



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS BISHOP SIMPLIFICADO Y MORGENSTERN-PRICE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Humberto Barboza Núñez

Bach. Williams Justo Zambrano Chilón

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Agradezco intensamente aquella persona que siempre estuvo conmigo a mi madre por apoyarme siempre con sus buenos consejos y por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos y dándome una y felicidad alegría día día.

A todos mis hermanos por motivarme a cumplir todos mis sueños y metas establecidas consigo mismo ser una persona exitosa en el futuro.

Humberto.

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar a Dios y a mis padres. A Dios por haberme cuidado y guiado en todo momento y todo este tiempo de mi vida y a mis padres por estar en todo momento conmigo y por haberme guiado por el buen camino y dándome enseñanzas, consejos y mejoras que día a día lo aprendí para así surgir y ser lo que ahora soy, me siento muy feliz y contento con mis objetivos logrados.

Williams.

AGRADECIMIENTO

Mi principal agradecimiento es para Dios, por darme la vida, salud y guiarme por un buen camino del bien y cuidar de mí siempre como, por ejemplo: dándome una buena salud, entendimiento y sabiduría.

A mi madre que siempre está pendiente de mí, asimismo también dales las gracias a mis hermanos y tíos que siempre están apoyándome no solo económicamente sino dándome fuerzas y buenos consejos para cumplir mis metas. Gracias a ustedes por confiar en mí, y por darme todo su apoyo para ser una mejor persona.

Humberto.

A mis queridos padres, mis familiares, quienes lucharon en trabajar día a día para ayudarme ya sea moral y económicamente a fin de continuar con mis estudios superiores y lograr mis expectativas tan deseadas de ser alguien en la vida y así desarrollarme en el campo de la industria empresarial y minera.

Asimismo, agradezco al Ing. RAFAEL NAPOLEÓN OCAS BOÑÓN, por haberme apoyado como asesor de tesis para optar mi título profesional de Ingeniero de Minas.

Williams.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo general.....	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Hipótesis.....	21
1.4.1. Hipótesis general	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	22
2.1. Tipo de investigación	22
Enfoque de investigación	22
Nivel de investigación	22
Diseño de investigación	22
2.2. Población y muestra	23
2.2.1. Población	23
2.2.2. Muestra.....	23
2.2.3. Métodos	24
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	24
a. Técnicas	24
b. Instrumentos de recolección	25
c. Etapa de análisis de información	25
2.4. Procedimiento de recolección de datos	26
2.4.1. Recolección de datos.....	26
2.4.2. Elaboración de la tesis	30
CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
3.1. Análisis de propiedades y características geotécnicas de los taludes, según el material que lo compone.	31

3.2. Evaluación del factor de seguridad de los taludes mediante los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price.	35
3.3. Comparar los resultados de la aplicación del método Bishop y Morgenstern-Price en la estabilidad de los taludes.	46
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	50
4.2. Discusión	50
4.4. Conclusiones	54
REFERENCIAS	57
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Base de datos consultados y total de información encontrada	27
Tabla 2. Información seleccionada	29
Tabla 3. Datos de la caracterización del talud - carretera Huancavelica – Lircay	31
Tabla 4. Resultado de parámetros y características de los taludes críticos - Carretera Baños del Inca – Llacanora	32
Tabla 5. Parámetros geotécnicos del talud de la carretera Puno – Moquegua	32
Tabla 6. Caracterización geomecánica en suelos carretera Cara Cara – Lampa.....	32
Tabla 7. Resultado de condiciones geotécnicas de taludes carretera Canta – Huayllay ...	34
Tabla 8. Parámetros de calidad que se determinaron para el macizo rocoso a la base del talud carretera Canta – Huayllay	35
Tabla 9. Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad - Carretera Huancavelica – Lircay	35
Tabla 10. Resultados de Factor de seguridad - Carretera Baños del Inca – Llacanora.....	37
Tabla 11. Factor de seguridad mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price carretera Puno - Moquegua	39
Tabla 12. Resultados de factor de seguridad aplicando el método Bishop Simplificado carretera Canta – Huayllay	43
Tabla 13. Factor de seguridad de la carretera Cara Cara – Lampa	45
Tabla 14. Comparación de características geotécnicas de talud según autor	46
Tabla 15. Comparación del factor de seguridad según autor	47
Tabla 16. Comparación del factor de seguridad según autor vs Norma CE. 020	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Criterios de selección	28
Figura 2. Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad - Análisis estático - Carretera Huancavelica – Lircay	36
Figura 3. Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad – Análisis Pseudo estático, Carretera Huancavelica – Lircay.....	36
Figura 4. Resultados de Factor de seguridad en condiciones estáticas - Carretera Baños del Inca – Llacanora	38
Figura 5. Resultados de Factor de seguridad en condiciones Pseudo - estáticas - Carretera Baños del Inca – Llacanora	39
Figura 6. Factor de seguridad en condición no saturada con sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price	40
Figura 7. Factor de seguridad en condición no saturada sin sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price	41
Figura 8. Factor de seguridad en condición saturada con sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price	42
Figura 9. Factor de seguridad en condición saturada sin sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price	42
Figura 10. Resultados de factor de seguridad aplicando el método Bishop Simplificado carretera Canta – Huayllay	44
Figura 11. Factor de seguridad de la carretera Cara Cara – Lampa en condiciones estáticas	45
Figura 12. Comparación del factor de seguridad según autor	49

RESUMEN

El objetivo de investigación de la presente tesis es analizar la aplicación del método Bishop Simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes. La metodología implica un enfoque cualitativo, tipo de investigación descriptiva con diseño no experimental, basada en la revisión sistemática del tema en cuestión. Las características geotécnicas de un talud son: tipo de roca o suelo, altura de talud, ángulo del talud natural, ángulo de talud, RMR, GSI, ángulo de fricción, cohesión, peso específico, resistencia a la compresión uniaxial, principalmente. En promedio se obtuvo una altura de talud de 10.75m, ángulo de talud 61.39° , ángulo del talud natural 64.25 , RMR 67, GSI 44.67, cohesión 7.93 kPa, ángulo de fricción 27.10° , peso específico 22.51 KN/m^3 , resistencia a la compresión uniaxial 98.33 MPa. Asimismo, en condiciones estáticas se obtuvo según el método Bishop Simplificado un F.S de 1.332 y mediante Morgenstern-Price un FS, de 1.350, en condiciones Pseudo-estáticas, se obtuvo un F.S promedio de 0.937 con el Método Bishop Simplificado y 0.972 por Morgenstern-Price. Comparando estos resultados con la Norma CE. 020; ningún factor de seguridad cumplió con las condiciones de estabilidad. En conclusión, las características geotécnicas de un talud principalmente son: tipo de roca o suelo, altura de talud, ángulo del talud natural, ángulo de talud, RMR, GSI, ángulo de fricción, cohesión, peso específico, resistencia a la compresión uniaxial; además, el mayor valor de FS se obtiene mediante el método Bishop simplificado comparado con el método Morgenstern-Price.

Palabras claves: Estabilidad de taludes, factor de seguridad, Bishop simplificado, Morgenstern-Price.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente, la problemática de inestabilidad de taludes se encuentra entre los fenómenos naturales más destructivos, constituyendo “una de las más significativas e inminentes amenazas para la vida y bienes materiales de la ciudadanía” (Ochoa, 2016, pp.14). En este sentido, se presenta una serie de factores que provocan la inestabilidad del talud, divididos en los que causan la inestabilidad directamente con el talud como es la topografía, litología y la estructura del suelo. Asimismo, se encuentran los factores indirectos, como la acción humana, sismos, precipitaciones, etc. (Núñez, 2018, pp.21). También, la presencia del nivel freático es un factor determinante.

Ciertamente, “los deslizamientos de tierra son desastres naturales graves a nivel mundial que, por lo general, dañan la infraestructura de transporte, y pueden causar pérdidas humanas y económicas.”. (Pei, Zhang, Borana, Zhao, & Yin, 2019, pp.2), ya que “las fallas de pendientes de roca a gran escala son difícil de predecir, porque el mecanismo subyacente que conduce a la aceleración de taludes es canijo de estudiar en condiciones in situ”. (Gschwind, Loew, & Wolter, 2019, pp. 2). Por ende, “la inestabilidad en la pendiente de un bloque de roca depende de las orientaciones no favorables de las discontinuidades en el macizo rocoso” (Par, Lee, Kan, Min, & Gi U, 2016. pp.3).

De esta manera, “la evaluación de la estabilidad de taludes es uno de los temas más importantes del área de geotécnia. Realizar principalmente análisis típicos relativos de estabilidad de taludes”. (He, Liu, Zhang, & Yuan, 2019. pp. 2). Por lo que el análisis de la estabilidad física de taludes en áreas específicas, es fundamental para garantizar la seguridad de las diferentes tareas. Existe diversas técnicas para evaluar la estabilidad en empinados y taludes: técnicas basadas en la experiencia, modelos matemáticos y tecnologías más avanzadas. Haciendo uso de un ordenador se puede generar modelos

cercanos a la realidad, los cuales requieren como entradas a parámetros geotécnicos, geológicos, geomecánicos, hidrológicos, topográficos. (Ávila, 2017, pp.14).

Por tanto, “debido a la variabilidad de estos parámetros y a la dificultad de modelar, los análisis de estabilidad de taludes tienen alto grado de incertidumbre.” (Hidalgo, 2011, pp.12 y Silva, 2018, pp.10). Asimismo, “el análisis tradicional de estabilidad de taludes utiliza un único valor de factor de falla para todo el macizo rocoso, lo que resulta en una estimación insuficiente de la estabilidad de taludes”. (Zheng, Shen, & Xu, 2018, Pg.3). También, el análisis de vulnerabilidad de taludes es una parte importante de las pautas de "Evaluación de riesgo de deslizamientos de tierra" y "Caracterización de calidad de taludes", que se utilizan para predecir y seleccionar la forma adecuada para la construcción de carreteras y otras estructuras de ingeniería. (Siddique, Masroor Alam, Mondal, & Vishal, 2015, Pg.3).

Por otra parte, el movimiento de tierras causado por deslizamientos es el resultado de una serie de factores, como la actividad sísmica, la composición del suelo, las precipitaciones, la erosión, la deforestación, las riberas de los ríos, etc. Estos “surgen cuando una gran masa de tierra se desliza en la superficie porque la franja de tierra deslizada alcanza la tensión tangencial máxima en todos los puntos de su superficie” (Flores, 2015). En este sentido, se procura estimar las fuerzas que se oponen al movimiento, de modo que, se pueda analizar el nivel de seguridad existente.

En la práctica de la ingeniería, “es muy importante definir la estabilidad de un talud según el Factor de Seguridad (F.S), derivado de un análisis matemático; el cual considera factores que afectan la estabilidad, que incluyen: la geometría del talud, parámetros geológicos, cargas dinámicas por efectos sísmicos, filtraciones de agua, meteorización, etc”. (Escobar & Valencia, 2012, pp.8). Una vez que se determina las

propiedades de resistencia al corte del suelo, la porosidad y otras propiedades del suelo

y del talud, se puede calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad incluye “determinar si hay suficiente resistencia en el suelo del talud para soportar las fuerzas de corte que tienden a producir la fallamiento o deslizamiento”. (Huamán, 2017, pp.23). Por consiguiente, las evaluaciones y análisis de estabilidad se consignan al diseño de taludes cuando éstos presentan dificultades de estabilidad.

Recalcar que “el análisis de estabilidad también considera la frecuencia de eventos de lluvia.” (Tang, Huang, o Sheng, & Sloan, 2018, Pg.3), “las propiedades físicas y el comportamiento geotécnico”. (C.H & Maldonado, 2010, Pg.3). La estabilidad de la pendiente del talud depende de la geometría, tipo de roca, características del plano de falla, condiciones del agua subterránea, cargas dinámicas y condiciones suprayacentes. La pendiente puede mostrar estas condiciones de una manera simple y uniforme, o puede haber condiciones complejas debido a los cambios en la geometría de la pendiente y por la heterogeneidad de los materiales de la pendiente. (Kumar Raghuvanshi, 2019, pg.2).” El cruce de pendientes es una característica común del terreno, pero no hay conocimiento biomecánico sobre la base del talud necesaria para correr en estas pendientes de superficie”. (Dixon, Tisseyre, Damavandi, & Pearsal, 2011, pg.3)

Por consiguiente, Chávez (2020), sostiene que, debido a los cambios en las condiciones y las variaciones en los factores externos provocados por el medio ambiente, como los sismos y el agua en las pendientes; las pendientes de los taludes rocosas a lo largo de las carreteras son propensas a problemas de inestabilidad. De manera similar, al homogeneizar las características topográficas, tiende a encontrar un mayor grado de incertidumbre y pueden surgir problemas en el futuro debido a movimientos telúricos o problemas climáticos.

