

ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESAS DE TIERRA BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE CARGA CON SUELOS NO SATURADOS

Isaida Flores Berenguer¹, Beatriz Burgos Perodín², Jenny García Tristá³, Yoermes González Haramboure⁴

¹ Ingeniera Civil, Máster en Ciencias, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: isaidafb@civil.cujae.edu.cu

² Ingeniera Civil, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: beatrizbp1995@gmail.com

³ Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: jenny@civil.cujae.edu.cu

⁴ Ingeniero Hidráulico, Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, # 11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: yoermes@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

La presente investigación analiza la variación del factor de seguridad en presas de tierra a partir de la geometría de una presa existente en Cuba, considerando las leyes de la mecánica de suelos parcialmente saturados bajo diferentes estados de carga. Se muestra como caso de estudio la sección transversal de la presa Herradura, con 23,7 metros de altura de cortina y prisma de drenaje. Se define la línea de corriente superior a partir de diversos datos de piezometría realizados a dicha presa. La implementación de los suelos parcialmente saturados se realiza a partir de la inclusión de la curva característica de los suelos de estudio. La modelación se efectúa en el programa GeoStudio 2012 para obtener los factores de seguridad utilizando los métodos de Bishop y Morgenstern-Price. A partir de considerar tres estados de carga: operación, final de construcción y desembalse rápido, en estado saturado y parcialmente saturado. Se obtuvo que la incorporación de los suelos parcialmente saturados es significativa en el análisis de la estabilidad de taludes para los diversos estados de carga a los que están sometidas las presas de tierra.

Palabras claves: estabilidad de talud, estados de carga, presas de tierra, suelo parcialmente saturado.

STABILITY OF SLOPES IN EARTH DAMS UNDER VARIOUS LOADING CONDITIONS WITH UNSATURATED SOILS

ABSTRACT

The present investigation analyzes the variation of the safety factor in earth dams based on the geometry of an existing dam in Cuba, considering the laws of soil mechanics partially saturated under different load states. The cross section of the Herradura dam, with 23.7 meters of curtain height and drainage prism, is shown as a case study. The upper current line is defined from various piezometry data made to said dam. The implementation of partially saturated soils is carried out based on the inclusion of the characteristic curve of the study soils. The modeling is done in the GeoStudio 2012 program to obtain the safety factors using the Bishop and Morgenstern-Price methods. From considering three load states: operation, end of construction and rapid dewatering, in saturated and partially saturated state, it is expected to obtain for which loading condition the influence of the partially saturated analysis is more significant.

Keywords: earth dams, loading states, partially saturated soil slope stability.

Nota Editorial: Recibido: julio 2019; Aceptado: diciembre 2019

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos son el eslabón principal de la mayoría de los proyectos de construcción. Pueden ser utilizados en su estado natural o ser excavados y tratados para adecuar sus propiedades a las del proyecto. La mecánica de suelos estudia los suelos saturados y los suelos parcialmente saturados; estos últimos han sido los menos estudiados en Cuba, condición que ha cambiado en los últimos años. En el análisis de la estabilidad de taludes

en presas de tierra y terraplenes de carretera diversos autores [1–3] han planteado la implementación eficaz de las leyes de la mecánica de suelos parcialmente saturados.

La Mecánica de Suelos se desarrolló inicialmente para estudiar los suelos saturados. Estos estudios han sido abundantes, principalmente en los países desarrollados y de clima húmedo donde los espacios vacíos entre partículas se encuentran llenos de agua, proveniente de lluvias, nieve, granizo, humedad atmosférica, entre otros fenómenos. Se considera que el suelo está en estado saturado, cuando contiene solamente dos fases: la sólida y la líquida. Las limitaciones de la mecánica de suelos tradicional son evidentes cuando se necesita explicar las deformaciones en suelos no saturados o de las estructuras apoyadas en esos suelos (pavimentos, taludes, cimentaciones entre otros) sujetos a cargas de servicio o en los estados de tensiones totales presentes in situ [4–6].

Teniendo en cuenta su origen, los suelos parcialmente saturados pueden ser naturales o artificiales, dentro de los suelos artificiales se encuentran los suelos compactados, extensamente utilizados en obras de tierra (presas, terraplenes, etc.), que debido a su naturaleza son suelos parcialmente saturados [7]. La succión está relacionada con las fuerzas adicionales que surgen de la interacción entre las fases sólida, líquida y gaseosa de un suelo parcialmente saturado. La variación de los valores de estas fuerzas puede darse por el cambio del clima de las estaciones del año, la influencia de las construcciones del entorno, la presencia de nivel freático a cierta profundidad, la acción del sol sobre éste, la existencia o no de vegetación, entre otros.

