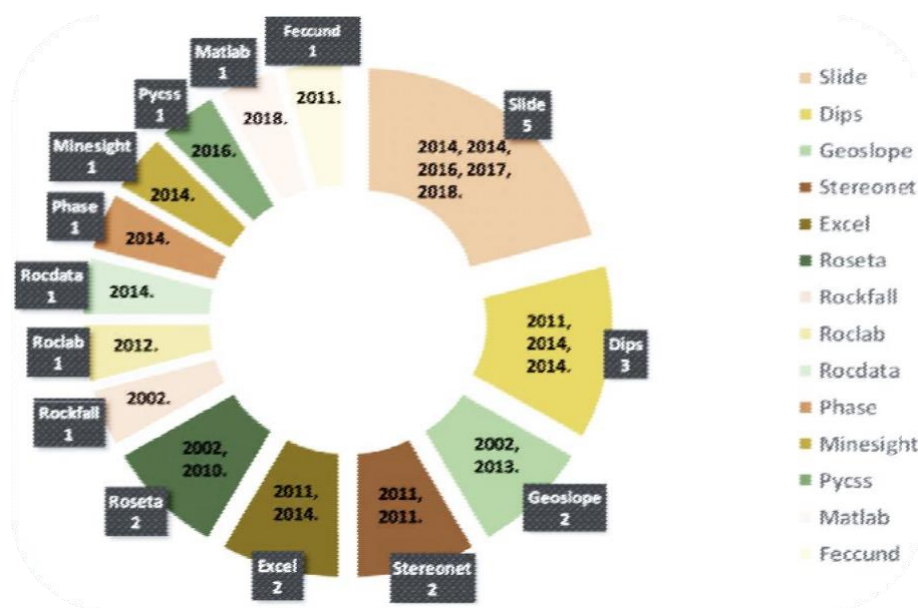


Figura 2. Utilización de software para el diseño de estabilidad de taludes (2001-2018)

Se identifican los softwares más utilizados al momento de hacer un diseño de estabilidad para taludes, es necesario comprender las características que tiene cada software, de esta manera elegiremos al más adecuado. El más usado de acuerdo a la recolección de datos fue Slide ya que cuenta con una interfaz fácil de manejar y es el más completo, cuenta con nivel freático, factor de seguridad y varios métodos como Bishop simplificado, Janbú simplificado, Fellenius, etc. A comparación de Dips, Geoslope, Roclab, Phase, etc, la mayoría de estos softwares no son completos, para poder usarlos tenemos que realizar ciertos estudios que luego pasan al siguiente software y de esta manera nuestro análisis no sería rápido ni eficaz y algunos resultados pueden ser confusos.

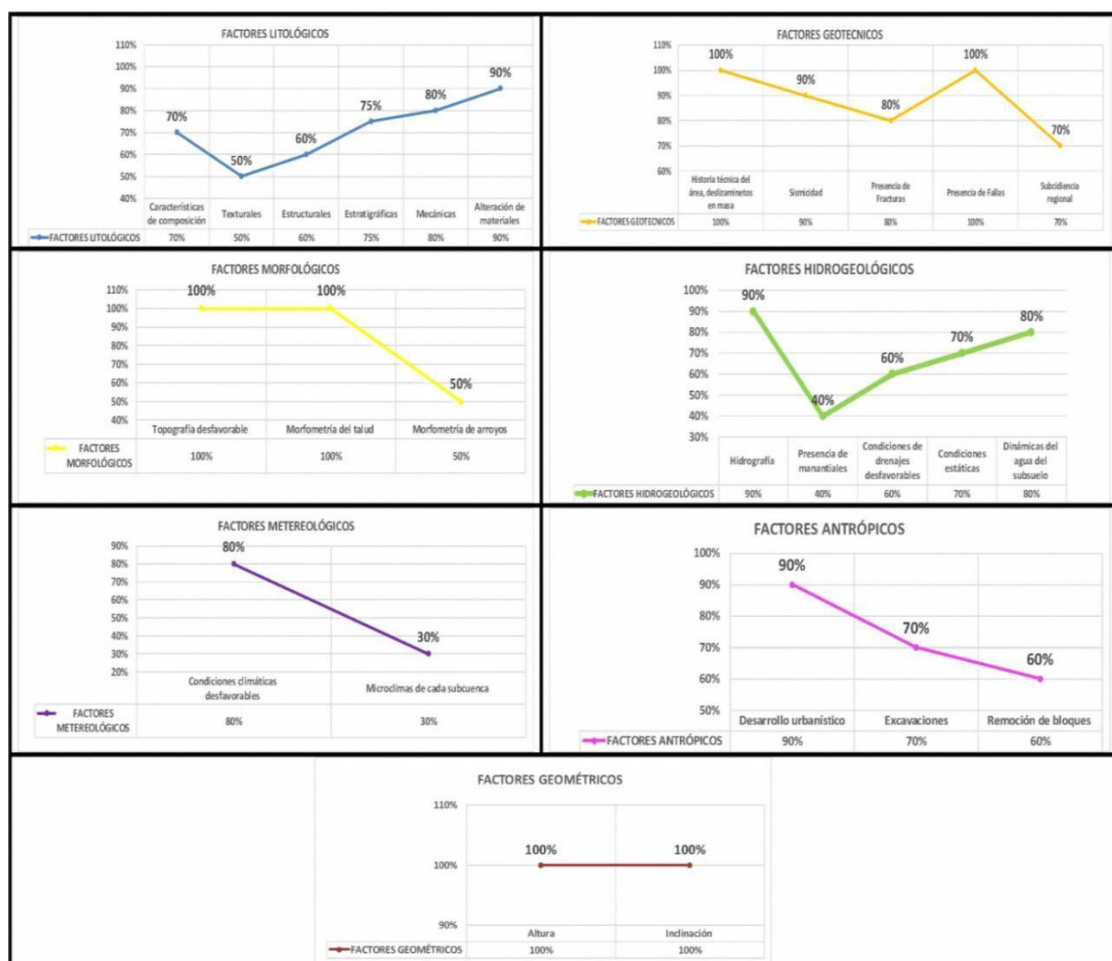


Figura 3. % de influencia de factores geológicos en la estabilidad de taludes (2001-2018)