En tal sentido, se expresa que “los problemas de inestabilidad de taludes son afines con la litología, estructuras, comportamiento geomecánico y condiciones climáticas, las cuales son analizadas a través de las ciencias geológicas, estructurales y geotécnicas” (Ayala, 2017, pp.43), las propiedades físicas y mecánicas de los materiales geotécnicos se determinarán según pruebas de campo y laboratorio, de acuerdo al tipo de material e importancia de la obra. “Para el análisis de estabilidad de los taludes en rocas y suelos, es necesario realizar investigaciones geotécnicas para caracterizar los materiales y evaluar los parámetros requeridos para obtener la estabilidad del talud” (Norma CE. 020, 2012, pp. 13).

El factor de seguridad es uno de los parámetros que ayudan a evaluar la estabilidad de estructuras. El resultado del factor de seguridad indica qué tan segura es un área específica para un propósito específico, como carreteras, caminos, taludes, frentes mineros, espacios agrícolas y ganaderos. Su determinación conlleva a establecer ciertas medidas de control ante las amenazas de carácter natural y artificial, lo cual puede traer secuelas no gratas para la sociedad, ambiente y economía.

Al respecto, “el factor de seguridad resulta ser óptimo al reducir la resistencia al corte de suelo al disminuir paralelamente el valor de cohesión y el ángulo de fricción del material involucrado en el deslizamiento” (Estaire & Olivenza, 2013, pp. 10). Ciertamente, “en los taludes permanentes, el factor de seguridad debe ser igual o superior a 1.5, e incluso 2.0, lo que depende en gran medida de la seguridad requerida y la certeza de los datos geotécnicos obtenidos en el cálculo; para taludes temporales el factor de seguridad es aproximadamente 1.3” (Mamani, 2016, pp.34). Una patente importante indica que “el coeficiente de seguridad oscila de 1,5 a 2,0 para taludes” (Arteaga, 2017, pp.18), la determinación del Factor de Seguridad (FS) se hace tanto para “condiciones estáticas como pseudoestáticas”. (Zanhueza & Rodriguez, 2012, pp. 4).

Cabe mencionar que “el factor de seguridad es determinado bajo condiciones de: tensiones totales, tensiones efectivas, sismicidad, para obtener las condiciones geotécnicas de roca y suelo del talud” (Montoya, 2014, pp.27). Por tanto, “se debe seleccionar un adecuado factor de seguridad, dependiente de las condiciones de cada obra y talud, así como de los aspectos de seguridad, costos de operación, riesgos de rotura, etc.”. (Arteaga, 2017, pp.18)

Conceptualmente, el factor de seguridad se define como “el coeficiente por el cual la fuerza cortante del suelo debe reducirse para que la masa potencialmente inestable alcance el equilibrio límite a lo largo de una superficie de deslizamiento específica” (Valiente, Sobrecases, & Díaz, 2015, pp.3). El Factor de Seguridad (FS) “es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia y las fuerzas impulsoras del sistema en su entorno considerado, el FS es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería” (Variano, 2015, pp.8)

El factor de seguridad, “según la norma americana AASHTO LRFD, cuando no hay carga estructural cerca del talud o la medición de ingeniería geotécnica es confiable, se usa entre 1.33; en caso contrario, el factor de seguridad utilizado se considera 1.53”. (Villanueva, 2018, pp.59).

En suma, se deberá evaluar la condición de estabilidad del talud para solicitaciones estáticas y sísmicas. Según la Norma CE. 020 (2012), “el factor de seguridad mínimo del talud deberá ser 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas”. Si no se cumplen estos factores de seguridad, se debe seleccionar y probar un método estable o una combinación de varios métodos estables hasta que la solución propuesta sea aprobada por los dos factores de seguridad. Por lo tanto, una solución

complementaria pero necesaria debe proporcionar una protección adecuada para el talud contra la erosión (pp.13).

En el análisis de estabilidad de taludes existen varios métodos para valorar el Factor de Seguridad (F.S.) de los taludes, sin embargo, por la variedad de casos presentes en la vida real no es posible inferir un método genérico para resolver la problemática planteada, por lo que se debe realizar un análisis de las diferentes opciones y ver la que se aproxima mejor al modelo real. Para los métodos convencionales de análisis de límites de estabilidad de taludes, se supone que el bloque deslizante es completamente rígido y se desliza a lo largo de una superficie de deslizamiento crítica. (Li, Jiang, & Zhou, 2019, pp.3).

Sackschewski (2017), en su investigación *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta – Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*, percibió por objetivo brindar soluciones geotécnicamente seguras, eficaces y económicamente viables que garanticen la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay. El método de la investigación se efectuó siguió un diseño de tipo experimental en base a la recopilación de información, evaluación en campo mediante observaciones geológico – geotécnicas y ensayos in situ tanto para suelos como para rocas, ensayos de laboratorio, y cálculos del factor de seguridad de los taludes por el método de Bishop simplificado. En conclusión, los problemas de inestabilidad de taludes fueron generados por la ejecución de excavaciones inadecuadas para los materiales que conforman el terreno, las condiciones desfavorables de las discontinuidades, y la influencia de las filtraciones de agua hacia las laderas y taludes.

Ccahuana y Sánchez (2019) desarrollaron su estudio *Análisis de estabilidad de talud mediante Métodos de Equilibrio Limite para la Carretera Huancavelica – Lirca y entre las progresivas del Km 02+700 AL Km 02+800*, con el objetivo de determinar la

solución técnica y económicamente viable que garantice la estabilidad del talud

mediante métodos de equilibrio límite. El método de investigación empleado para este estudio se desarrolló de manera explicativa y correlacional. En conclusión, el análisis de estabilidad por métodos de equilibrio límite como Bishop simplificado y Morgenstern - Price mediante el software Slide 6.0, demostraron que el talud es estable en condiciones secas, necesiándose medidas correctivas como la colocación de geomantos combinados con soluciones como revegetación de taludes para la temporada de lluvias.

La investigación *Análisis comparativo entre los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price aplicado al talud del tramo km 3+00 al km 5+00 de la carretera Puno Moquegua de la región de Puno en el 2017*, realizada por Machaca (2019), tuvo por finalidad realizar un análisis comparativo entre los métodos de Bishop Simplificado y Morgenstern-Price para determinar que método brinda mayor factor de seguridad al talud. Para el análisis del problema de la zona de estudio, se realizó un levantamiento topográfico, geológico, hidrológico, geomorfológico, y ensayos de laboratorio; luego se procedió a realizar un cuadro comparativo de los resultados de los factores de seguridad, obtenidos por el programa Slide, de cada método y el análisis de la posible solución alternativa. Concluyendo que el método que mayor factor de seguridad brindó al talud del Km 3+900 fue Bishop Simplificado.

Tarrillo (2018), en su estudio *Grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca – Llacanora* estableció por objetivo determinar el grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca – Llacanora. El procesamiento de datos se realizó mediante los softwares DIPS, Rocdata, Sweedge y Slide, luego se calculó el factor de seguridad mediante los métodos de Bishop-simplificado y Morgenstern-Price y un análisis dinámico en caso de sismo. Concluyendo que para

condiciones secas los valores del factor de seguridad oscilan entre 1.18 hasta 2.12 siendo

todos los taludes estables, pero con presencia de agua fallan tres taludes (E1, E2, E3)

con valores entre 0.72 hasta 1.37 y con acciones dinámicas descienden hasta 0.58 salvo

en el talud rocoso E4 que es estable con un factor de seguridad de 1.94.

El presente se justifica porque la inestabilidad en carreteras constituye un grave problema, trayendo consigo deslizamientos, caídas de roca y material suelto, por ende, es un riesgo y tiende a causar pérdida materiales, económicas e inclusive humanas. Por ello es importante evaluar las condiciones que presentan actualmente con el fin de identificar y prevenir problemas a futuro, a su vez de establecer criterios, parámetros de prevención y control. Por ello, se debe tomar en cuenta que garantizar el tránsito normal en las diferentes carreteras, traerá beneficios para la población, tales como, disminuyendo significativamente el riesgo a sufrir accidentes por bloqueos de rocas y caída de materiales provenientes del talud en la plataforma de las vías, se minimizará costos por los deslizamientos, se garantiza la seguridad de los vehículos y pobladores, se mejora el impacto visual paisajístico. Por lo que los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price son los más utilizados para la evaluación de estabilidad de taludes.

Por otro lado, este estudio ha tenido por limitaciones: Datos incompletos y no actualizados de las empresas inversionistas dedicadas al rubro de la minería y construcción en el país; además, acceso restringido a la a las plataformas de información por derechos del autor. Además, el acceso a la información en algunas fuentes de información fue restringido, otra de las limitaciones ha sido el contenido incompleto de artículos y tesis, llámese carencia de resultados, metodología o conclusiones.

En la estabilidad de taludes tenemos diferentes métodos de límite de equilibrio, lo cual mencionamos a continuación:

Método de talud infinito es un sistema muy rápido y sencillo para determinar el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud largo con una capa delgada de suelo, en el cual, cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud. (Suárez. s.f. pp. 145).

Método del bloque deslizante e este caso el análisis de bloque deslizante se puede utilizar cuando a una determinada profundidad existe una superficie de debilidad relativamente recta y delgada (sub horizontal). La masa que se mueve puede dividirse en dos o más bloques y el equilibrio de cada bloque se considera independiente. (Suárez. s.f. pp. 148).

Método de cuña simple es un método que supone a una superficie recta de un solo tramo, el cual puede analizarse como una cuña simple, con la superficie de falla inclinada, a un determinado ángulo con la horizontal. En este método una falla horizontal plana puede ser analizada, fácilmente, con una solución de forma cerrada, la cual depende de la geometría de la pendiente y del parámetro de fuerza cortante del suelo a lo largo del plano de falla. (Suárez. s.f. pp. 149).

Este Método de la cuña doble se hace el análisis de una cuña con dos tramos rectos de superficie de falla. La cuña superior tiene generalmente una pendiente fuerte y la inferior, una pendiente más suave. (Suárez. s.f. pp. 149).

El método de la cuña triple, esta falla triple cuña es muy común en los grandes deslizamientos. Al igual que la falla de doble cuña, esta es controlada por detalles geológicos como, una formación de roca o la presencia de mantos blandos. En la falla de triple cuña, las dos cuñas superiores empujan a la cuna inferior para generar el levantamiento del pie del movimiento. Uno de los factores más importantes para

determinar son los ángulos de falla de la cuña superior y de la cuña inferior, los cuales no son controlados por las características geológicas del talud. El análisis se realiza estudiando (en forma independiente) las fuerzas que actúan sobre cada bloque. (Suárez. s.f. pp. 150).

Método de la espiral logarítmica en el procedimiento de la espiral logarítmica, la superficie de falla se supone que tienen una forma de espiral. Inicialmente, suponemos un punto de centro y un radio r , para definir la espiral. El radio de la espiral varía con un ángulo de rotación θ , alrededor del centro de la espiral. (Suárez. s.f. pp. 151).

Método del Arco Circular. El método del arco circular se le utiliza sólo para los suelos cohesivos ($\phi = 0$). El método fue propuesto por Petterson en 1916 (Petterson, 1955) pero sólo fue formalizado por Fellenius en 1922. El método del arco circular se le utiliza sólo para los suelos cohesivos ($\phi = 0$). El método fue propuesto por Petterson en 1916 (Petterson, 1955) pero sólo fue formalizado por Fellenius en 1922. (Suárez. s.f. pp. 152).

Método de dovelas, en la mayoría de los métodos con fallas curvas o circulares, la masa de la parte superior de la superficie de falla se divide en una serie de tajadas verticales. El número de tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión requerida para el análisis. Entre mayor sea el número de tajadas, se supone que los resultados serán más precisos. En los procedimientos de análisis con tajadas, generalmente se considera el equilibrio de momentos con relación al centro del círculo para todas y cada una de las tajadas. (Suárez. s.f. pp. 153).

Método ordinario o de Fellenius. Este método, es conocido también como método Ordinario, método sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. 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 (producidos por estas fuerzas) se obtiene el Factor de Seguridad.

(Suárez. s.f. pp. 153).

Método de Janbú. El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f_0 . (Suárez. s.f. pp. 155).

Método de Spencer, 1967, es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967), se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación. (Suárez. s.f. pp. 156).

Método de Lowe y Karafiath, es prácticamente idéntico al del Cuerpo de Ingenieros, con la excepción que la dirección de las fuerzas entre partículas, varía de borde a borde en cada dovela. Su resultado es menos preciso que los que satisfacen el equilibrio completo y al igual que el método del Cuerpo de Ingenieros, es muy sensitivo a la inclinación supuesta de las fuerzas entre partículas. Si se varía el ángulo de estas fuerzas, se varía substancialmente el factor de seguridad. (Suárez. s.f. pp. 156).