Un suelo parcialmente saturado tiene la tendencia a recibir agua y aumentar su grado de saturación, si el suelo tiene determinado grado de saturación se requiere cierta fuerza para remover el agua del espacio poroso y disminuir el grado de saturación del suelo, estos efectos se pueden explicar mediante la succión, la cual consiste de dos partes, la capilar y la adsorbente. La parte capilar depende de la distribución y tamaño de poro; la parte adsorbente está en función de la composición mineralógica de la parte sólida así como también de la composición química del líquido [7].

La curva característica también se conoce como: curva de succión, relación succión-agua o curva de retención de humedad del suelo. La preferencia de usar el término curva característica se debe a que este término describe a través de una curva las propiedades del comportamiento del suelo, determinando el contenido de agua. La curva característica del suelo es una relación entre la cantidad de agua en el suelo y la succión. La cantidad de agua en el suelo generalmente se cuantifica en términos de humedad gravimétrica, grado de saturación o humedad volumétrica [8].

Las presas de tierra se han utilizado desde la antigüedad con el objetivo de contener agua para beneficiar la agricultura, suplir las necesidades de la población y evitar las crecidas por inundaciones de los ríos; actualmente presentan una serie aun mayor de beneficios, debido a la implementación de las hidroeléctricas y su utilización como forma de energía no contaminante. Para establecer el diseño y construcción de una presa, es necesario considerar factores económicos imprescindibles, así como el alcance social y el objetivo que satisfará la misma. También es necesario valorar las pérdidas que supondría la destrucción de la obra, tanto económicamente como en vidas humanas. En Cuba no se han construido presas de categoría I y la mayoría de las presas corresponden a la categoría III, cuya altura de cortina oscila de 20 metros hasta 50 metros. El objetivo del drenaje es controlar la evacuación del flujo de filtración y reducir el volumen del material saturado en la presa, con lo cual se aumenta la estabilidad. El dren debe diseñarse y construirse con garantía de que no se ocluya y continúe su trabajo durante la vida útil de la presa [9].

Según Armas y Horta [9] los deslizamientos ocurridos en presas de tierra pueden agruparse en tres categorías de acuerdo al momento de ocurrencia del mismo: deslizamientos durante la construcción, deslizamiento del talud aguas abajo durante la operación, deslizamiento del talud aguas arriba luego de un desembalse rápido. Para determinar la estabilidad de los taludes los métodos de equilibrio límite son los más utilizados en la práctica porque son más simples de realizar manualmente. Este método establece que la rotura del terreno se produce a través de una superficie de rotura, interpretándose que la masa del terreno por encima de esa superficie se desplaza respecto a la masa inferior, ocurriendo, así, la rotura del terreno. [9]

Según Sanhueza y Rodríguez [10] el factor de seguridad, expresa la reducción de la resistencia a cortante del suelo para que se produzca el deslizamiento a lo largo de la superficie de falla, y que representa la determinación cuantitativa del índice de riesgo de que esta ocurra.

En el presente artículo se analiza un caso de estudio considerando la sección transversal de la cortina de la presa de tierra Herradura, que se encuentra en la provincia cubana de Pinar del Río, la cual es una presa homogénea, en la que ocurrió un deslizamiento del talud aguas abajo debido al mal funcionamiento de los canales de drenaje y además está instrumentada con piezómetros, aunque los datos de los suelos que la conforman no están definidos de forma explícita, sino referidos solamente como una arcilla y una arena arcillosa, y no fue posible recolectar muestras para realizar los ensayos correspondientes a diferentes

profundidades, por lo cual se plantea el trabajo con dos suelos de características conocidas, previamente ensayados en los laboratorios y que presentan la misma clasificación que los referidos en los informes ingeniero geológicos de la presa analizada. Se utilizan las herramientas SIGMA/W SLOPE/W del paquete de programas que contiene el GeoStudio 2012.

2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

Resolver problemas complejos de ingeniería ha requerido la simplificación de los mismos, a partir de la incorporación de modelos físicos y computacionales, para lo cual resultó necesario conocer la sección transversal real de la cortina y la cimentación de la presa homogénea Herradura.

Para definir los niveles de agua en cada caso se utilizan los criterios planteados por Armas y Horta [9], y los valores definitivos se muestran en la tabla 1. Los modelos finales aparecen en las figuras 1-3.