De acuerdo al análisis realizado se identificaron varios factores geológicos presentes en la estabilidad de taludes donde unos predominan más que otros ya sea por el cambio que van a producir en el medio ambiente, la influencia que tiene el agua en cuanto a la resistencia de la roca, la estabilidad, la respuesta que presentan estos materiales al momento de aplicar cargas que luego van a modificarse con el tiempo por la meteorización que ocurrirá, el desarrollo urbanístico que irá creciendo con el pasar de los años, esto tendrá mucho que ver con los métodos de aplicación que ya existen porque ayudan a determinar, controlar y mejorar cualquier factor que sea más vulnerable.

La descripción de las causas de los deslizamientos en masa consiste en hacer un examen de los múltiples factores que afectan la inestabilidad en sus parámetros. Los factores que causan las condiciones de estabilidad de los taludes se agrupan de la siguiente forma: Factores litológicos, Factores tectónicos, Factores morfológicos, Factores hidrogeológicos, Factores meteorológicos, Factores conexos al tipo y al uso de suelo, Factores antrópicos. (Canuti y Casagli, 1994).

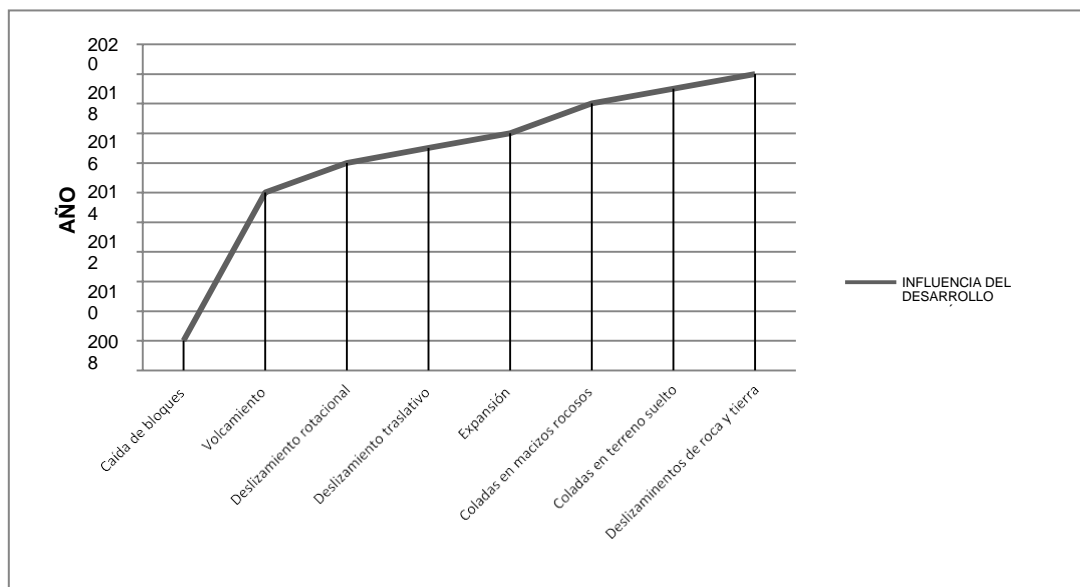


Figura 5. Movimientos geológicos en taludes inestables influenciados por el desarrollo urbanístico

Así mismo otro de los parámetros analizados dentro la evaluación geotécnica para la estabilidad es la influencia del desarrollo urbanístico, un factor relevante que ha venido ocasionando movimientos geológicos inestables según la revisión de los diferentes artículos, esto se ha dado a lo largo del tiempo a causa de que muchos edificios han sido construidos directamente en la base de diferentes taludes que se encuentran en el área, este material al encontrarse muy fracturado afecta también a las excavaciones de las cimentaciones de los mismos edificios ocasionando con el paso del tiempo un mayor riesgo de inestabilidad. Tal es así que se puede determinar que la inestabilidad del talud generada a partir de condiciones morfológicas, geológicas, hidrogeológicas y de meteorización ha sido aumentada por la intervención del hombre (Gallardo, 2010).

Considerando los resultados de la investigación, se puede afirmar que la evaluación geotécnica para la determinación de estabilidad de taludes se realiza en base a una serie de métodos exploratorios como los levantamientos geológicos – geotécnicos de campo, exploraciones del terreno por métodos directos, como la realización de calicatas y cortes vienen siendo relevantes para el análisis y diseño del factor de seguridad del talud (Alpizar, 2012; Torres et al., 2013; Allende et al., 2014; Gallardo, 2010).