Método de Chen y Morgenstern El método de Chen y Morgenstern (1983) es una refinación del método de Morgenstern y Price e intenta mejorar los estados de esfuerzos en las puntas de la superficie de falla. Chen y Morgenstern recomiendan las fuerzas entre partículas, deben ser paralelas al talud, en los extremos de la superficie de falla. (Suárez. s.f. pp. 157).

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo del factor de seguridad de los taludes. Existen métodos de mayor

precisión que el método de Bishop; sin embargo, las diferencias de los factores de seguridad calculados no son muy grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado es que solamente considera las superficies de rotura circulares. En tal sentido para el presente estudio se ha creído conveniente hacer un análisis sobre el uso del método Bishop, el cual según Bishop (1955) es un método utilizando dovelas (rebanadas) y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre estas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales, es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante.

El método Morgenstern-Price es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos (Morgenstern y Price, 1965).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el resultado de comparar el método Bishop simplificado y Morgenstern-Price en su aplicación para la determinación de la estabilidad de taludes?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo de la aplicación del método Bishop Simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar las propiedades y características geotécnicas de los taludes, según el material que lo compone.

Evaluar el factor de seguridad de los taludes mediante los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price

Comparar los resultados de la aplicación del método Bishop y Morgenstern-Price en la estabilidad de los taludes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Es posible la comparación de la aplicación de taludes para la determinación de la estabilidad de los taludes con los análisis de propiedades y características geotécnicas de los taludes según su material que lo compone, con la evaluación del factor de seguridad de los taludes y finalmente comparar los resultados de la aplicación de los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Enfoque de investigación

El tipo de investigación es Cualitativa, según Hernández, Fernández y Baptista (2014), señala que de una investigación de tipo cualitativa puesto que se enfoca en comprender y profundizar los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con el contexto, además es un método de estudio que se propone evaluar, ponderar e interpretar la información obtenida a través de recursos como registros, memorias, entre otros, con el propósito de indagar en su significado profundo.

Nivel de investigación

El nivel de esta investigación es descriptivo, según Hernández, Fernández, y Baptista (2014), manifiesta que una investigación descriptiva es la que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos; por ende, permite describir las variables y contribuyendo a la explicación de dichas variables, para el mejor entendimiento del problema de investigación.

Diseño de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), señalan que el diseño de investigación no experimental, es aquella que se realiza sin alterar deliberadamente las variables. Es decir, es una investigación donde no variamos intencionalmente las variables de estudio que posee. (p.152).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La presente investigación considera una población finita, dado que “se conoce el número de elementos que constituyen el estudio” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). Para la tesis en desarrollo se consideró una población de 19 (diecinueve) estudios nacionales e internacionales relativos a la aplicación del método Bishop simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes.

2.2.2. Muestra

La muestra “es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectan datos y que tiene que definirse o determinarse de ante mano con precisión” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Con el fin de determinar la muestra, se empleó el método no probabilístico que consiste en seleccionar a los individuos que convienen al investigador (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Por tanto, la muestra está conformada por 05 (cinco) estudios de carácter nacional resultantes de la investigación de la literatura científica, sobre la aplicación del método Bishop simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes en carreteras. Los criterios de selección para la muestra fueron: a) Criterios de inclusión: estudios que tienen un enfoque más práctico que teórico, esto hace referencia a que tiene resultados concisos, de manera explícita y fundamentada, además de mostrar una metodología bien elaborada; especialmente se consideró a estudios con contenido a fin al tema en cuestión. b) Criterio de exclusión: se dejaron de

lado los estudios que no presentan resultados técnicos, respecto al uso de relaves mineros como insumo para elaborar ladrillos.

2.2.3. Métodos

Método Inductivo – Deductivo. Por intermedio del presente método, se obtuvo conocimientos de lo general a lo particular y viceversa; es decir, del análisis de cada variable implicada en el objetivo de investigación se podrá efectuar generalidades con relevancia científica que permitan sustentar afirmaciones en relación a la hipótesis formulada.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

a. Técnicas

Revisión documental: Los recursos empleados para recuperación de información fueron mayormente informáticos, donde se logra consultar páginas web, libros digitales y virtuales, artículos científicos a través de bases de datos de fuentes confiables como son: Google académico, Redalyc, Scielo, Concytec, entre otras fuentes, paralelo a ello se ha realizado la revisión de la literatura de científica, considerando la cronología 2015 - 2020, para tal se ha hecho uso como instrumento a una ficha de organización de información.

Para la obtención de manera rápida y eficaz se realiza la combinación de palabras clave en el buscador virtual.

Revisión de reglamentos actualizados relacionados a condiciones de estabilidad de taludes para carreteras.

b. Instrumentos de recolección

- ✓ Fichas de organización de información.
- ✓ Norma CE. 020.
- ✓ Hojas de cálculo de Microsoft Excel.
- ✓ Fichas bibliográficas.

c. Etapa de análisis de información

En la revisión sistemática para el análisis de información se ha valido de los siguientes criterios: 1) El criterio de inclusión ha sido por los objetivos que están enfocados al cálculo del factor de seguridad y estabilidad de taludes, además, en relación a la pregunta de investigación ¿Cuál es el resultado de comparar el método Bishop simplificado y Morgenstern-Price en su aplicación para la determinación de la estabilidad de taludes?, también porque los resultados son claros y explícitos; además de presentar una metodología bien estructurada. 2) Los criterios de exclusión han sido aplicados a aquellos estudios que no presentan resultados afines con lo que se quiere lograr en la presente investigación, por su cronología (no mayor a 5 años), los que no presentan contenido completo, tal es el caso de que en ciertos casos solo se presenta un índice o un resumen, lo cual obstaculiza poder rescatar información relativa al tema en cuestión.

Luego de haber aplicado el instrumento, se procedió a organizar la información en Microsoft Office 2016, utilizando la herramienta técnica Excel, se elaboró las tablas que describen los resultados finales de las variables. Posterior a ello se realizó una comparación según autor. En este sentido, se hizo una meta análisis de las fuentes consultadas afín con la aplicación del método Bishop simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes. Una vez realizada la búsqueda de información se procedió al ordenamiento y organización de datos requeridos se procedió a procesarlos, analizar e interpretar los resultados obtenidos, para lo cual se hizo uso de la herramienta técnica Microsoft Office; valiéndose de tablas y gráficos estadísticos.

El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realiza mediante el uso de hojas de cálculo de Excel y Word.

2.4. Procedimiento de recolección de datos

Para la elaboración de esta investigación, se ejecutaron dos etapas básicas e importantes, las cuales están clasificadas en etapa de: recolección de datos y análisis de datos.

2.4.1. Recolección de datos

Revisión de bibliográfica

El estudio se comenzó con la recopilación de información y evaluación de estudios e investigaciones anteriores a nivel regional, nacional e internacional, que sirven de sustento teórico y aplicativo para la realización del estudio. Con la información obtenida se generó una base de datos que permite realizar los trabajos de interpretación de la información documentada y analizada para las fases

posteriores del trabajo de investigación, puesto que la información se buscó en fuentes confiables como buscadores académicos que se presentan a continuación.

Tabla 1.

Base de datos consultados y total de información encontrada

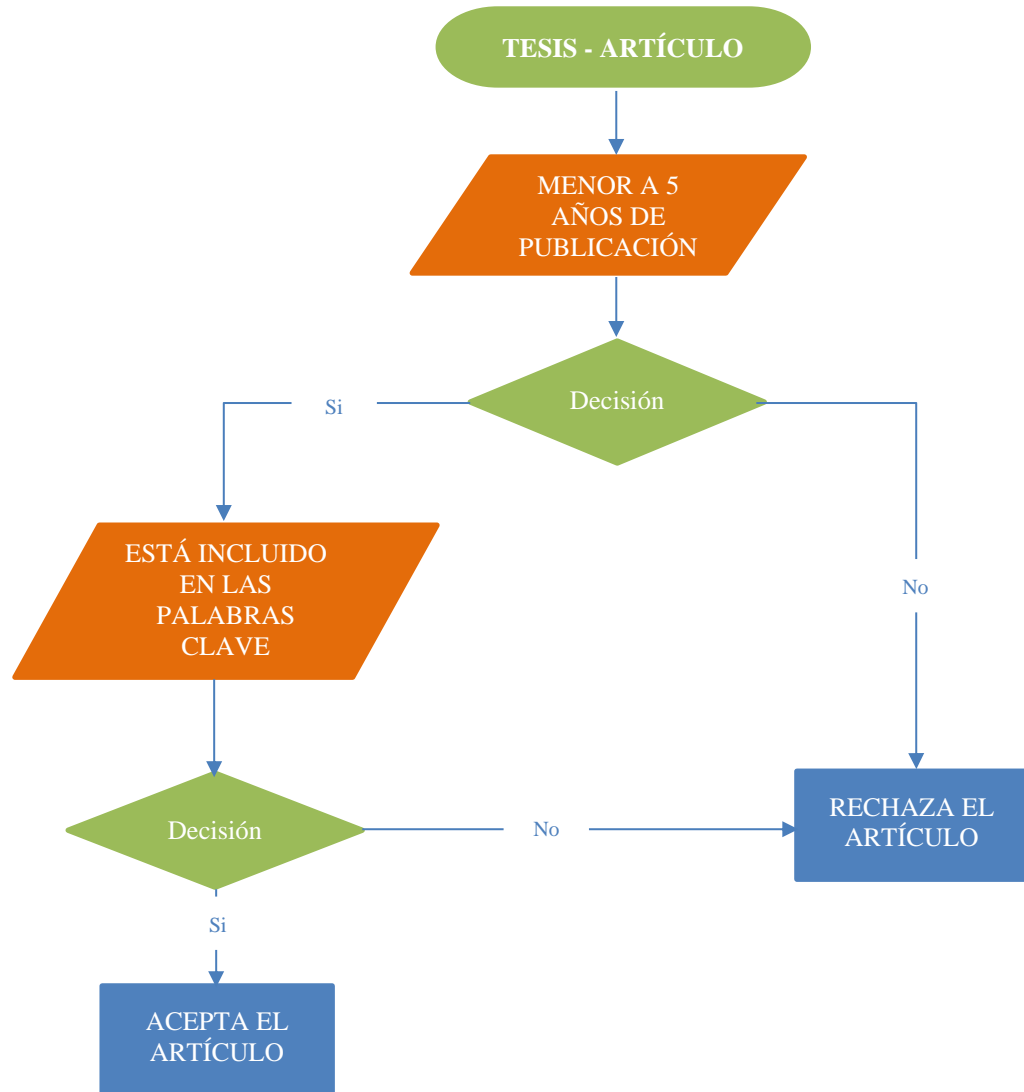
Base de datos	Número de información encontrada
Google Académico	14
Redalyc	10
Scielo	08
Sciencedirect	12
Alicia. Concytec	06

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Nota, la información fue investigada en buscadores académicos más utilizados entre ellos: Google académico, Redalyc, Scielo, Repositorios, entre otros.

Figura 1.

Criterios de selección



Fuente: fuentes de investigación.

Nota, este organizador ayudó a seleccionar nuestra información.

Tabla 2.

Información seleccionada

N°	Título	Año de la publicación	País	Recomendación	Referencia
1	Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta – Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110.	2017	Perú	Tesis	http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5743
2	Evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes desde la progresiva km. 09+000 – 18+000 de la obra: mejoramiento de la carretera tramo I Dv. Cara Cara – Lampa.	2019	Perú	Tesis	http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5401
3	Análisis de estabilidad de talud mediante métodos de equilibrio límite para la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 al Km 02+800.	2019	Perú	Tesis	http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2881
4	Grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca – Llacanora.	2018	Perú	Tesis	http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1995
5	Análisis comparativo entre los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price aplicado al talud del tramo km 3+00 al km 5+00 de la carretera Puno Moquegua de la región de Puno en el 2017.	2019	Perú	Tesis	http://repositorio.ancv.edu.pe/handle/UANC/3149

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Nota, los criterios de selección y depuración de bibliografía se hicieron de acuerdo al tiempo, no mayor a cinco años, palabras clave, seleccionando 5 investigaciones que nos sirve para analizar estas comparaciones de resultados.

2.4.2. Elaboración de la tesis

Con los resultados obtenidos y con la información necesaria se procedió a estructurar el contenido de la presente investigación, para lo cual se hizo uso del formato actual de tesis que maneja la Universidad Privada del Norte.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos a través del análisis comparativo de los métodos antes ya mencionados. Básicamente el estudio se enfoca en comparar y analizar la estabilidad de los taludes de los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price.

3.1. Análisis de propiedades y características geotécnicas de los taludes, según el material que lo compone.

Tabla 3.