Tabla 1: Características geométricas del modelo

Tipo de análisis	Pendiente aguas arriba	Pendiente aguas abajo	Nivel de aguas (m)
Operación	1:2,5	1:2,5	20,00
Final de la construcción	1:2,5	1:2,5	4,74
Desembalse rápido	1:2,5	1:2,5	N ₁ =20,00
			N ₂ =11,30

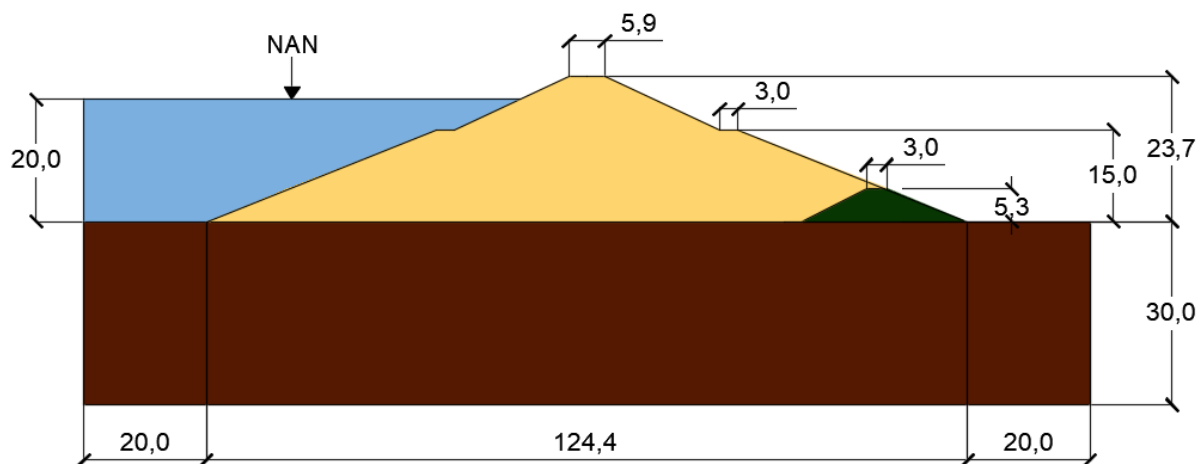


Figura 1: Modelo del estado de carga de operación (todas las unidades en metros)

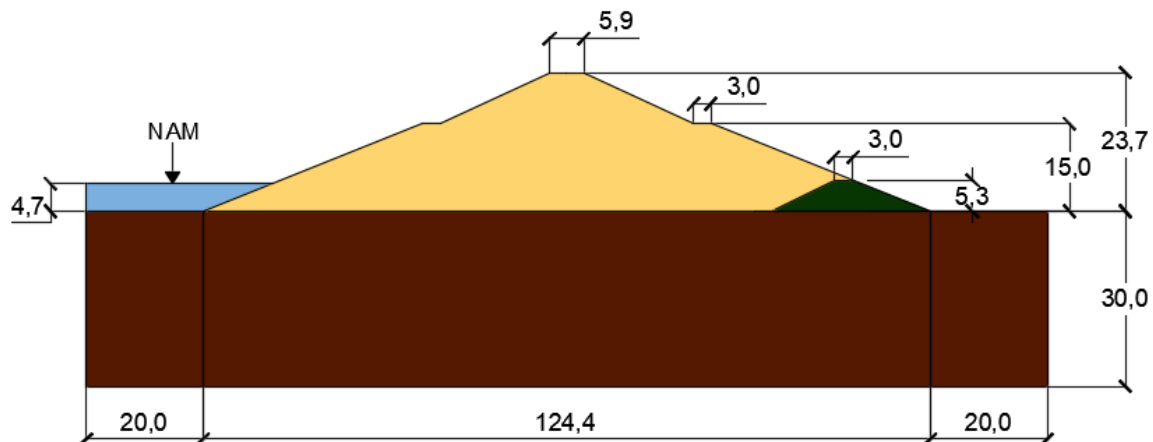


Figura 2: Modelo del estado de carga de final de construcción (todas las unidades en metros)

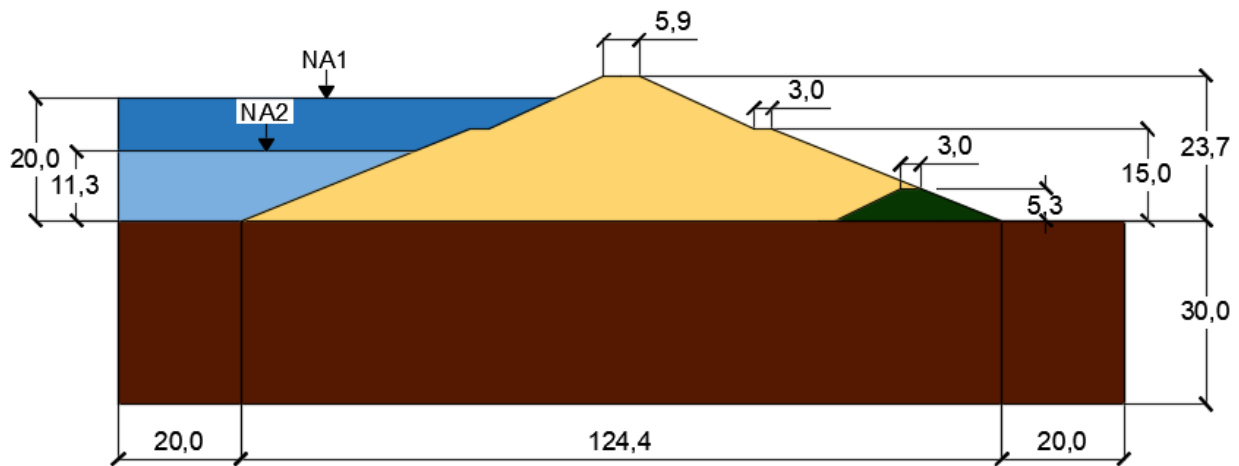


Figura 3: Modelo del estado de carga de desembalse rápido (todas las unidades en metros)