No obstante, los resultados que presentan (Plaza y Cifuentes, 2013; Suárez y Montoya, 2016; Beneyto et al., 2011; Belandria et al., 2014; Mesa ,2017) demuestran un mayor énfasis en los métodos de análisis de estabilidad tales como Bishop, Jambú, Fellenius, Bishop Simplificado, Morgenstern y Price, Método de Dovelas y el Método de Elementos Finitos, todos basados en el planteamiento fisicomatemático en el que operan las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, que actúan sobre el talud y determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad.

Sin embargo (Oros, 2018; Fernández et al., 2018; Montalván et al., 2017; Allende et al., 2014; Sobarzo, 2011) evidencian en sus estudios que tanto las evaluaciones con métodos exploratorios como las evaluaciones con métodos analíticos son necesarias y de gran relevancia para el adecuado análisis de estabilidad de los taludes dado que se realizan con el objeto de llegar a estimar el nivel de seguridad de los taludes y, según el resultado obtenido, implementar las medidas correctivas o de estabilización adecuadas para evitar riesgos potenciales por deslizamientos.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura científica realizada nos ubica en un contexto de diversidad de evaluaciones geotécnicas para el diseño de la estabilidad de taludes en carreteras, por lo cual se realizó la búsqueda y la extracción de lo más relevante en los artículos incluidos. Por lo expuesto se identificó los diseños para la estabilización de taludes a través de evaluaciones geotécnicas, existiendo para ello una serie de métodos exploratorios y analíticos como los levantamientos geológicos–geotécnicos de campo, inspecciones del sitio, exploración del terreno por métodos directos, ensayos de penetración y ejecución de ensayos; con la finalidad de obtener los parámetros de estudio necesarios para el diseño de estabilización de los taludes en carreteras apoyándose en los métodos analíticos matemáticos y en los softwares de estabilidad; concluyendo que el más utilizado, de acuerdo a la recolección de datos, fue el Slide ya que cuenta con una interfaz fácil de manejar y es el más completo, cuenta con nivel freático, varios métodos analíticos y el cálculo del factor de seguridad; entre otros como el Dips, Geoslope, Roclab, Phase. Siendo éste un primer enfoque identificado en el que se fundamentan las bases para diseño de la estabilización de taludes (Jorda et al., 2016; Belandria et al., 2014; Torres et al., 2013; Plaza y Cifuentes, 2013; Alpizar, 2012; Sobarzo, 2011; Xiangyue et al., 2011; Beneyto et al., 2011; Montiel, 2011; Gallardo, 2010; Ayala y Requena, 2010).

Asimismo, se enunciaron los métodos de análisis para el cálculo del factor de seguridad en la estabilización del talud tales como Bishop, Jambú, Fellenius, Bishop Simplificado, Morgenstern y Price, Método de Dovelas y el Método de Elementos Finitos. (Fernandez et al., 2018; Oros, 2018; Mesa, 2017; Montalvan et al., 2017; Valeriano, 2014; Suarez y Montoya, 2016; Allende et al., 2014).

Es importante destacar las limitaciones metodológicas que se tuvo para la elaboración de la presente revisión, a fin de valorar convenientemente la importancia de cada una de los capítulos expuestos, siendo una de las principales limitaciones la elección e inclusión de los trabajos científicos, que en su mayoría resultaron “excluidos” por ser estudios de pregrado, la publicación duplicada de estudios o el ignorar los trabajos publicados en un idioma distinto al español, por ello recomendamos definir con claridad los criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la revisión, y que estos sean lo más adecuados para la identificación de los diseños de estabilización de taludes a través de evaluaciones geotécnicas.

REFERENCIAS

- Allende, T., Obregón, C., Rossello, C. y López, W. (2014). Evaluación geológica, geodinámica & geotécnica del tramo vial Ninacaca-Huachón (Cerro de Pasco). *Rev. del Instituto de Investigación* 17(33), 19-26.
- Alpízar, A. (2012). Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales. *XI Congreso Nacional de Geotecnia, Congeo, Costa Rica* 11, 1-18.
- Ayala, R. y Requena, J. (2010). Estabilidad relativa de taludes en el “Batolito de El Carmen” en un segmento de la carretera Mérida-Tabay, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* 52(1), 87-119.
- Arreygue, E., Garduño, Víctor., Canuti, P., Casaglie, Nicola., Iotti, A. y Chiesa, S. (2002). Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 19(2), 91-106.
- Belandia, N., Bongiorno, F., Barcia, I., Torres, J. y Riveros, F. (2014). Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector “Las Cruces”, vía Mérida-Jají, estado Mérida. *GEOMINAS* 42(64), 123-132.

Beneyto, P., Gutiérrez, G., Mroginski, J., Di, H. y Awruch, A. (2011). Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística. *Mecánica Computacional* 33, 2001-2014.

Fernández, W., Villalobos, S. y King, R. (2018). Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto. *Revista Ingeniería de Construcción* 33(1), 5-14.

Gallardo, R. (2010). Estabilidad de taludes en corredores viales. *InGenio* 2(1), 12-18.

Jordá, L., Tomás, R., Cano, M. y Riquelme, A. (2016). Evaluación de la calidad geomecánica de taludes inestables en la zona andina mediante la aplicación de la clasificación Slope Mass rating. *Simposio sobre reconocimiento, tratamiento y mejora del terreno* 1, 313-320.

Maureen, L y Albán, H. (2002). Clasificación geomecánica y análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso coris, Cartago, costa rica. *Revista Geológica de América Central* 26, 91-96.