Datos de la caracterización del talud - carretera Huancavelica – Lircay

PARÁMETRO	UNIDAD GEOTÉCNIC A I: CALIZA	UNIDAD GEOTÉCNIC A II: MARGA	UNIDAD GEOTÉCNIC A III: ROCA VOLCANICA	UNIDAD GEOTÉCNIC A IV: SUELO RESIDUAL
RMR ₈₉ Básico	67			
GSI	62	45	27	
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	200 MPa	60 MPa	35 MPa	
Constante de la Roca Intacta (mi)	12	9	20	
Peso Unitario	25 kN/m ³	23 kN/m ³	22 kN/m ³	14.72 kN/m ³
Ángulo de Fricción Interna (φ)				27.8°
Cohesión (c)				15 kPa

Fuente: Ccahuana y Sánchez (2019).

Nota, en la tabla 3 se muestra la caracterización del talud de la carretera Huancavelica – Lircay, considerando cuatro unidades geotécnicas en función a parámetros geotécnicos, cuyo material de talud es roca y suelo residual.

Tabla 4.

Resultado de parámetros y características de los taludes críticos - Carretera Baños del Inca – Llacanora

Progresiva	Ángulo de Fricción	Cohesión	Pendiente del talud	Tipo de Material encontrado
4+540 m	28.98°	0.30 Kg/cm ²	77.14°	Limolitas muy oxidadas y arcillas
4+600 m	38.82°	0.47 Kg/cm ²	75.05°	A-4 (1) - SC
4+840 m	30.13°	0.89 Kg/cm ²	75.9°	Limolitas muy oxidadas y arcillas.
5+020 m	18.92°	0.19 Kg/cm ²	79.0°	Arcillas oxidadas con presencia de finos y limolitas oxidas

Fuente: Tarrillo (2018).

Nota, la tabla 4, presenta los resultados de parámetros y características de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca – Llacanora, figurando un ángulo de fricción entre 18. 92° y 38. 82°, una cohesión máxima de 0.89 Kg/cm², pendiente máxima de 79°; considerando un tipo de material conformado por limonitas y arcillas.

Tabla 5.

Parámetros geotécnicos del talud de la carretera Puno – Moquegua

Estación	Peso Específico (kN/m³)	Ángulo de fricción interna (°)	Cohesión (kN/m²)
C-1	18.42	27.2	15.68
C-2	19.31	25.2	16.66
C-3	18.13	16.1	20.58

Fuente: Machaca (2019).

Nota, de acuerdo con la tabla 5, los parámetros geotécnicos del talud de la carretera Puno – Moquegua son peso específico, ángulo de fricción interna y cohesión, con valores máximos de 19.31 kN/m³, 27. 2° y 20.58 kN/m²; respectivamente.

Tabla 6.

TALUD	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	
Km. 10+360 – 10+600	Altura	10 m
	Ángulo del talud	47°
	Talud natural	65°
	Clasif. SUCS	GC
	Cohesión	0.12 kPa
	Ángulo de fricción	23.91°
	Peso específico	26.75 kN/m ³
Km. 11+400 – 11+600	Altura	11 m
	Ángulo del talud	46°
	Talud natural	67°
	Clasif. SUCS	GM - GC
	Cohesión	0.13 kPa
	Ángulo de fricción	27.80°
	Peso específico	36.08 kN/m ³
Km. 12+000 – 12+160	Altura	11m
	Ángulo del talud	47°
	Talud natural	60°
	Clasif. SUCS	GC
	Cohesión	0.12 kPa
	Ángulo de fricción	26.14°
	Peso específico	45.09 kN/m ³
km 12+340 – 12+540	Altura	11m
	Ángulo del talud	44°
	Talud natural	65°
	Clasif. SUCS	GM - GC
	Cohesión	0.13 kPa
	Ángulo de fricción	27.17°
	Peso específico	26.03 kN/m ³

Fuente: Cabana (2019).

Nota, según la tabla 6, la caracterización geomecánica en suelos carretera Cara Cara – Lampa indica una altura promedio de 10m, ángulo del talud máximo de 47°, un talud natural máximo de 67°, una máxima cohesión de 0.13 kPa, un ángulo de fricción máximo de 27.80° y un máximo peso específico de 45.09 kN/m³.

Tabla 7.

Resultado de condiciones geotécnicas de taludes carretera Canta – Huayllay

TALUD	SUELO	PARÁMETRO GEOTÉCNICO	
km 102+780 al km 103+020	Depósito coluvial	Peso unitario	18.12 Tn/m ³
		Cohesión	4 kPa
		Ángulo de fricción interna	37°
	Depósito coluvio - aluvial	Peso unitario	17.28 Tn/m ³
		Cohesión	6 kPa
		Ángulo de fricción interna	32°
km 104+920 al km 105+010	Arena Limo-Arcillosa con Grava	Peso unitario	17.6 Tn/m ³
		Cohesión	7 kPa
		Ángulo de fricción interna	30°
	Limo arenoso de baja plasticidad	Peso unitario	16.7 Tn/m ³
		Cohesión	8 kPa
		Ángulo de fricción interna	20°
km 109+500 al km 109+580	Arena Arcillosa con Grava	Peso unitario	14 Tn/m ³
		Cohesión	7 kPa
		Ángulo de fricción interna	28°

Fuente: Sackschewski (2017).

Nota, se observa en la tabla 7, las principales condiciones geotécnicas de taludes carretera Canta – Huayllay, mayores valores en el rango siguiente: de 14 Tn/m³ a 18.12 Tn/m³ de peso unitario, 4 kPa a 7 kPa cohesión, y de 20° a ángulo de fricción interna 37°.

Tabla 8.

Parámetros de calidad que se determinaron para el macizo rocoso a la base del talud carretera Canta – Huayllay

Roca fracturada	
RMR Básico	51
RMR Ajustado	26
SMR	44
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	30 MPa
Índice de Resistencia Geológica (GSI)	45
Constante de Roca Intacta (mi)	19

Fuente: Sackschewski (2017).

Nota, en la tabla 8, se muestra los parámetros de calidad que se determinaron para el macizo rocoso a la base del talud carretera Canta – Huayllay, evidenciando que el RMR básico toma un valor de 51, un GSI de 45 y una resistencia a la compresión uniaxial de 30 MPa.

3.2. Evaluación del factor de seguridad de los taludes mediante los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price.

Tabla 9.

Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad - Carretera Huancavelica – Lircay

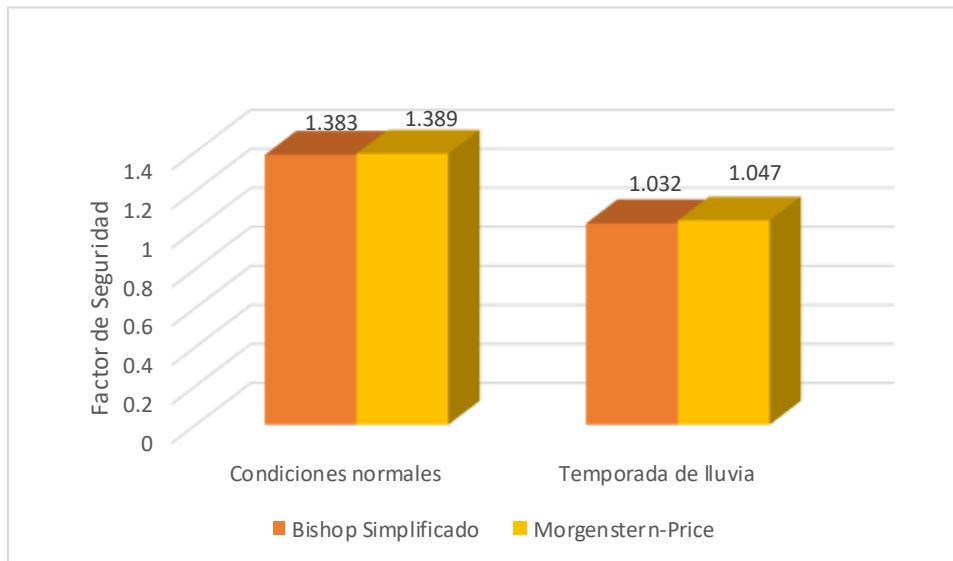
Talud km 2 + 750	Condiciones normales	Temporada de lluvia
Método de cálculo	Análisis estático	
Bishop Simplificado	1.383	1.032
Morgenstern-Price	1.389	1.047
Método de cálculo	Análisis Pseudo - estático	
Bishop Simplificado	1.1	0.811
Morgenstern-Price	1.107	0.833

Fuente: Ccahuana y Sánchez (2019).

Nota, la tabla 9, revela los resultados de los cálculos de Factor de Seguridad - Carretera Huancavelica – Lircay en condiciones estáticas y en condiciones pseudo-estáticas mediante los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price; tanto en temporada seca (condiciones normales) como en temporada de lluvia.

Figura 2.

Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad - Análisis estático - Carretera Huancavelica – Lircay

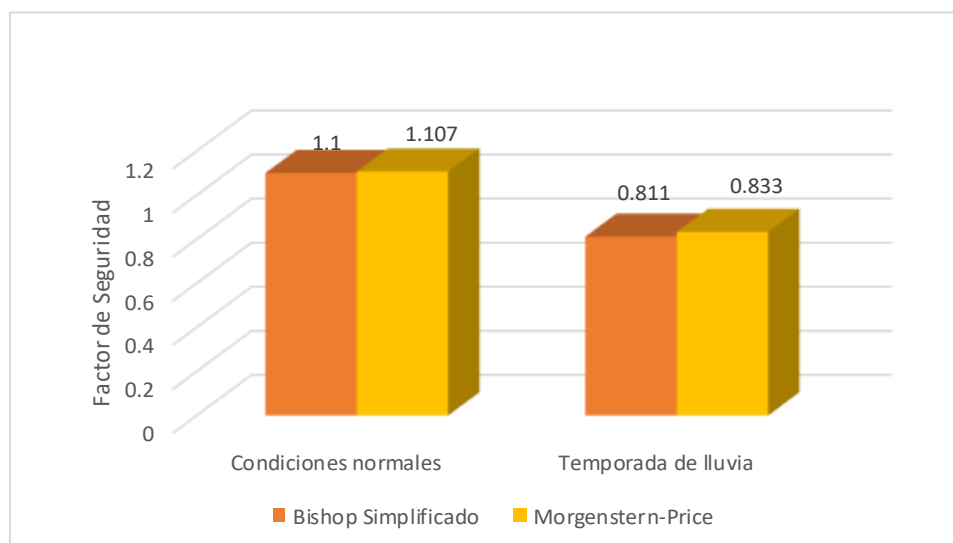


Fuente: Ccahuana y Sánchez (2019).

Nota, según la figura 2, el factor de seguridad en análisis estático es 1.383 en condiciones normales según el método Bishop simplificado, y 1.389 mediante el método Morgenstern-Price; mientras que en temporada de lluvia los valores son de 1.032 y 1.047.

Figura 3.

Resultados de los cálculos de Factor de Seguridad – Análisis Pseudo estático, Carretera Huancavelica – Lircay



Fuente: Ccahuana y Sánchez (2019)

Nota, de acuerdo con la figura 3, el factor de seguridad en análisis pseudo-estático es 1.1 en condiciones normales según el método Bishop simplificado, y 1.107 mediante el método Morgenstern - Price; pero en temporada de lluvia los valores son de 0.811 y 0.833; respectivamente.

Tabla 10.

Resultados de Factor de seguridad - Carretera Baños del Inca – Llacanora

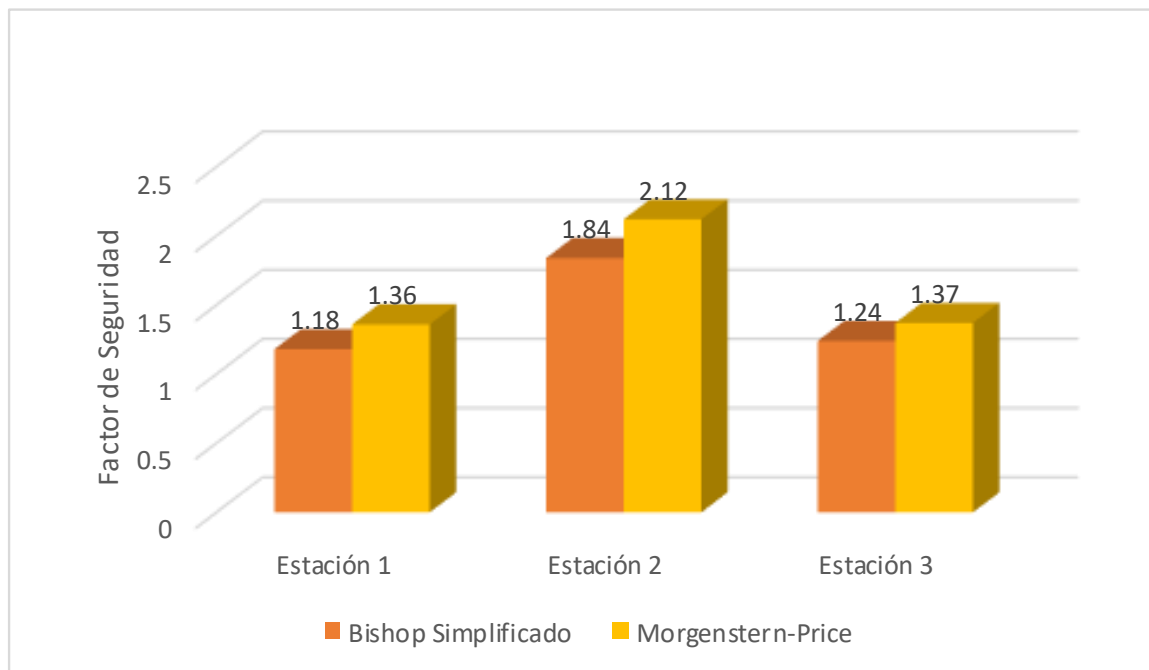
Método de cálculo	Estación	Condiciones normales
		Método estático
Bishop Simplificado	Estación 1	1.18
	Estación 2	1.84
	Estación 3	1.24
Morgenstern-Price	Estación 1	1.36
	Estación 2	2.12
	Estación 3	1.37
Método de cálculo		Método Pseudo - Estático
Bishop Simplificado	Estación 1	0.72
	Estación 2	1.17
	Estación 3	0.75
Morgenstern-Price	Estación 1	0.88
	Estación 2	1.37
	Estación 3	0.9

Fuente: Tarrillo (2018).