Una vez presentada la geometría del modelo, es necesario definir los parámetros físicos y mecánicos de los materiales que conformarán la cortina y la cimentación de la presa, mostrados en la tabla 2.

Tabla 2: Datos de los suelos de la cortina y la cimentación de la presa.

Suelo	Peso específico húmedo (γ_f)	Cohesión efectiva (c')	Fricción efectiva (ϕ')	Módulo de elasticidad efectivo (E')	Clasificación del suelo (método SUCS)
Cortina	14,80 kN/m ³	3,4 kPa	33,4°	20 000 kPa	CH - arcilla de alta compresibilidad
Cimentación	17,21 kN/m ³	-	47°	120 000 kPa	SC – arena arcillosa con grava

Para el prisma de drenaje se definió un material tipo grava arenosa con una alta permeabilidad, cuyas características se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Datos del suelo del drenaje de la presa.

Peso específico húmedo (γ_f)	21 kN/m ³
Cohesión (c)	-
Fricción interna (ϕ)	48°

Para la realización del ensayo de succión se utilizó la norma ASTM-D5298 [11] donde se describen los procedimientos de medición de la succión del suelo utilizando el método del papel de filtro. En la figura 4 se muestra la curva característica para el suelo que conforma la cortina de la presa.

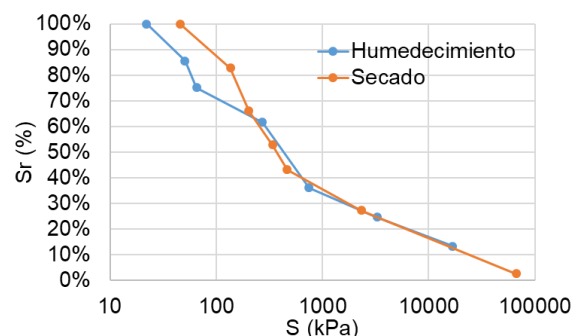


Figura 4: Curva característica del suelo de la cortina de la presa.

3. MODELACIÓN Y ANÁLISIS

El factor de seguridad se obtiene para cada estado de carga por los métodos de Bishop simplificado y de Morgenstern-Price, con el objetivo de establecer una comparación entre los tres estados de carga y entre ambos métodos.

El método de Bishop simplificado asume que las fuerzas producidas entre dovelas son horizontales, por lo que no se tienen en cuenta las fuerzas de cortante, aplicando este criterio para fallas circulares teniendo en cuenta que $\beta = 0$, como se muestra en la ecuación (1).

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c \times b + W_n \times \tan(\phi)] \times \frac{1}{\cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) \times \sec(\alpha_n)}{FS}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \times \sec(\alpha_n)} \quad (1)$$

Donde c es el valor de la cohesión en la masa de suelo, b es el ancho de la dovela, W_n es el peso resultante de la dovela, ϕ es el valor del ángulo de fricción de la masa de suelo, α_n es la inclinación de la base de la dovela la respecto a la horizontal, FS es el factor de seguridad para la superficie de deslizamiento, el cual se encuentra en ambos miembros de la ecuación, para obtener su resultado es necesario realizar un proceso iterativo.

El método de Morgenstern-Price satisface todas las ecuaciones de equilibrio y puede aplicarse a cualquier forma de superficie de deslizamiento, por lo que no es posible aplicar el cálculo de forma manual. En este caso se asume la existencia de una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas, como se muestra en la ecuación (2).

$$X = \lambda f(x)E \quad (2)$$

Donde X, E son las fuerzas de interconexión relacionadas entre sí y λ es el factor de escala.

La función $f(x)$ se selecciona arbitrariamente y tiene poca influencia sobre el resultado. La particularidad del método es que la masa se subdivide en dovelas infinitésimas, a las cuales se imponen las ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical y de rotura en la base de las dovelas mismas. A partir de este punto se obtiene la ecuación (3), que muestra las fuerzas actuantes.

$$c' \left(\sec^2 \frac{\alpha}{FS} \right) + \tan \phi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \tan \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \frac{dE}{dx} - \tan \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right) \quad (3)$$

Donde FS es el factor de seguridad, dW es el peso de la franja infinitésima, dU son las presiones neutras en la base, c' es la cohesión efectiva, ϕ' es el ángulo de fricción interna efectivo y α es la inclinación de la base de la dovela respecto a la horizontal.