Mesa, M. y Tejeda, E. (2017). Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. *Revista Cubana de Ingeniería* 9(1), 49-56.

Montalván, F., Loor, M., Pérez, L., Carrión, P., Álvarez, A., Reyes, B. y Herrera, G. (2017). Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual

para una población de 5000 habitantes. *Revista Científica y Tecnológica UPSE* 4(3), 103-110.

Montiel, E. (2011). Análisis geotécnico preventivo en la estabilidad de taludes de la estructura de control del P.H. La Yesca. *Comisión Federal de Electricidad* 1, 1-6.

Oros, M. (2018). Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia. *Ingeniería a sus alcances, Revista de Investigación* 2(3), 85-96.

Saénez, E. (2015). Evaluación geotécnica de los taludes en el tramo de carretera el Gavilán–Chigden. Universidad Nacional de Cajamarca 1, 1-6.

Sanhueza, C. y Rodríguez, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción* 12(1), 17-29.

Serón, J., Romana, M., Montalar, E., Cruzado, J. y Denia, J. (2001). Aplicación de la clasificación geomecánica SMR mediante un sistema de información geográfica (SIG). *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables* 1, 404-416.

Sobarzo, V., Villalobos, F. y King, R. (2011). Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. *Obras y Proyectos* 9, 38-48.

Suárez, L. y Montoya, E. (2016). Programa en código abierto para el análisis bidimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia* 5(2), 88-104.

Torres, R., Torres, J. y Monsalve, M. (2013). Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el método de elementos finitos: Autopista San Cristóbal – La Fría, Venezuela. *Ciencia e Ingeniería* 34(2), 63-71.

Valeriano, F. (2014). Análisis de Estabilidad Probabilístico del Talud de la Cantera Espinal – Juliaca Probabilistic Analysis of Slope Stability Espinal Quarry – Juliaca. *Revista ECIPerú* 11(1), 39-43.

Xiangyue, L., Rendon, L., Espinoza, J. y Gonzales, J. (2011). Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2(4), 149-165.

ANEXOS

| | |
|-----------------|---|
| TÍTULO | Análisis geomecánico para la estabilidad de taludes en carreteras |
| PREGUNTA | ¿Cuáles son las características geomecánicas de un macizo rocoso para el diseño de estabilidad de taludes? |