Nota, en la tabla 10, se muestran los resultados de factor de seguridad - Carretera Baños del Inca – Llacanora calculado por los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern - Price, en condiciones estáticas y pseudo-estáticas. Tarrillo (2018), ha realizado su análisis considerando 3 estaciones, donde aplicó en cada uno un análisis por los dos métodos mencionados.

Figura 4.

Resultados de Factor de seguridad en condiciones estáticas - Carretera Baños del Inca – Llacanora

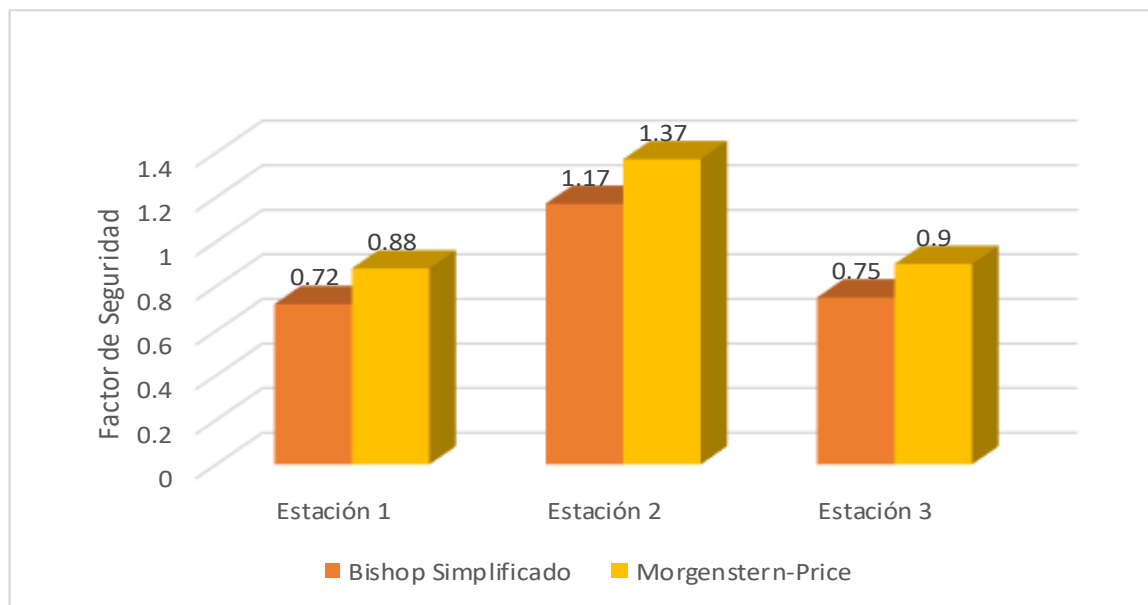


Fuente: Tarrillo (2018).

Nota, se muestra en la figura 4, el resultado del FS en condiciones estáticas para tres estaciones, siendo en la estación 2 que se obtuvo los mayores valores, tanto mediante el método Bishop simplificado como de Morgenstern-Price, 1.84 y 2.12; respectivamente. Además, en las estaciones los valores logrados por Morgenstern-Price son mayores a los obtenidos mediante el método Bishop simplificado.

Figura 5.

Resultados de Factor de seguridad en condiciones Pseudo - estáticas - Carretera Baños del Inca – Llacanora



Fuente: Tarrillo (2018).

Nota, en la figura 5, se aprecia el resultado del FS en condiciones pseudo - estáticas para tres estaciones, en la estación 2 se obtuvo los mayores valores 1.17 y 1.37, mediante el método Bishop simplificado como de Morgenstern-Price; respectivamente. Asimismo, en las 3 estaciones los valores alcanzados por Morgenstern-Price son mayores a los obtenidos mediante el método Bishop simplificado.

Tabla 11.

Factor de seguridad mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price carretera Puno - Moquegua

PERFIL	NO SATURADA Y CON SISMO		NO SATURADA Y SIN SISMO	
	Bishop Simplificado	Morgenstern-Price	Bishop Simplificado	Morgenstern-Price
1	1.272	1.197	1.694	1.601
2	1.16	1.116	1.54	1.479
3	0.985	0.928	1.393	1.314
	SATURADA Y CON SISMO		SATURADA Y SIN SISMO	
1	0.774	0.764	1.112	1.111
2	0.742	0.748	1.03	1.058
3	0.64	0.617	0.915	0.892

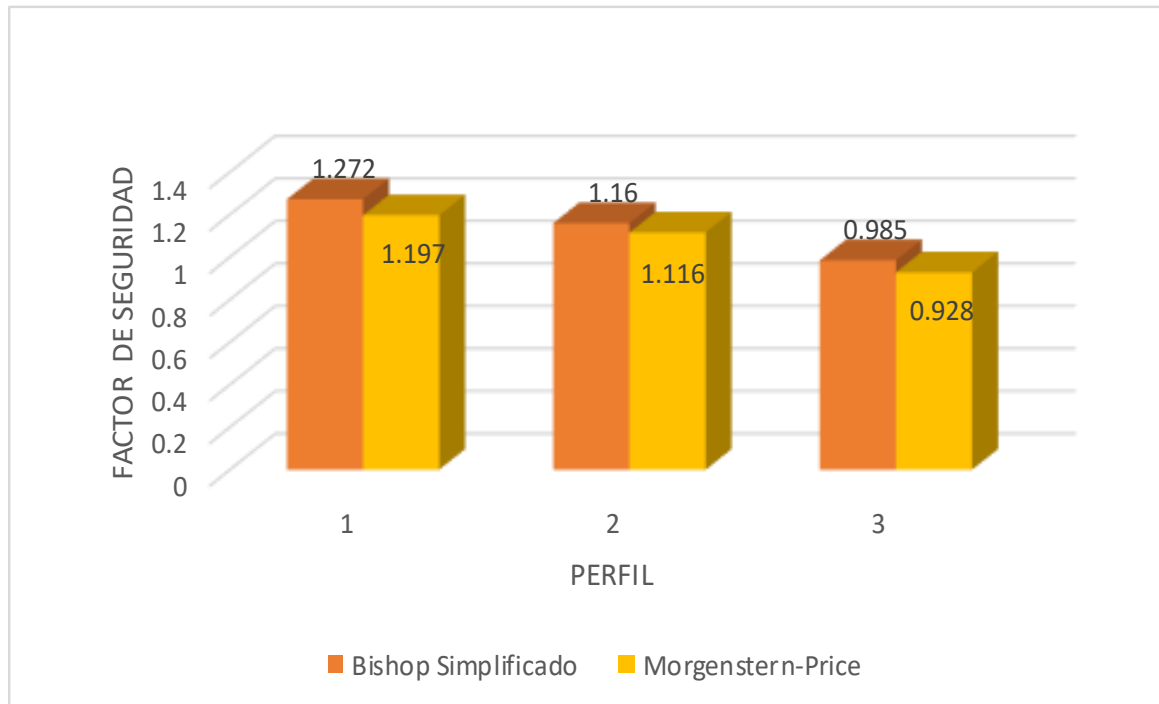
Fuente: Machaca (2019).

Nota, en la tabla 11, se presentan los resultados del factor de seguridad mediante métodos

Bishop Simplificado y Morgenstern-Price carretera Puno – Moquegua, en condiciones estáticas (sin sismo) y sísmicas (con sismo).

Figura 6.

Factor de seguridad en condición no saturada con sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price

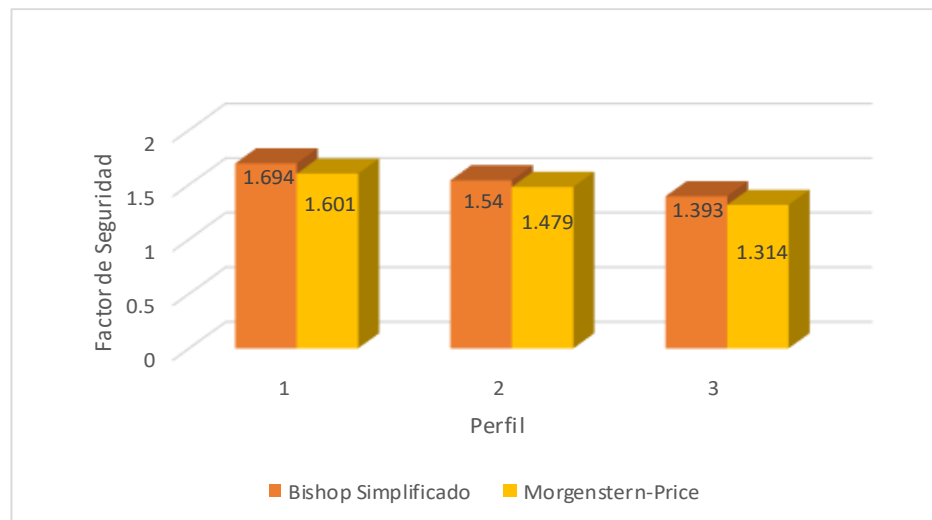


Fuente: Machaca (2019).

Nota, de acuerdo con la figura 6, el factor de seguridad en condición no saturada con sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price son mayores en el perfil 1, 1.272 y 1.197; respectivamente. Menores valores corresponden al talud 3, 0.985 mediante Bishop Simplificado y 0.928 mediante Morgenstern-Price.

Figura 7.

Factor de seguridad en condición no saturada sin sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price

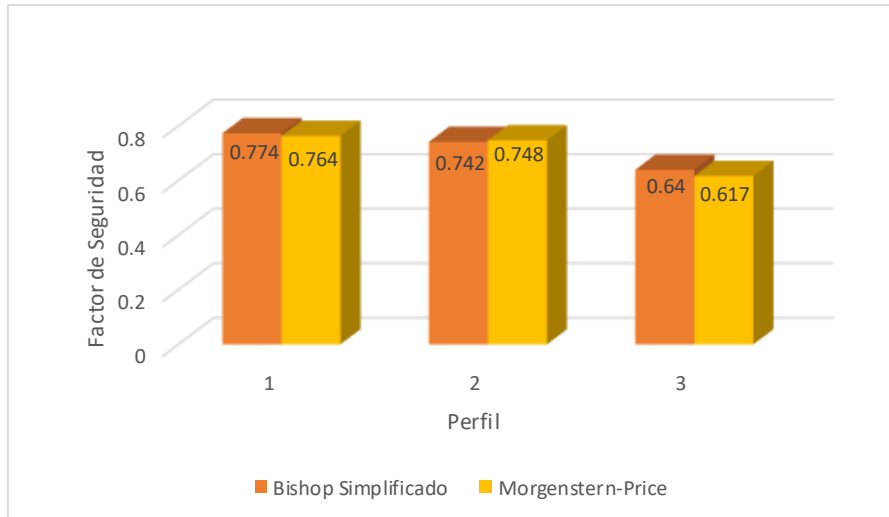


Fuente: Machaca (2019).

Nota, según la figura 7, el factor de seguridad en condición no saturada sin sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price es mayor en el perfil 1, 1.694 y 1.601; respectivamente. El valor más bajo corresponde al talud 3, mediante Bishop Simplificado fue de 1.393 y 1.314 mediante Morgenstern-Price.

Figura 8.