Se escribe la ecuación (4), imponiendo una restricción de la rotación con respecto a la base:

$$X = \frac{d(E\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx} \quad (4)$$

Ambas ecuaciones se extienden a toda la masa implicada en el deslizamiento. Este método satisface todas las ecuaciones de equilibrio y puede aplicarse a cualquier superficie de deslizamiento.

El análisis del estado de carga durante la operación se realiza en el momento que, luego que se han disipado las presiones de poro de consolidación del proceso constructivo, y la presa presenta el nivel de aguas normales, se forma la red de flujo. El análisis para este caso se realiza en el talud aguas abajo y los resultados obtenidos son en tensiones efectivas.

Para el estudio al final de la construcción se considera que existen dos posibilidades de fallo: la primera se produce en suelos cuyo grado de saturación sea superior al 85% y cuyos coeficientes de consolidación sean superiores a 1×10^7 cm²/año, en estos casos el peso propio de la cortina produce presiones de poros en el cuerpo del talud y la cimentación que no se disipan totalmente en el periodo constructivo, utilizándose parámetros de diseño en tensiones totales; para estos casos se considera el suelo de la cortina en estado húmedo y el de la cimentación en estado sumergido. La segunda posibilidad de fallo se produce en los suelos con grado de saturación inferior al 85% y coeficientes de consolidación menores que 1×10^7 cm²/año, en estos casos el agua que penetra en el cuerpo del talud produce una descarga en el pie del talud que puede dar lugar al deslizamiento, por lo que para comprobar el fallo se recomienda considerar una altura de agua de 0,2 veces la altura de la cortina de la presa, que es el caso analizado en esta investigación.

Durante un desembalse rápido se analiza el descenso brusco del nivel del agua por debajo del nivel de aguas normales, lo que provoca que en el interior del terraplén el agua mantenga aproximadamente el mismo nivel de operación durante cierto tiempo, posterior a la caída abrupta del nivel de agua que contiene la presa, esto se debe a que los materiales de la cortina son altamente impermeables. Para este análisis se estudia el talud

aguas arriba que es en el cual se ven los efectos de este proceso, con parámetros en tensiones efectivas.

Según lo planteado por Armas y Horta [9] para el análisis de estabilidad de taludes por estados de carga, en una presa de categoría III, como es el caso de la presa Herradura, el factor de seguridad mínimo, debe considerarse en el rango 1.10-1.20.

En el trabajo con la herramienta SIGMA/W, se plantea el análisis por etapas de cada modelo, planteando primeramente sólo la cimentación y posteriormente la cortina de la presa, para reducir los asentamientos totales y simular con mayor precisión el proceso constructivo de estas estructuras.

En el SLOPE/W se calcula el factor de seguridad por los métodos de Bishop y Morgenstern-Price para el estado saturado y parcialmente saturado, en este último se incluyen ambas ramas de la curva característica del suelo, tanto la rama en secado como la rama en humedecimiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizada la modelación de los tres estados de carga considerando el suelo de la cortina en estado saturado y parcialmente saturado, es posible mostrar los resultados que aparecen en las figuras 5-7.

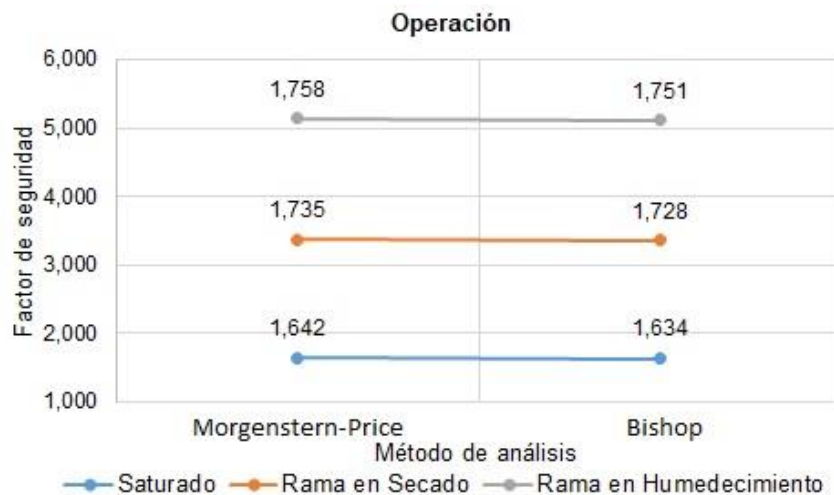


Figura 5: Factores de seguridad para el estado de operación.