| Sumatoria | Base de datos | Accesibilidad | TIPO DE ARTÍCULO | Autores | Título | Palabras Clave | País | Año | ¿Estudio de trabajo empírico? | ¿Qué variables se analizaron? | ¿Cómo se realizó la medición? (instrumento) | Criterio de Inclusión del artículo | Criterio de exclusión del artículo |
|-----------|--------------------|--|------------------|---|---|---|------------|------|-------------------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 1 | Redalyc | https://www.redalyc.org/pdf/572/57219202.pdf | EMPÍRICO | Eleazar Arreygüe-Rocha, Víctor Hugo Garduño-Monroy, Paolo Canuti, Nicola Casaglie, Alberto Iotti y Sergio Chiesa. | Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México | Riesgos hidrogeológicos, inestabilidad de taludes, geología, ingeniería geológica, Morelia, México. | MÉXICO | 2002 | SÍ | V.I: Analisis Geomecanico V.D. Cálculo de inestabilidad | Analisis de bloques, uso de software. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 2 | GOOGLE ACADÉMICO | http://iigconsultores.com/assets/articulo_1metodolog%C3%ADa-de-an%C3%A1lisis-de-estabilidad-de-taludes-para-proyectos-viales.pdf | TEÓRICO | Alicia Alpízar Barquero | METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA PROYECTOS VIALES | Macizo rocoso, evaluación geomecánica, estabilidad de talud | Costa Rica | 2012 | NO | VI. Analisis de estabilidad VD. Proyectos viales | utilizaron RMR, Q de Barton | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 3 | REDALYC | https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000100003&script=sci_arttext | EMPÍRICO | SANHUEZA PLAZA, C.; RODRÍGUEZ CIFUENTES, L. | Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales | Taludes, Dovelas, Sismos. | CHILE | 2013 | SÍ | VI. Analisis comparativo de metodos de calculo VD. Estabilidad de taludes a laderas naturales | Formulas matematicas, diseño en software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 4 | GOOGLE ACADÉMICO | http://repositorio.ucr.ac.cr/handle/10669/77411 | EMPÍRICO | Maureen Carrillo, Lepolt Linkimer, Albán Rodríguez, Héctor Zuñiga | CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DEL MACIZO ROCOSO CORIS, CARTAGO, COSTA RICA | Geológico; geotécnico; Clasificación RMR de Bieniawski; progresiva; taludes | COSTA RICA | 2002 | SÍ | VI. Clasificacion geomecanica VD. Estabilidad de taludes | tablas para la clasificacion del macizo rocoso, formulas matematicas, diseño en software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 5 | Revista Ingeniería | https://revistaingenieria.org/index.php/revistaingenieria/article/view/25 | EMPÍRICO | Luis Oros Méndez | Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia | Geológico; geotécnico; Clasificación RMR de Bieniawski; progresiva; taludes | BOLIVIA | 2018 | SÍ | VI. Estudio geologico-geotecnico VD. Estabilidad de taludes | Toma de muestras, analisis de muestras. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 6 | GOOGLE ACADÉMICO | https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-28132011000100005&script=sci_arttext&lng=en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-2813201100010 | EMPÍRICO | Verónica Sobarzo, Felipe Villalobos y Robert King | Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina | estabilidad de taludes, equilibrio límite, resistencia residual, arenisca formación Quiriquina | CHILE | 2011 | SÍ | VI. Estudio de estabilidad VD. Talud en roca meteorizada | Toma de muestras, laboratorio, diseño en software. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------|---|----------|---|--|--|----------|------|----|--|--|--|--|
| 7 | Research gate | https://revistaeci-peru.com/wp-content/uploads/2018/12/20140006.pdf | EMPÍRICO | Fredy Alonso Valeriano Nina | Análisis de Estabilidad Probabilístico del Talud de la Cantera Espinal – Juliaca Probabilistic Analysis of Slope Stability Espinal Quarry - Juliaca | Macizo rocosos, análisis probabilístico, factor de seguridad (FS), reducción de la resistencia al corte (SRF), probabilidad de falla (PF). | PERÚ | 2014 | SÍ | VI. Analisis de estabilidad probabilistico VD. Talud de la cantera Espinal | Toma de datos, uso de software, ensayos de laboratorio. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 8 | SCIELO | http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222011000400010&script=sci_arttext&tlng=en | EMPÍRICO | Xiangyue Li, Luis Emilio Rendón Dfáz-Mirón, Joselina Espinoza-Ayala, José Alfredo González | Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes | talud, seguridad, estabilidad, suelo, presa, bordo, terraplén, sumersión, nivel freático. | MEXICO | 2011 | SÍ | VI. Evaluacion de efectos de sumersion VD. Estabilidad de taludes | Muestras, analisis de laboratorio, diseño, | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 9 | RESEARCH GATE | https://www.researchgate.net/publication/309611438_Evaluacion_de_la_calidad_geomecanica_de_taludes_inestables_en_la_zona_andina_mediante_la_aplicacion_de_la_clasificacion_Slope_M | EMPÍRICO | LUIS JORDÁ, ROBERTO TOMÁS, MIGUEL CANO, ADRIAN RIQUELME | EVALUACION DE LA CALIDAD GEOMECANICA DE TALUDES INESTABLES EN LA ZONA ANDINA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN SLOPE MASS RATING | Zona andina SMR, RMR, mecanica de rocas, clasificaiones geomecánicas | ECUADOR | 2016 | SÍ | VI. Evaluacion geomecanica VD Taludes inestables | Herramientas de campo, Tablas de la clasificacion de Slope Mass Rating | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 10 | Research gate | https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Montalar/publication/303365160_Aplicacion_de_la_Clasificacion_Geomecanica_SMR_mediante | EMPÍRICO | SERÓN GANEZ, José Bernardo. ROMANA RUIZ, Manuel. MONTALAR YAGO, Enrique. CRUZADO PORCAR, José Manuel. | APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECAÍNICA SMR MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG). | SMR, Sistema de informacion geografica, SIG, estabilidad | ESPAÑA | 2001 | SÍ | V.I:Nivel de resistencia al corte en el frente de minado del proyecto san Antonio y Maria - Ananea. VD. Diseño de talud estable de en el | Toma de muestras, analisis de laboratorio, uso de software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 11 | Research gate | https://www.researchgate.net/profile/Exneyder_A_Montoya-Araque/publication/313844293_Programa_en_codigo_abierto_para_el_analisis_bidimensional_d | EMPÍRICO | LUDGER O. SUÁREZ-BURGOA, EXNEYDER A. MONTOYA ARAQUE | PROGRAMA EN CÓDIGO ABIERTO PARA EL ANÁLISIS BIDIMENSIONAL DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE | Código fuente libre, análisis de estabilidad de taludes, método de equilibrio límite, método de Bishop. | COLOMBIA | 2016 | SÍ | VI. Programa de código abierto VD Estabilidad de taludes | Uso de software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 12 | GOOGLE ACADÉMICO | https://ineyt.ups.edu.ec | EMPÍRICO | F. J. Montalván, María Loqr, Luis Pérez, Paul Carrión, Alamir Álvarez, Brando Reyes y Gricelda Herrera. | Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual con 5000 habitantes. | relleno sanitario manual, estabilidad de taludes, factor de seguridad, slide. | ECUADOR | 2017 | SÍ | VI. Estabilidad de talud VD. Diseño de relleno sanitario | ensayos de campo, laboratorio y modelamiento en software. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------|---|----------|--|---|--|-----------|------|----|--|---|--|