Factor de seguridad en condición saturada con sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price

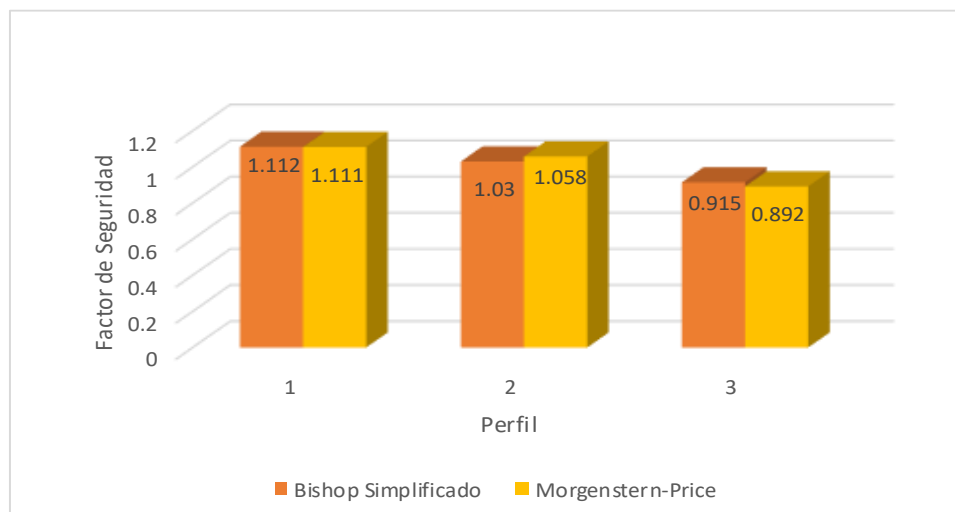


Fuente: Machaca (2019).

Nota, la figura 8, indica que el factor de seguridad en condición saturada con sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price es mayor en el perfil 1, cuyos valores son 0.774 y 0.764; respectivamente. En el talud 3, el FS es menor, mediante Bishop Simplificado es 0.64 y mediante Morgenstern-Price 0.617.

Figura 9.

Factor de seguridad en condición saturada sin sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price



Nota, en la figura 9, se aprecia que el factor de seguridad en condición saturada sin sismo mediante métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price es mayor en el perfil 1, con valores de 1.112 y 1.111. En el talud 3, el FS es menor, mediante Bishop Simplificado es 0.915 y mediante Morgenstern-Price 0.892.

Tabla 12.

Resultados de factor de seguridad aplicando el método Bishop Simplificado carretera Canta – Huayllay

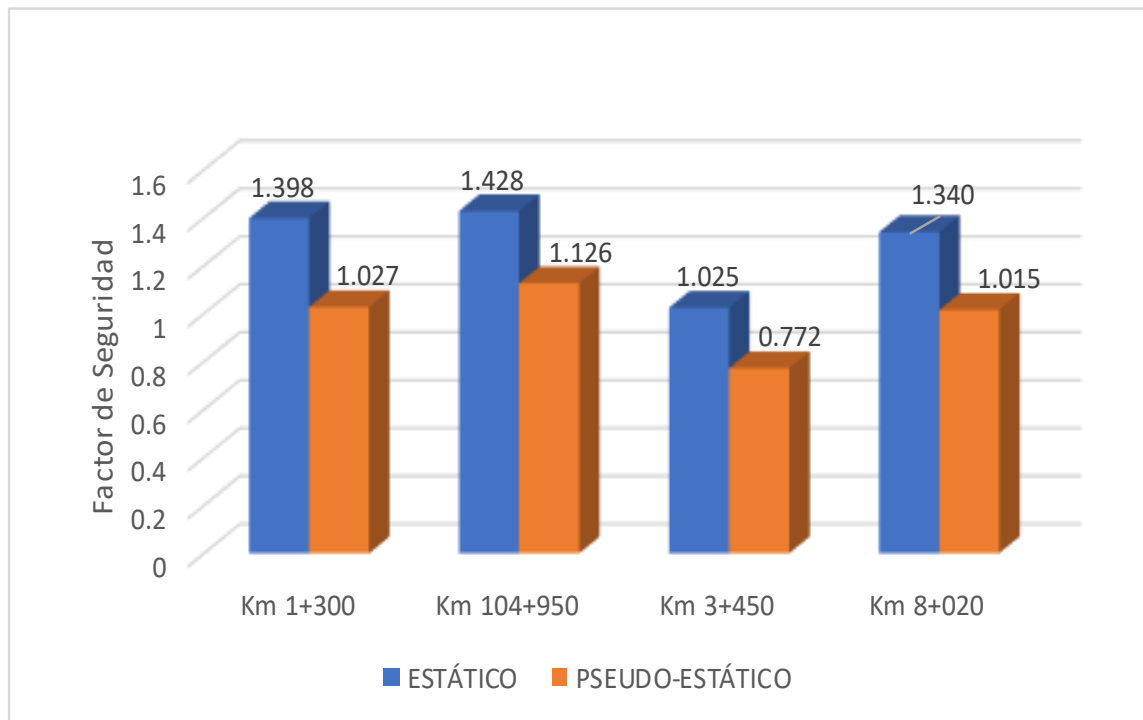
TALUD	ESTÁTICO	PSEUDO - ESTÁTICO
Km 1+300	1.398	1.027
Km 104+950	1.428	1.126
Km 3+450	1.025	0.772
Km 8+020	1.340	1.015

Fuente: Sackschewski (2017).

Nota, en la tabla 12, se muestran los resultados de factor de seguridad aplicando el método Bishop Simplificado carretera Canta – Huayllay, en condiciones estáticas el mayor valor es 1.428 y en condiciones pseudo estáticas de 1.126.

Figura 10.

Resultados de factor de seguridad aplicando el método Bishop Simplificado carretera Canta – Huayllay



Fuente: Sackschewski (2017).

Nota, se aprecia en la figura 10, el factor de seguridad aplicando el método Bishop Simplificado carretera Canta – Huayllay, siendo mayor en los 4 taludes el valor obtenido en condiciones estáticas a comparación de las condiciones pseudo - estáticas.

Tabla 13.

Factor de seguridad de la carretera Cara Cara – Lampa

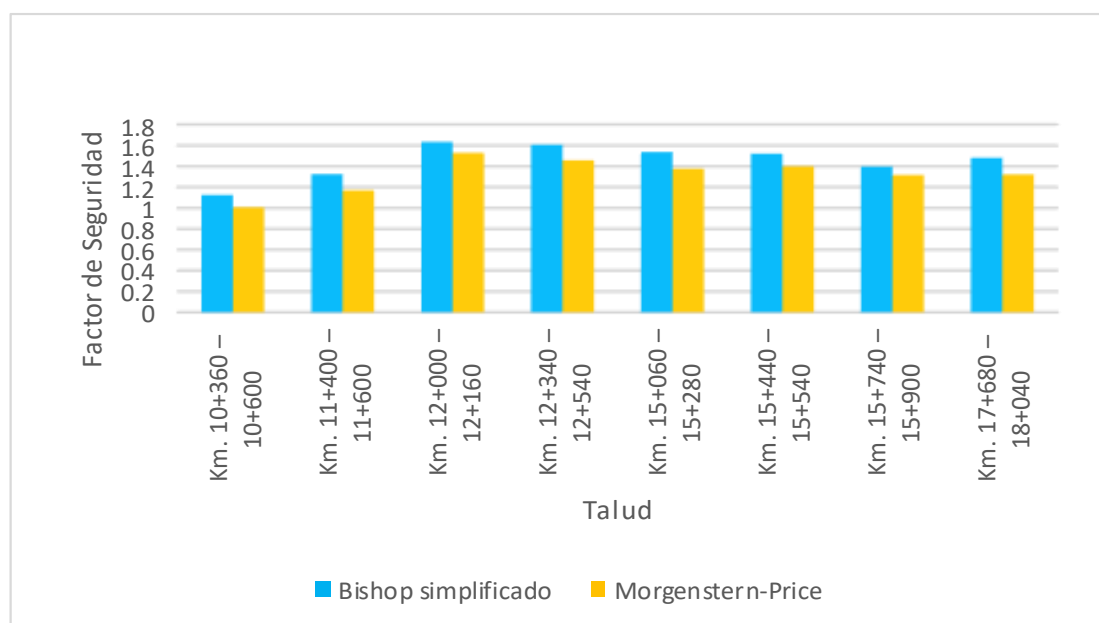
TALUD	Análisis estático	
	Bishop simplificado	Morgenstern-Price
Km. 10+360 – 10+600	1.124	1.008
Km. 11+400 – 11+600	1.325	1.168
Km. 12+000 – 12+160	1.634	1.528
Km. 12+340 – 12+540	1.608	1.457
Km. 15+060 – 15+280	1.537	1.377
Km. 15+440 – 15+540	1.520	1.399
Km. 15+740 – 15+900	1.397	1.317
Km. 17+680 – 18+040	1.480	1.322

Fuente: Cabana (2019).

Nota, de acuerdo con la tabla 13, el factor de seguridad de la carretera Cara Cara – Lampa calculado en condiciones estáticas indica un máximo valor obtenido de 1.634 aplicando el método Bishop simplificado y 1.528 mediante Morgenstern-Price.

Figura 11.

Factor de seguridad de la carretera Cara Cara – Lampa en condiciones estáticas



Fuente: Cabana (2019).

Nota, según la figura 11, el factor de seguridad de la carretera Cara Cara – Lampa en condiciones estáticas es mayor aplicando el método Bishop Simplificado que al realizado por el método Morgenstern-Price, esto se evidencia en los ocho taludes analizados.

3.3. Comparar los resultados de la aplicación del método Bishop y Morgenstern-Price en la estabilidad de los taludes.

Tabla 14.

Comparación de características geotécnicas de talud según autor

Caracterización geotécnica del talud	Autor					Promedio
	Ccahuana y Sánchez (2019)	Tarrillo (2018)	Machaca (2019)	Sackschewski (2017)	Cabana (2019)	
Tipo de roca/suelo	Roca sedimentaria	Limonitas - arcillas		Limo arenoso	GC	
Altura (m)					10.75	10.75
Angulo del talud (°)		76.77			46.00	61.39
Talud natural (°)					64.25	64.25
RMR	67.00					67.00
GSI	44.67					44.67
Cohesión (kPa)	15.00	0.46	17.64	6.40	0.13	7.93
Angulo de fricción (°)	27.80	29.21	22.83	29.40	26.26	27.10
Peso específico (kN/m ³)	21.18		18.62	16.74	33.49	22.51
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) (MPa)	98.33					98.33

Fuente: Fuentes de información.

Nota, según la tabla 14, se ha presenta una compilación de datos de manera comparativa respecto a las características geotécnicas de los taludes, siendo en promedio lo siguiente: 10.75 m de altura, 61. 39° de ángulo de talud, 64. 25° de talud natural, 67 de RMR, GSI 44.67, cohesión 7.93kPa, ángulo de fricción interna 27. 10°, peso específico 22.51kN/m³, y compresión uniaxial de 98.33 MPa.

Tabla 15.

Comparación del factor de seguridad según autor

AUTOR	Análisis estático		Análisis Pseudo - estático	
	Método Bishop Simplificado	Morgenstern-Price	Método Bishop Simplificado	Morgenstern-Price
Ccahuana y Sánchez (2019)	1.208	1.218	0.956	0.970
Tarrillo (2018)	1.420	1.617	0.880	1.050
Machaca (2019)	1.281	1.243	0.929	0.895
Sackschewski (2017)	1.298		0.985	
Cabana (2019)	1.453	1.322		
Valor mínimo	1.208	1.218	0.880	0.895
Valor máximo	1.453	1.617	0.985	1.050
PROMEDIO	1.332	1.350	0.937	0.972

Fuente: fuentes de investigación.

Nota, se aprecia en la tabla 15, que el promedio del factor de seguridad para condiciones estáticas es de 1.332 según el método Bishop simplificado, mientras que según el método Morgenstern-Price, fue de 1.350, en condiciones pseudoestáticas el valor promedio del FS fue 0.937 según el método Bishop simplificado, mientras que según el método Morgenstern-Price fue de 0.972.

Tabla 16.