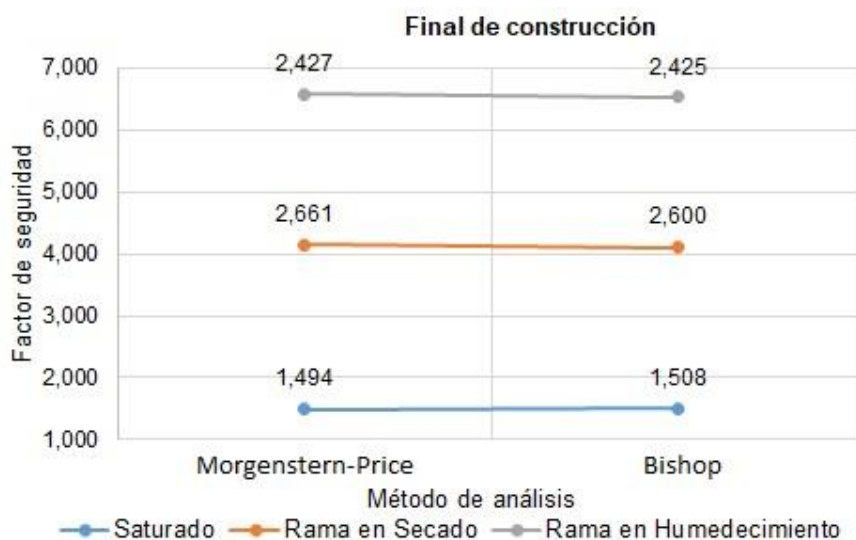


Figura 6: Factores de seguridad para el estado de final de la construcción.

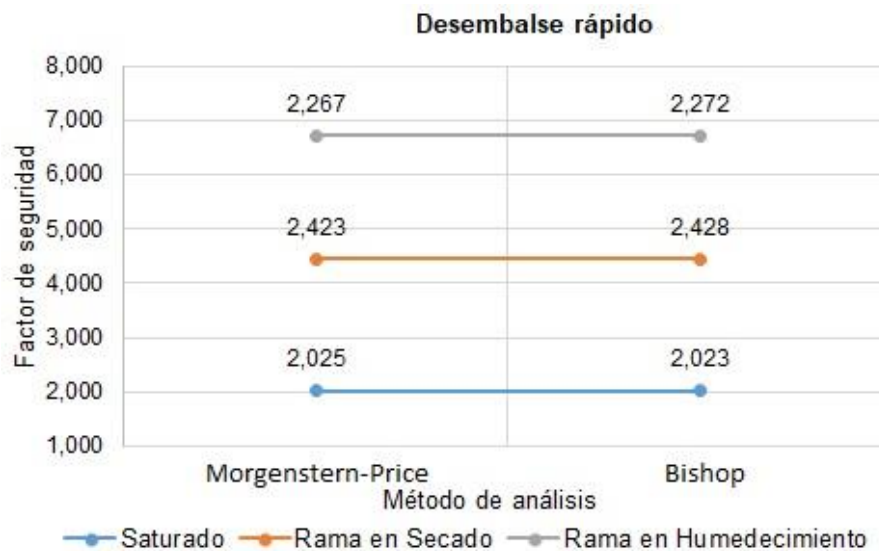


Figura 7: Factores de seguridad para el estado de desembalse rápido.

Como se observa en las figuras anteriores, la variación de los resultados obtenidos en función del método de cálculo empleado es más estable para el caso del estado de operación, donde los mayores factores de seguridad en todos los casos se obtienen por el método de Morgenstern-Price.

Para el final de la construcción, las variaciones resultan más inestables, por lo que no puede definirse entre ambos un único método donde los factores de seguridad sean mayores. En desembalse rápido ocurre un efecto similar, las variaciones no son estables, pero se aprecia una mayor influencia del método de Bishop, para el que se obtienen los mayores factores de seguridad. En todos los casos se observan variaciones porcentuales inferiores al 5%, por lo que ambos métodos presentan resultados similares desde el punto de vista ingenieril, como se muestra en la figura 8.

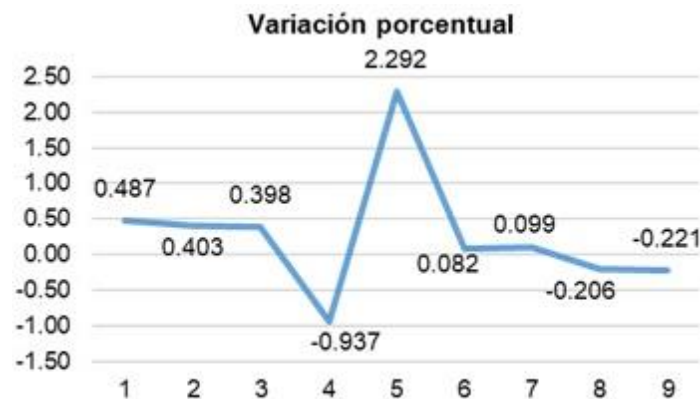


Figura 8: Variación porcentual de los factores de seguridad entre ambos métodos de cálculo.