| 13 | SCIELO | https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550799002.pdf | EMPÍRICO | Torres-Hoyer, Roberto; Torres-Hoyer, Jesús; Monsalve, María Laura | Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el método de elementos finitos: Autopista San Cristóbal – La Fría, Venezuela | Suelo, propiedades geomecánicas, análisis de estabilidad de taludes, análisis cuasi-tridimensional, método de elementos finitos | VENEZUELA | 2013 | SÍ | VI. Método de elementos finitos VD. Analisis de estabilidad | Toma de muestras, analisis de laboratorio, uso de software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. |
| 14 | SCIELO | https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000100005 | EMPÍRICO | W. Fernández, S. Villalobos, R. King. | Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto | Suelo residual, simulación de Monte Carlo, estabilidad de taludes, factor de seguridad, probabilidad de falla, índice de confiabilidad | CHILE | 2018 | SÍ | VI. Evaluacion probabilistica VD. Estabilidad de taludes | Analisis probabilistico de acuerdo a la toma de datos, diseño en excel. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. |
| 15 | GOOGLE ACADÉMICO | https://revistasinvestigacion.unm-sm.edu.pe/index.php/iigeo/articlov/view/11493 | EMPÍRICO | Teófilo Allende, Christian Obregón, Carlos Rossello, Wilson López. | Evaluación geológica, geodinámica & geotécnica del tramo vial Ninacaca-Huachón (Cerro de Pasco) | Geología, geotecnia, geodinámica, geomecánica, análisis cinemático. | PERÚ | 2014 | SÍ | VI. Evaluacion geologica, geodinamica y geotecnica VD. Tramo vial Nicacaca-Huachón | Uso de herramientas de campo, diseño en software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. |
| 16 | GOOGLE ACADÉMICO | Análisis de Estabilidad de Taludes mediante Técnicas de Optimización Heurística Beneyto Mecánica Computacional | EMPÍRICO | Pablo A. Beneyto, Guillermo J. Gutierrez, Javier L. Mroginski, Héctor A. Di Rado y Armando M. Awruch | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA | Estabilidad de taludes, Equilibrio límite, Optimización heurística, Algoritmo Genético, MEF. | ARGENTINA | 2011 | SÍ | VI. Tecnicas de optimizacion heurística VD. Analisis de estabilidad de taludes | Uso de software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. |
| 17 | GOOGLE ACADÉMICO | http://geoservering.puc.cl/info/conferencias/PanAm2011/panam2011/pdfs/GEO11Paper836.pdf | EMPÍRICO | Edgar Montiel Gutiérrez | Análisis geotécnico preventivo en la estabilidad de taludes de la estructura de control del P.H. La Yesca | Talud, cuña máxima, estabilidad, caracterizaciones geomecánicas. | MEXICO | 2011 | SÍ | | uso de mapas, uso de software. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. |
| 18 | GOOGLE ACADÉMICO | http://www.reveconcyt.ula.ve/stora/ge/repo/Archivo/Documento/geominas/n64/art08.pdf | EMPÍRICO | Norly Belandria, Francisco Bongiorno, Iris De Barcia, Jesús Torres, IDROGO CABRERA, C. Riveros. | Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el tramo “Las Cruces”, vía Mérida-Jají, estado Mérida | Deslizamientos, equilibrio, estabilidad, geomecánica, talud. | VENEZUELA | 2014 | SÍ | VI. Aplicación de equilibrio límite VD. Estudio de la estabilidad de taludes | Uso de mapas, analisis de laboratorio, uso de software. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------|---|----------|--|---|--|-----------|------|----|--|--|--|--|
| 19 | GOOGLE ACADÉMICO | http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/519/pdf | EMPÍRICO | Milena Mesa Lavista, Eduardo Tejeda Piusseaut. | Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. | estabilidad de taludes, terraplenes altos, factor de seguridad | CUBA | 2017 | SÍ | VI. Aplicación de métodos VD. Analisis de estabilidad | Toma de datos, uso de software. | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 20 | GOOGLE ACADÉMICO | http://revistas.ufps.edu.co/index.php/ringenio/article/viewFile/61/42 | TEÓRICO | ROMEL JESUS GALLARDO | ESTABILIDAD DE TALUDES EN CORREDORES VIALES | Caídos de Roca, Roca sedimentaria, anclaje, estabilización, seguridad | COLOMBIA | 2010 | NO | VI. Estabilidad de taludes VD. Corredores viales | onstruccion de muro | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 21 | Redalyc | https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730386006 | EMPÍRICO | Ayala, Rubén; Requena, Jesús | Estabilidad relativa de taludes en el “Batolito de El Carmen” en un segmento de la carretera Mérida-Tabay, estado Mérida-Venezuela. | Niveles de meteorización; grado de fracturación; movimientos de masa; niveles de estabilidad relativa. | VENEZUELA | 2010 | SÍ | VI. Estabilidad relativa VD. Taludes de carretera | Toma de muestras , diseño y modelamiento en software | incluimos el artículo de revision por ser informacion de primer nivel, tiene fuente confiable. | |
| 22 | GOOGLE ACADÉMICO | http://eprints.uanl.mx/16478/ | EMPÍRICO | MAGDALENY GARZA PÉREZ | ANÁLISIS GEOMECAÁNICO UTILIZANDO EL MÉTODO RMR, DE UN MACIZO ROCOSO UBICADO EN EL KM 40 DE LA CARRETERA LINARES - | ANÁLISIS GEOMECAÁNICO O. MACIZOS ROCOSOS, RMR, ESTABILIDAD | MÉXICO | 2017 | SÍ | V.I: Analisis Geomecanico V.D. Calidad de lmacizo rocoso | Toma de muestras de rocas, realización de ensayos para ver la resistencia de la roca | Excluimos la informacion por ser un estudio de pregrado | |
| 23 | GOOGLE ACADÉMICO | http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/926 | EMPÍRICO | Fredy Cuyutupa Moscoso | EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA CON FINES DE ESTABILIDAD DE TALUD CARRETERA MARISCAL CASTILLA HUANCAYO - HUANCAVELICA | Macizo rocoso, evaluación geomecaÁNica, estabilidad de talud | PERÚ | 2019 | SÍ | VI. Evaluacion geomecanica VD. Estabilidad de talud | Toma de datos, ensayos de laboratorio, modelamiento en software. | Excluimos la informacion por ser un estudio de pregrado | |
| 24 | GOOGLE ACADÉMICO | http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1662 | EMPÍRICO | Yovany Marisol Caruanambo IDROGO C | EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA ENCAÑADA – BARRAQUEN EN EL TRAMO KM. 32+000 - KM. 46+000 | GeomecaÁNica, Talud, Inestabilidad. | PERÚ | 2017 | SÍ | VI. Evaluacion geomecanica VD. Estabilidad de talud | Uso de herramientas de campo, toma de muestras, diseño en software. | Excluimos la informacion por ser un estudio de pregrado | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------|---|----------|-----------------------------------|---|--|------|------|----|---|--|---|
| 25 | GOOGLE ACADÉMICO | http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6651 | EMPÍRICO | LUCIO QUEA GUTIERREZ | DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL NIVEL DE RESISTENCIA AL CORTE EN EL FRENTE DE MINADO DEL PROYECTO SAN ANTONIO Y MARÍA – ANANEA | Estabilidad, Resistencia al corte, Suelos y Taludes. | PERÚ | 2016 | SÍ | V.I: Nivel de resistencia al corte en el frente de minado del proyecto san Antonio y Maria - Ananea. VD. Diseño de talud estable de en el frente de minado del proyecto San | Toma de muestras, analisis de laboratorio, uso de software | Excluimos la informacion por ser un estudio de pregrado |
| 26 | GOOGLE ACADÉMICO | http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1928 | EMPÍRICO | VELÁSQUEZ ANDAHUA, Junior Salomón | APLICACIÓN DEL SMR AL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA MINA KADI II DE LA EMPRESA PRODUCTOS CALCAREOS KADI S.R.L. 2016 | Clasificación geomecánica SMR, análisis de estabilidad, taludes y macizo rocoso. | PERÚ | 2017 | SÍ | VI. Aplicación del SMR VD. Análisis de la estabilidad de taludes | Toma de datos, uso de software, ensayos de laboratorio. | Excluimos la informacion por ser un estudio de pregrado |