Comparación del factor de seguridad según autor vs Norma CE. 020

AUTOR	Análisis estático				Análisis pseudo-estático			
	NORMA CE.020: F.S min =1.5				NORMA CE.020: F.S min =1.25			
	Método Bishop Simplificado		Morgenstern-Price		Método Bishop Simplificado		Morgenstern-Price	
Ccahuana y Sánchez (2019)	1.208	NC	1.218	NC	0.956	NC	0.970	NC
Tarrillo (2018)	1.420	NC	1.617	C	0.880	NC	1.050	NC
Machaca (2019)	1.281	NC	1.243	NC	0.929	NC	0.895	NC
Sackschewski (2017)	1.298	NC			0.985	NC		
Cabana (2019)	1.453	NC	1.322	NC				
PROMEDIO	1.208	NC	1.218	NC	0.880	NC	0.895	NC

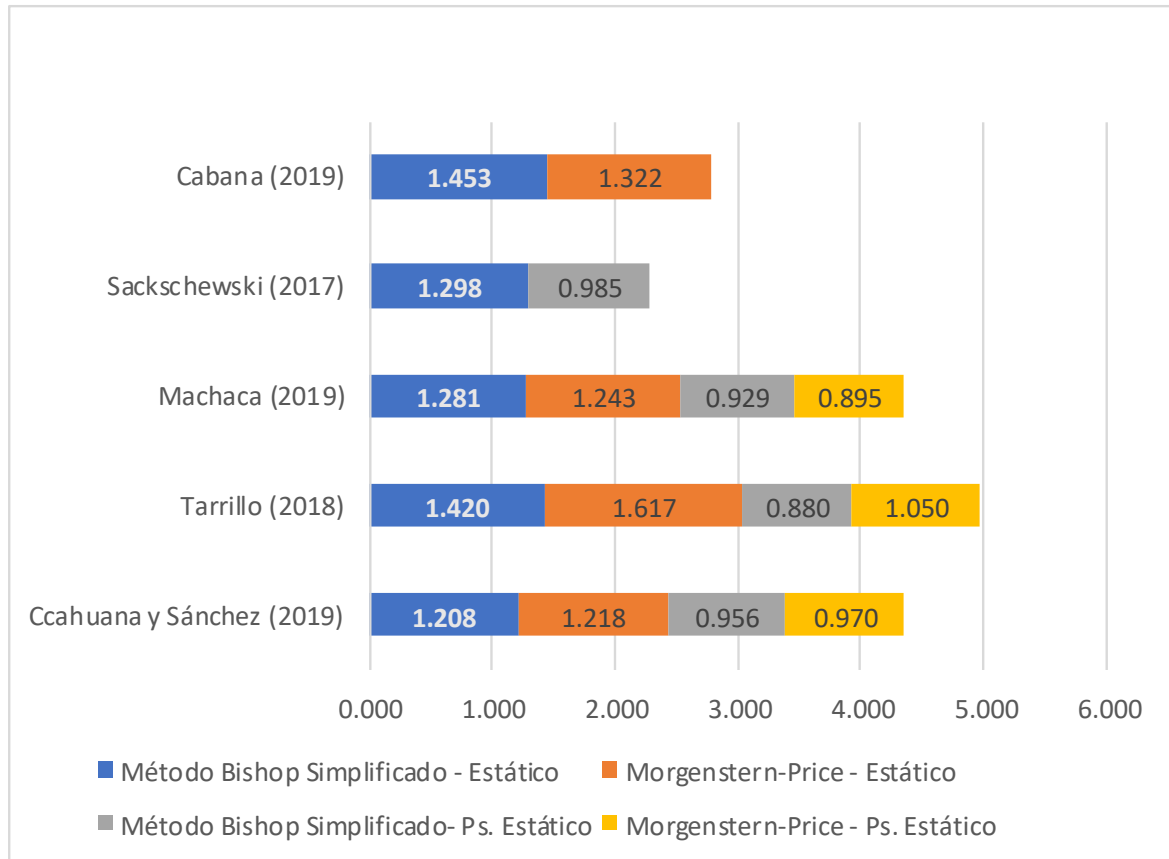
NC = No cumple, C = Cumple

Fuente: fuentes de investigación.

Nota, de acuerdo con la tabla 16, el factor de seguridad promedio obtenido por autor comparado con la Norma EC. 020, ningún valor cumple con lo requerido con la normatividad, la cual estipula que para condiciones estáticas el factor de seguridad debe ser mínimo 1.5 y para condiciones pseudoestático 1.25.

Figura 12.

Comparación del factor de seguridad según autor



Fuente: fuentes de investigación.

Nota, la figura 12, muestra la comparación del factor de seguridad de seguridad según autor, de ello, en condiciones estáticas mediante el método Bishop simplificado el mayor valor es de 1.453 (Cabana, 2019), mediante el método Morgenstern-Price de 1.617 (Tarrillo, 2018). En condiciones pseudoestáticas, mediante el método Bishop simplificado el mayor valor obtuvo Sackschewski (2017), 0.985; mientras que mediante el método Morgenstern-Price el mayor valor fue de 1.05, correspondiente a Tarrillo (2018).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.2. Discusión

En el análisis de estabilidad de taludes es recurrente tomar como base a las condiciones en estado natural del talud, considerando sus características y propiedades que implica. Según las fuentes comparadas y consultadas, se tiene unos resultados, donde se obtiene un promedio; altura de talud de 10.75m, ángulo de talud 61.39° , ángulo del talud natural 64.25° , RMR 67, GSI 44.67, cohesión 7.93 kPa, ángulo de fricción 27.10° , peso específico 22.51 KN/m^3 , resistencia a la compresión uniaxial 98.33 MPa (Tabla 14).

Por ello, es importante tenerlas bien definidas, según Machaca (2019) los parámetros que inciden en la determinación del factor de seguridad son los geotécnicos: peso específico, ángulo de fricción y cohesión; obteniendo como resultado: peso específico promedio de 18.2 gr/cm^3 , un ángulo de fricción de 22.83° y una cohesión de 17.64 kN/m^2 , lo cual indica una unión débil entre las partículas del suelo, conllevando a deslizamientos. Concordado con Tarrillo (2018), los principales factores que afectan al talud son la cohesión y ángulo de fricción tanto del suelo como de roca; en sus resultados presentó que los valores que afectan a la inestabilidad de talud en promedio son: ángulo de fricción 29.21° y una cohesión de 0.52 Kg/cm^2 además de los factores hidrogeológicos, en una pendiente promedio de 76.77° .

Por otro lado, respecto al comparativo de factor de seguridad (Tabla 15) según las fuentes consultadas, en condiciones estáticas se obtuvo según el método Bishop Simplificado un FS de 1.332 y mediante Morgenstern-Price un FS, de 1.350, en condiciones Pseudo estáticas, se obtuvo un F.S promedio de 0.937 con el Método Bishop Simplificado y 0.972 por Morgenstern-Price. Comparando estos resultados con la Norma E.C. 020, donde se establece que el factor de seguridad mínimo para carreteras en condiciones estáticas debe ser 1.5 y en condiciones pseudoestáticas de 1.25; ningún

factor de seguridad analizado según autor cumple con las condiciones de estabilidad,

excepto lo obtenido por Tarrillo (2018) quien obtuvo un F.S. de 1.617 en el análisis estático mediante el método Morgenstern-Price, enmarcando de este modo condiciones estables para el talud evaluado.

Asimismo, la determinación del factor de seguridad es esencial para el análisis de estabilidad de taludes tanto en obras de construcción civil como mineras, cobrando mayor importancia en accesos de transporte, en este sentido Machaca (2019) en su investigación compara los resultados obtenidos de los factores de seguridad en la condición más crítica (saturada con sismo) obtenidos por dos métodos: Bishop Simplificado y Morgenstern-Price, revelando que en el método Bishop Simplificado sus valores de factor de seguridad son mayores a comparación del método Morgenstern-Price, pero en los dos métodos no cumplen con la norma CE. 020, ya que los factores de seguridad mínimo del talud son menores a 1.50 en condiciones estáticas y muy inferiores a 1.25 en condiciones pseudoestáticas. Razón por la cual, es de obligación recurrir y aplicar un método de estabilización. En síntesis, el talud en su estado natural es inestable.

En concordancia con Tarrillo (2018) a medida que el ambiente se deteriora, el factor de seguridad se reduce significativamente. En condiciones húmedas, el factor de seguridad se reduce en un promedio de 40%, mientras que, bajo la acción de cargas sísmicas, el factor de seguridad se reduce en aproximadamente 50% de su valor inicial. Comprobó que las pendientes de la carretera Baños del Inca-Llacanora son inestables, pues en condiciones secas su pendiente es mayor a 1 ($FS > 1$), pero en presencia de agua son inestables y produce una inminente falla en presencia de sismo ($F.S < 1$). Esto hace referencia a que en condiciones estáticas mediante el Método Bishop Simplificado obtuvo un factor de seguridad de 1.420 y mediante Morgenstern-Price 1.617, en

condiciones pseudo-estáticas mediante el Método Bishop Simplificado obtuvo 0.880 y Morgenstern-Price 1.050. Presenta estas características, donde al ser identificado los taludes críticos denominándolos E1, E2, E3 y E4, sus parámetros geotécnicos, en E1 un GSI (índice de fuerza geológica) de 24, E3 un GSI de 22 y E4 un RMR (clasificación de la masa de roca) de 49 así como los valores de cohesión 0.30 kg/cm², 0.47 kg/cm², 0.89 kg/cm², 0.19 kg/cm² respectivamente y un ángulo de fricción de 28.98°, 38.82°, 30.13° y 18.92°. Procesándolo mediante los softwares DIPS, Rocdata, Sweedge y Slide, se calculó el factor de seguridad mediante los métodos de Bishop-simplificado y Morgenstern-Price y un análisis dinámico en caso de sismo. Obteniendo que para condiciones secas los valores del factor de seguridad oscilan entre 1.18 hasta 2.12 siendo todos los taludes estables, pero con presencia de agua fallan los taludes E1, E2, E3 con valores entre 0.72 hasta 1.37 y con acciones dinámicas descienden hasta 0.58 salvo en el talud rocoso E4 que es estable con un factor de seguridad de 1.94.

Para Ccahuana y Sánchez (2019), el factor de seguridad del talud en condiciones secas dado por el método simplificado de Bishop y el método Morgenstern-Price en la carretera Huancavelica - Lircay es un índice para clasificar el talud como estable. De manera similar, la parte crítica de la pendiente modelada para la temporada de lluvias también exhibe inestabilidad en condiciones estáticas y cuasi estáticas. En los resultados de su investigación sobre la parte clave de la pendiente del área inestable, demostró que es estable en condiciones secas. Por tanto, no requiere una solución permanente.

De acuerdo con Sackschewski (2017) para definir la estabilidad de los taludes, se realiza el análisis estático (sin carga sísmica), y el análisis en condición pseudo-estática, en el que es aceptable un factor de seguridad mayor a 1. En sus resultados demostró la necesidad de emplear las medidas correctivas para obtener la estabilidad de los taludes, puesto que el factor de seguridad obtenido mediante método Bishop Simplificado fue

de 1.298 en condiciones estáticas y de 0.985 en condiciones pseudo – estáticas.

Comparado con Cabana (2019), el factor de seguridad en promedio es mayor a 1; por lo tanto, el talud se considera estable.

4.4. Conclusiones

En síntesis, los principales factores que se evalúa en el talud son con la cohesión y ángulo de fricción tanto del suelo como de roca y para la cohesión es muy variada dependiendo del tipo de roca predominante y el grado de erosión que se presenta; según las fuentes consultadas, se concluye que las características geotécnicas de un talud principalmente son: tipo de roca o suelo, altura de talud, ángulo del talud natural, ángulo de talud, RMR, GSI, ángulo de fricción, cohesión, peso específico, resistencia a la compresión uniaxial. En promedio se obtuvo 10.75m, 61.39°, 64.25°, 67, 44.67, 7.93 kPa, 27.10°, 22.51 KN/m³, 98.33 MPa; de altura de talud, ángulo de talud, ángulo del talud natural, RMR, GSI cohesión, ángulo de fricción, peso específico, resistencia a la compresión uniaxial; respectivamente.

Respecto al análisis del factor de seguridad de acuerdo con los estudios revisados, se concluye que en condiciones estáticas según el método Bishop Simplificado, se obtuvo un factor de seguridad de 1.332 y mediante Morgenstern-Price de 1.350; en condiciones Pseudo-estáticas, se obtuvo un factor de seguridad promedio de 0.937 con el Método Bishop Simplificado y 0.972 por Morgenstern-Price; lo cual indica que ningún factor de seguridad analizado cumple con las condiciones de estabilidad requeridas por la Norma E.C.20, excepto lo obtenido por Tarrillo (2018) quien determinó un F.S. de 1.617 en el análisis estático mediante el método Morgenstern-Price, enmarcando de este modo condiciones estables para el talud evaluado.

El análisis comparativo de la aplicación del método Bishop Simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes, conllevó a concluir que sí es posible la determinación de la estabilidad de taludes aplicando dichos métodos, lo cual contribuirá a controlar la estabilidad de la masa rocosa y suelo frente a

la amenaza de deslizamientos y desprendimiento de roca, a su vez de que estos métodos ayudarán a entender de mejor manera los problemas de inestabilidad.

En suma, los taludes rocosos que están más erosionados actúan como suelo y su factor de seguridad es mucho menor que el de uno rocoso no tan fracturado.

Esta investigación debe complementarse con otras investigaciones geotécnicas para tener más información de campo en cada uno de los materiales que conforman el talud.