Para analizar las variaciones entre los factores de seguridad en cada estado de carga y en función de la saturación del suelo, por ambos métodos, se presentan las figuras 9-11.

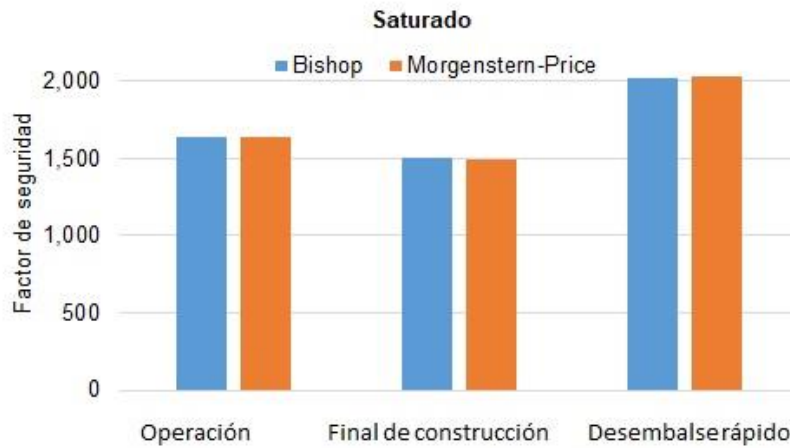


Figura 9: Factores de seguridad en estado saturado.

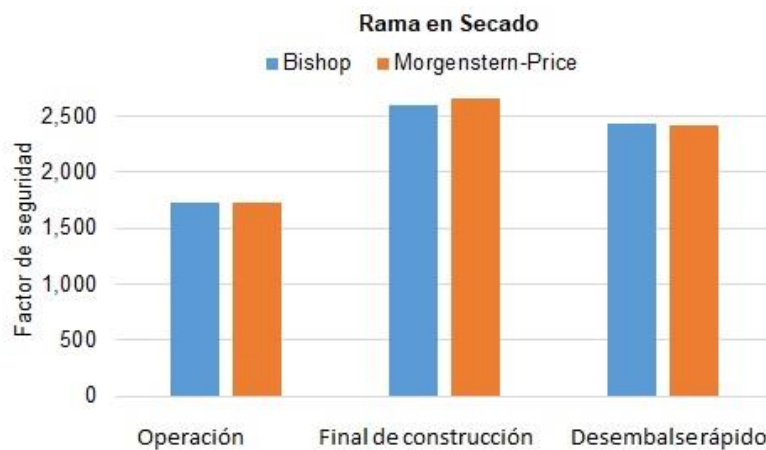


Figura 10: Factores de seguridad en estado parcialmente saturado con la rama en secado.

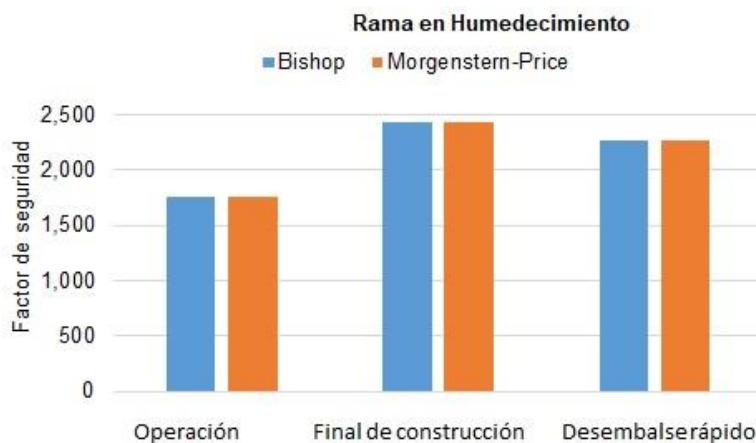


Figura 11: Factores de seguridad en estado parcialmente saturado con la rama en humedecimiento.

Como se observa en las figuras anteriores, al considerar el suelo saturado los mayores factores de seguridad se obtienen para el estado de desembalse rápido, que presenta un incremento de 18,91% para Bishop y de 19,23% para Morgenstern-Price respecto al estado de operación y de 26,22% para Bishop y de 25,46% para

Morgenstern-Price respecto al final de la construcción. Si el suelo está parcialmente saturado, los mayores valores son los correspondientes al final de la construcción para ambas ramas de la curva característica, los incrementos porcentuales en cada caso, respecto al estado de final de la construcción se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Incremento porcentual del factor de seguridad al final de la construcción respecto a los estados de operación y desembalse rápido.