Recopilación de métodos de análisis para la clasificación geomecánica

FORMATO DE REGISTRO DE DATOS GEOTÉCNICO

Mapeo Geotécnico

| Mapeo Geotécnico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CODIGO | FECHA | LOGUEADO | REVISADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|---------|-----------------------|-------|--------------|-----|---------|---------|----------------------|----------------------|------------|--|------|-------|---------|----------|----------|------|-------|---------|----------|----------|----------|------------------------|---------|----------|----------|-------------|-----|-----------|---------------------|----|----|----|-------------------|-------------------|----|------|-------|---------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| UBICACION: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESTE: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NORTE: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INCLINACION: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AZIMUT: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELEVACION: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CORRIDA | LITOLOGIA | DOMINIO | DATOS DE RECUPERACION | | | | | | | DATOS DE RESISTENCIA | | ORIENTACION DE FRACTURA Y CANTIDAD POR LONGITUD DE CORRIDA | | | | | | | | | | | | PARAMETROS GEOTECNICOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | DESDE | HASTA | RECUPERACION | RQD | TCR (%) | RQD (%) | FRACTURA POR CORRIDA | RESISTENCIA | ALTERACION | 70-90 | | | | 50-69 | | | | 30-49 | | | | 0-29 | | | | RESISTENCIA | RQD | ESPACIADO | CONDICION DE JUNTAS | Jn | Jr | Ja | RMR ⁷⁶ | RMR ⁸⁹ | Q' | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | CANTIDAD | TIPO | FORMA | RELLENO | ABERTURA | CANTIDAD | TIPO | FORMA | RELLENO | ABERTURA | CANTIDAD | TIPO | FORMA | RELLENO | ABERTURA | CANTIDAD | | | | | | | | | | | TIPO | FORMA | RELLENO | ABERTURA | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Grado de meteorización ISRM (1981)

Estimación de la resistencia del material ISRM (1981)

Índice de resistencia geológico (Hoek y otros, 1998)