Se recomienda realizar un seguimiento de la estabilidad del talud a través de controles topográficos para evaluar posibles desplazamientos o generación de planos de falla, además se recomienda efectuar estudios hidrológicos, especialmente en temporadas de lluvia.

Se recomienda realizar un seguimiento de la estabilidad del talud a través de controles topográficos para evaluar posibles desplazamientos o generación de planos de falla, además se recomienda efectuar estudios hidrológicos, especialmente en temporadas de lluvia.

Se recomienda evaluar con mayor detalle los fenómenos de geodinámica externa y las condiciones de los macizos rocosos a lo largo de una determinada vía, puesto que muchas veces en el diseño de una carretera no se toma en cuenta la orientación de las discontinuidades de los mismos, generándose problemas de derrumbes, interrupciones del tránsito y retrasos durante la ejecución de la obra.

Se sugiere a las empresas proyectistas, evitar en lo posible diseñar carreteras con zonas de suelos residuales muy altos, lo que implica un mayor riesgo y amenaza en su posterior ejecución.

Las limitaciones son algunas tesis que no evalúan bien sus datos (índice de fuerzas y la clasificación de la masa de roca); el ángulo de fricción, cohesión y muchos de ellos se quedan con lo teórico y no son aplicados directamente en campo.

REFERENCIAS

- Arteaga, N. (2017). *Análisis Geológico - Geotécnico en los Taludes de la Carretera Choropampa - Magdalena*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Ávila, R. (2017). *Análisis sísmico - dinámico en taludes para aseguramiento de estructuras de irrigación Sangallaya – Huarochirí – Región Lima 2017*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Ayala, S. J. (2017). *Análisis de los taludes de la carretera Yauyucán - Cruce Conejo Tranca (km 0+000 – km 6+635), y alternativas de solución Dto. Yauyucán – Prov. Santa Cruz – Dpto. Cajamarca*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Bishop, A. W. (1955). *The use of slip circle in the stability analysis of slopes*. London: Geotechnique.
- Cabana, O. (2019). *Evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes desde la progresiva km. 09+000 – 18+000 de la obra: mejoramiento de la carretera tramo I Dv. Cara Cara – Lampa*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú.
- Ccahuana, S.Y. & Sánchez, J.R. (2019). *Análisis de estabilidad de talud mediante métodos de equilibrio límite para la carretera Huancavelica – Lircay entre las progresivas del Km 02+700 AL Km 02+800*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.
- Chávez, R.M. (2020). *Análisis de estabilidad de talud en areniscas mediante el método empírico Hazard index, cinemático y equilibrio límite en la carretera Tarapoto – Yurimaguas*. (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima-Perú.
- Dixon, P.C., Tisseyre, M., Damavandi, M. & Pearsal, D.J. (2011). *Inter-segment foot kinematics during cross-slope running*. *Gait & posture*, 33(4), 640-644. Doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.02.010
- Escobar, L., & Valencia, Y. (2012). *Analysis and probability of failure of two tropical soil slope of Highway Medellin - Bogotá in the stretch of road between Marinilla and*

Santuario. Boletín de ciencias de la tierra, 75 - 81. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302012000100004

- Estaire, J., & Olivenza, G. (2013). *Factores de seguridad en la estabilidad de taludes de acuerdo con el Euro código Ec-7 y el Anejo Nacional Español*. VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, 269 - 280. Recuperado de http://oa.upm.es/29893/1/INVE_MEM_2013_167047.pdf
- Flores, D.P. (2015). *Análisis comparativo de la aplicación de los métodos indirectos que determinan la estabilidad de taludes en la presa Malcomayo*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú.
- Gschwind, S., Loew, S. & Wolter, A. (2019). *Multi-stage structural and kinematic analysis of a retrogressive rock slope instability complex*. (Preonzo, Switzerland). *Engineering Geology*, 252, 27-42. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.02.018>
- He, Y., Liu, Y., Zhang, Y. & Yuan, R. (2019). *Stability assessment of three-dimensional slopes with cracks*. *Engineering Geology*, 252, 136-144. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.03.001>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México. McGraw-HILL.
- Hidalgo, C. y Assis, A. (2011). *Evaluación de la incertidumbre en el análisis de estabilidad de un talud excavado en suelos residuales*. 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/294874209_EVALUACION_DE_LA_INCERTIDUMBRE_EN_EL_ANALISIS_DE_ESTABILIDAD_DE_UN_TALUD_EXCAVADO_EN_SUELOS_RESIDUALES#references
- Huamán, R. (2017). *Geotecnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba - Cungunday, Cajamarca, Cajabamba*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería.

- Li, C., Jiang, P. & Zhou, A. (2019). *Rigorous solution of slope stability under seismic action*. Computers and Geotechnics, 109, 99-107. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.01.018>
- Machaca, Y.N. (2019). *Análisis comparativo entre los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price aplicado al talud del tramo km 3+00 al km 5+00 de la carretera Puno Moquegua de la región de Puno en el 2017*. (Tesis de grado). Universidad Andina, Juliaca – Perú.
- Mamani, R. (2016). *Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina Yanahuaya Tramo III - Sub Tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Montoya, F. R. (2014). *Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca-El Gavilán*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Morgenstern, N.R. & Price, V.E. (1965). *The analysis of the stability of general Slip Surfaces*. London: Geotechnique.
- Norma EC. 020 (9 de noviembre de 2012). *Estabilización de suelos y taludes*. El Peruano. Recuperado de: https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/017-2012-CE020.pdf
- Núñez, N. A. (2018). *Riesgo sísmico en la estabilidad de taludes de la comunidad urbana autogestionaria de Huaycén Zona “S” y “X” 2018*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Ochoa, L. (2016). *Inestabilidad de taludes en el sector de Santa Bárbara de la Ciudad De Huancavelica*. Universidad Peruana los Andes, Huancayo, Perú.
- Par, H.J., Lee, J. H., Kim, K.M, & Um, J.G. (2016). *Assessment of rock slope stability using GIS-based probabilistic kinematic analysis*. *Engineering Geology*, 203, 56-69. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.08.021>

- Pei, H., Zhang, S., Borana, L., Zhao, Y. & Yin, J. (2019). *Slope Stability Analysis Based on Real-time Displacement Measurements. Measurement*, 131, 686-693. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.019>
- Sackschewski, C.E. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.
- Siddique, T., Alam, M.M, Mondal, M.E. & Vishal, V. (2015). *Slope mass rating and kinematic analysis of slopes along the national highway-58 near Jonk, Rishikesh, India*. *Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(5), 600-606. Doi: 10.1016/j.jrmge.2015.06.007
- Suárez (s.f.). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*. Capítulo 4. Análisis de Estabilidad.
- Tarrillo (2018). *Grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca – Llacanora*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3149>
- Tang, G., Huang, J., Sheng, D. & Sloan, W. S. (2018). *Stability analysis of unsaturated soil slopes under random rainfall patterns. Engineering Geology*, 245, 322-332. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.09.013>
- Nelson, C.H y Maldonado, A. (2010). *The Ebro margin study, northwestern Mediterranean Sea — an introduction. Marine Geology*, 95, 157-163. Doi: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(90\)90113-X](https://doi.org/10.1016/0025-3227(90)90113-X)
- Kumar, T. (2019). *Plane failure in rock slopes – A review on stability analysis techniques. King Saud University – Science*, 31(1), 1-14. Doi: 10.1016/j.jksus.2017.06.004
- Valiente, R., Sobrecases, S. y Díaz, A. (2015). *Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Revista Civilizate*, (7), 50-54. Recuperado de: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/viewFile/16157/16579>

- Valeriano, F. A. (2015). *Caracterización geotécnica y modos de falla estructural en el talud en roca del cerro Espinal Juliaca*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno- Perú.
- Villanueva, E. (2018). *Evaluación geotécnica para analizar la inestabilidad de los taludes en la carretera de los km. 128 a km. 140 de la carretera Cajamarca – Ciudad De Dios, Distrito De San Juan, Provincia y Departamento De Cajamarca*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Zanhueza, C., & Rodriguez, L. (2012). *Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales*. Revista de la Construcción, 12(1), 17 - 29. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100003>
- Zheng, H., Li, T., Shen, J., Xu, C., Sun, H. & Lu, Q. (2018). *The effects of blast damage zone thickness on rock slope stability*. *Engineering Geology*, 246, 19-27. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.09.021>

ANEXOS

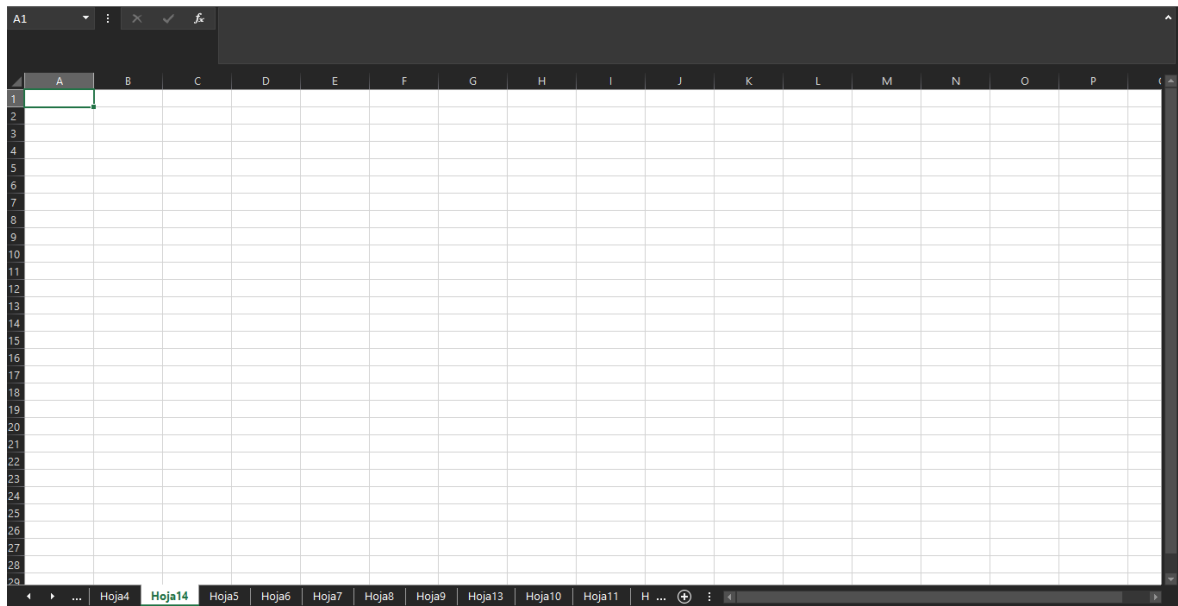
Anexo 1. Fichas de organización de información.

N°	Título	Año de publicación	País	Recolección	Referencias
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Anexo 2. Tablas para comparación de características geotécnicas de talud según autor

Caracterización geotécnica del talud	Autor	Prome dio
---	--------------	----------------------

Anexo 4. Hojas de cálculo de Microsoft Excel



Anexo 4. Norma CE. 020 - ICG

NORMA CE.020

SUELOS Y TALUDES

1. GENERALIDADES

Los suelos con poca capacidad de carga o susceptibles a los asentamientos, requieren ser estabilizados, ya sea cuando se realizan excavaciones o cuando se alteran las condiciones de equilibrio de los taludes, puesto que se produce inestabilidad, poniendo en riesgo la vida humana, los bienes materiales y el ambiente.

2. OBJETIVO

Establecer las consideraciones técnicas mínimas, para el mejoramiento requerido de la resistencia de los suelos y de la estabilidad de taludes, mediante métodos químicos, mecánicos o de modificación topográfica.

3. CAMPO DE APLICACION

La presente norma es obligatoria para todo el territorio nacional. Se exige su aplicación a todos los Estudios de Estabilización de Suelos y Taludes para las obras de ingeniería civil.

La presente norma considera exigencias mínimas, sin ser limitativo para los estudios de evaluación y mitigación de los riesgos de deslizamientos de laderas o taludes brindando un enfoque ambiental orientado a la Gestión de Riesgos.

7.1.1 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD DE UN TALUD

Para evaluar la condición de estabilidad del talud el Profesional Responsable incluirá el desarrollo de los siguientes criterios de evaluación:

- La mecánica de suelos.
- El comportamiento geodinámico del área.
- El flujo de agua.
- La geometría del talud y
- La topografía del entorno.

El Profesional Responsable deberá evaluar la condición de estabilidad del talud para solicitaciones estáticas y sísmicas. El factor de seguridad mínimo del talud deberá ser 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas. Si estos factores de seguridad no son cumplidos, el Profesional Responsable deberá seleccionar un método de estabilización o la combinación de varios métodos de estabilización y probarlos hasta que la solución propuesta alcance la aprobación de ambos factores de seguridad. La solución de forma complementaria, pero necesaria, deberá prever protección adecuada de la superficie del talud contra la erosión.