Estados de carga			Incremento porcentual (%)	
			Morgestern-Price	Bishop
1	Operación	Rama en Secado	34,8	33,5
		Rama en Humedecimiento	27,6	27,8
3	Desembalse rápido	Rama en Secado	8,9	6,6
		Rama en Humedecimiento	6,6	6,3

Como se observa en los resultados anteriores, la influencia del estado parcialmente saturado es más notoria en el cálculo del factor de seguridad para los estados de final de la construcción y desembalse rápido, no siendo así para el estado de operación.

Al analizar los tres estados de carga y calcular los incrementos porcentuales de los factores de seguridad para cada uno de ellos, respecto al suelo saturado en cada caso, se observa que la menor influencia existe para el estado de operación, estos resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Incremento porcentual del factor de seguridad del suelo parcialmente saturado respecto al suelo saturado.

Estados de carga			Incremento porcentual (%)	
			Morgestern-Price	Bishop
1	Operación	Rama en Secado	5,4	5,4
		Rama en Humedecimiento	6,6	6,7
2	Final de la construcción	Rama en Secado	43,9	42,0
		Rama en Humedecimiento	38,4	37,8
3	Desembalse rápido	Rama en Secado	16,4	16,7
		Rama en Humedecimiento	10,7	11,0

La mayor influencia de análisis con el suelo parcialmente saturado se aprecia en el estado de final de la construcción y de desembalse rápido, siendo superior para la curva en secado. En el caso de carga en operación, aunque el incremento es superior al 5%, es mucho menor que en los casos anteriores.

5. CONCLUSIONES

No existe diferencia ingenieril significativa (mayor del 5%) para el análisis del factor de seguridad entre los métodos de cálculo de Bishop y Morgenstern-Price, y la influencia de uno u otro varía en función del estado de carga analizado, sin importar si el suelo se encuentra en estado saturado o parcialmente saturado. La incorporación de las leyes de la Mecánica de Suelos parcialmente saturados es significativa en el análisis de la estabilidad de taludes en el caso de estudio, dado que existen incrementos del factor de seguridad de más del 5% en todos los casos. El análisis del estado de carga de operación resulta el menos influyente al calcular los factores de seguridad considerando al suelo en estado parcialmente saturado, puesto que se obtienen los menores incrementos del factor de seguridad. Los estados de carga donde resulta más apreciable el incremento del factor de seguridad con el suelo parcialmente saturado es en el de final de la construcción y desembalse rápido, donde se aprecia que los menores valores se obtienen para la rama en humedecimiento de la curva característica del suelo, lo que significa que el suelo tiene un comportamiento más desfavorable cuando se humedece que cuando se seca para todos los casos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. G. Tristá, G. Quevedo, and W. Cobelo, "Relación entre tiempo de consolidación y permeabilidad no saturada en presas de tierra," *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. XXXVII, no. 2, pp. 94–107, 2016.
- [2] M. Á. González, L. Á. Gil, and R. V. Rodríguez, "Evaluación de riesgos y modelación de soluciones técnicas para filtraciones en presas de tierra," *Enfoque UTE*, vol. 8, pp. 26–36, 2017.
- [3] H. E. Galeana Rivera, O. Chávez Alegría, E. J. Ventura Ramos, and F. N. Ortega Rojas, "Análisis de un deslizamiento en ladera formada por suelos residuales en la microcuenca El Ventilador, Anganguero, Michoacán, México." p. 10, 2015.
- [4] M. A. Alfaro Soto, "Geotecnia en suelos no saturados," *Revista Academica Colombiana de Ciencias*, vol. 32, no. 125, pp. 471–481, 2008.
- [5] J. G. Tristá, W. Cobelo, and G. Quevedo, "Bearing capacity of footings in unsaturated soils employing analytic methods," *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte.*, vol. 35, no. 2, pp. 417–430, 2017.
- [6] Y. Gao and D. Sun, "Soil-water retention behavior of compacted soil with different densities over a wide suction range and its prediction," *Computers and Geotechnics*, vol. 91, pp. 17–26, 2017.
- [7] J. G. Tristá, "Estudio del comportamiento tenso-deformacional de suelos parcialmente saturados en Cuba," Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas; Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", 2015. URL: <http://tesis.cujae.edu.cu:8080/xmlui/handle/123456789/5336>
- [8] D. G. Fredlund, *Implementación de la mecánica del suelo parcialmente saturado en la práctica de la ingeniería geotécnica*. Medellín: Editorial Litoimpresos, 2003, p. 96.
- [9] R. Armas and E. Horta, *Presas de Tierra*. La Habana: Editorial ISPJAE, 1987, p. 453.
- [10] C. Sanhueza and L. Rodríguez, "Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales," *Revista de la Construcción*, vol. 12, pp. 17–29, 2012.
- [11] ASTM-D5298, "Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper," vol. 11. pp. 1–6, 1994.