| TÉRMINO | DESCRIPCION | GRADO | Grado | Descripción | Identificación de terreno | Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa) | ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO | CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES |
|---------------------------|--|-------|-------|----------------------------|---|--|--|---|
| Roca fresca | No presenta signos visibles de meteorización en la roca; tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores. | I | S1 | Arcilla muy blanda | Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño. | <0.025 | INTACTO O MASIVO: Macizo rocoso in situ o especímenes de roca intacta, con escasas discontinuidades ampliamente espaciadas. | MUY BUENO: Superficies muy rugosas y paredes frescas sin meteorización. |
| | | | S2 | Arcilla blanda | Fácilmente penetrable varias pulgadas con el pulgar. | 0.025-0.05 | | |
| Levemente meteorizada | La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil, que en su condición fresca. | II | S3 | Arcilla firme | Puede ser penetrada varias pulgadas con el pulgar, con esfuerzo moderado. | 0.05-0.10 | FRACTURADO EN BOQUES: Macizo rocoso conformado por trozos o bloques de roca bien trabados de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras, ortogonales entre sí. | BUENO: Superficies rugosas, paredes levemente meteorizadas, con patinas de óxido de hierro. |
| | | | S4 | Arcilla rígida | Fácilmente marcada por el pulgar, solamente puede ser penetrada con gran esfuerzo. | 0.10-0.25 | | |
| | | | S5 | Arcilla muy rígida | Fácilmente marcada por la uña. | 0.25-0.50 | FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES: Macizo rocoso algo perturbado, conformado por trozos o bloques de roca trabados de varias caras angulosos y definidos por cuatro o más sets de estructuras. | REGULAR: Superficies lisas, paredes moderadamente meteorizadas y alteradas. |
| | | | S6 | Arcilla dura | Marcada con dificultad por la uña. | >0.50 | | |
| Moderadamente meteorizada | Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos. | III | R0 | Roca extremadamente débil | Marcada por la uña. | 0.25-1.0 | FRACTURADO Y PERTURBADO: Macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la intersección de numerosos sets de estructuras. | MUY MALA: Superficies lisas y cizalladas, paredes muy meteorizadas con recubrimientos compactos o rellenos de fragmentos angulares. |
| | | | R1 | Roca muy débil | Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas. | 1.0-5.0 | | |
| Muy meteorizada | Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos. | IV | R2 | Roca débil | Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo. | 5.0-25 | FOLIADO-LAMINADO-CIZALLADO: Rocas débiles plagadas y cizalladas tectónicamente. Carencia de formación de bloques debido a la esquistocidad que prevalece sobre otras estructuras. | MUY MALA: Superficies cizalladas, muy meteorizadas con recubrimientos o rellenos arcillosos blandos. |
| | | | R3 | Roca medianamente fuerte | No puede ser escarbada o disgregada por una cortaplumas, la muestra se fractura con un solo golpe firme del martillo geológico. | 25-50 | | |
| Completamente meteorizada | Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta. | V | R4 | Roca fuerte | La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada. | 50-100 | | |
| | | | R5 | Roca muy fuerte | La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada. | 100-250 | | |
| Suelo residual | Toda la roca está convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Exige un gran cambio de volumen, sin embargo el suelo no ha sido transportado significativamente. | VI | R6 | Roca extremadamente fuerte | La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico. | >250 | | |

INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

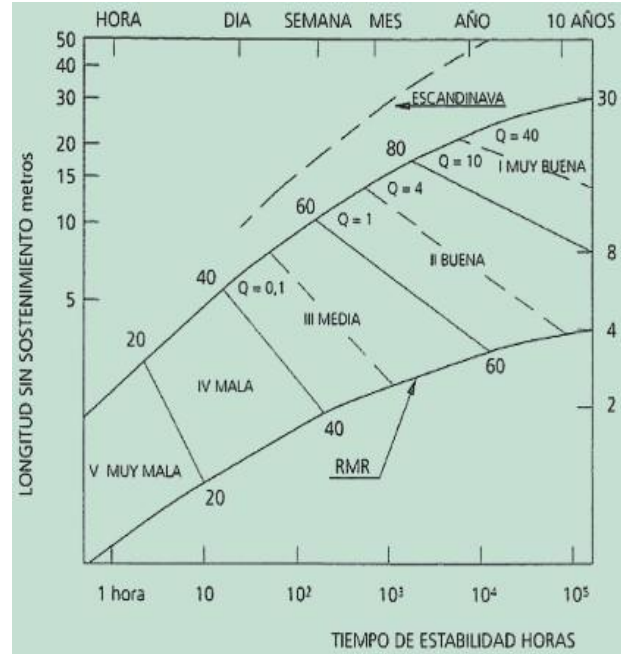
INDICE DE ESFUERZO GEOLÓGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)

Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es más real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales débiles están presentes en una dirección desfavorable con respecto a la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteración como resultado de cambios de humedad que pueden reducirse cuando el agua está presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presión del agua es tratada por análisis de esfuerzos efectivos.

| ESTRUCTURA | CONDICIONES DE SUPERFICIE | | DESCRIBE EL ENTORNO DE LOS BLOQUES | |
|---|---------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| | MUY BUENA | BUENA | MUY BUENA | BUENA |
| INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas | 90 | 80 | N/A | N/A |
| FRACTURADA Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cúbicos formados por tres intersecciones de sistemas de discontinuidades | 70 | 60 | 70 | 60 |
| MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas | 50 | 40 | 50 | 40 |
| FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares producto de la intersección de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificación | 30 | 20 | 30 | 20 |
| DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados | 10 | 10 | 10 | 10 |
| LAMINADA/FOHADA Se carece de bloques debido al débil material en los planos de esquistosidad y cizalla | N/A | N/A | N/A | N/A |

COMENTARIOS DE SUPERFICIE:
MUY BUENA: Superficie muy rugosa, no meteorizada, fresca.
BUENA: Superficie rugosa, ligeramente meteorizada, manchada con hierro.
REGULAR: Superficie lisa, meteorizada moderadamente y ahumada.
POBRE: Superficie con espacios de falla, alto grado de meteorización y riellos compactos.
MUY POBRE: Superficie con espacios de falla, alto grado de meteorización y riellos de ancho variable.

SOSTENIMIENTO



RESISTENCIA DE LA ROCA

| GRADO | INDICE DE RESISTENCIA - IDENTIFICACION EN CAMPO | RANG. RESISTENCIA A Mpa |
|-------|---|-------------------------|
| R1 | Deformable con golpes firmes con la punta del martillo | 1 a 5 |
| R2 | Se desconcha con dificultad con cuchilla. Adquiere marcas poco profundas con golpe del martillo | 5 a 25 |
| R3 | No se raya ni desconcha con el cuchillo. Se rompe con un golpe fuerte del martillo. | 25 a 50 |
| R4 | La muestra se rompe con más de un golpe del martillo | 50 a 100 |
| R5 | Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra | 100 a 250 |
| R6 | Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo | > 250 |