**12no SIMPOSIO INTERNACIONAL**

**DE ESTRUCTURAS, GEOTECNIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**.

***Título***

***Propuesta de predimensionamiento a partir del análisis de las filtraciones y la estabilidad de taludes en presas de tierra en Cuba.***

***Title***

***Pre-sizing proposal based on the analysis of leaks and the stability of slopes in land dams in Cuba.***

Autora: Ing. Anair Duarte Pereira

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería Villa Clara, anair@emproyvc.co.cu

**Resumen**

En el presente trabajo se analiza las filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra homogéneas para las condiciones de Cuba, a partir de un estudio de las características de 12 embalses del país y la selección de los principales parámetros de altura de la cortina, tipo de drenaje, pendientes de los taludes y propiedades de los suelos existentes en ellas. A partir de estos datos y con la ayuda del programa GeoStudio 2007 se analiza la influencia de estos parámetros para diferentes condiciones en el estado de carga explotación solucionando así 9 problemáticas cada una con 3 condiciones de suelos diferente. Se obtuvieron como resultados los valores de factores de seguridad y a partir de ellos se propone parámetros para el predimensionamiento de presas de tierra en Cuba.

**Abstract**

In the present work the filtrations and stability of slopes in homogenous earth dams are analyzed for the conditions of Cuba, from a study of the characteristics of 12 dams of the country and the selection of the main parameters of height of the curtain, type of drainage, slopes of the slopes and properties of the existing soils in them. From these data and with the help of the GeoStudio 2007 program, the influence of these parameters is analyzed for different conditions in the exploitation load state, thus solving 9 problems each with 3 different soil conditions. The values of safety factors were obtained as a result and, from them, parameters for the pre-sizing of earth dams in Cuba are proposed.

# 1. Introducción

Las presas de tierras tienen una gran importancia para el desarrollo del país es por eso que al hablar de ellas no se puede dejar de mencionar el análisis de filtraciones y estabilidad de taludes. Con el desarrollo de la Mecánica de Suelos en el siglo pasado se comenzó a realizar estudios más reales de las filtraciones y estabilidad de taludes a través de los medios porosos con grandes aplicaciones en el diseño de presas de tierras, algo que con anterioridad se realizaba por métodos empíricos.

Con la aparición de novedosas técnicas computacionales en el mundo de la ingeniería existen programas capaces de modelar estos fenómenos reales y así lograr una mejor simulación de la influencia que puede tener en la estructura algunos de los factores que actúan sobre ella.

Para el diseño de presas de tierra homogéneas es imprescindible conocer la influencia de los principales factores en la estabilidad de taludes y análisis de filtraciones de acuerdo con la zona donde se realizará el proyecto, es por ello que se hace necesario un análisis minucioso de las propiedades de los suelos, tipos de drenajes y alturas a emplear en el diseño, y chequear esto para los distintos estados de cargas como pueden ser: Final de construcción y explotación, y su comprobación analítica a través de programas computacionales Este tema tiene ya sus antecedentes en la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas donde se han realizado estudios .

Es por ello que podemos fundamentar la investigación debido a la importancia del análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra en Cuba mediante el siguiente problema de investigación:

## **Problema científico:**

A partir de la influencia de los diferentes parámetros como las propiedades de los suelos, tipos de drenajes y alturas, en las condiciones de Cuba, ¿cómo variaría el análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra?

## **Hipótesis científica de investigación:**

Si se incorporan parámetros determinantes como propiedades de los suelos, tipos de drenajes y alturas al análisis de filtraciones y estabilidad de taludes es posible obtener un cambio del factor de seguridad en presas de tierra para las condiciones de Cuba, y sobre ello proponer criterios de predimensionamiento.

## **Objetivo general:**

Determinar mediante el programa GeoStudio 2007 como se comporta las filtraciones y estabilidad de taludes en Cuba bajo la influencia de parámetros como propiedades de los suelos, tipos de drenajes y altura de la cortina.

# 2. Metodología

La metodología de la investigación utilizada en este trabajo se refleja de una mejor forma en el siguiente Cronograma de investigación:

Definición del problema

Recopilación del material bibliográfico

Estudio de la bibliografía recopilada

Planteamiento de la hipótesis y definición de los objetivos y tareas científicas.

Análisis de los métodos teóricos de filtraciones en presas de tierra y sus particularidades.

Análisis de los métodos teóricos de estabilidad de taludes en presas de tierra y sus particularidades.

Análisis de la influencia de los diferentes parámetros como propiedades de los suelos, tipos de drenajes y alturas en la estabilidad de taludes en presas de tierras en Cuba.

Conclusiones y recomendaciones

Según el estudio realizado con los datos suministrados por los Grupo Empresarial de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos de cada provincia sobre las características principales de los embalses se seleccionaron 12 embalses de tipo homogéneo considerados los de mayor interés para el país por su importancia y aparecen en la taba 1:

Tabla 1 Listado de presas cubanas seleccionadas

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Presa | Provincia | Tipo de Presa |
| Ejército Rebelde | La Habana | Homogénea |
| Mampostón | Mayabeque | Homogénea |
| Las Nieves | Matanzas | Homogénea |
| Minerva | Villa Clara | Homogénea |
| Lebrije | Sancti Spíritus | Homogénea |
| Cauto del Paso | Granma | Homogénea |
| Sitio Peña | Pinar del Río | Homogénea |
| Baracoa | Artemisa | Homogénea |
| La Ruda | Mayabeque | Homogénea |
| Caunavaco | Matanzas | Homogénea |
| Abreus | Cienfuegos | Homogénea |
| Mal País II | Isla de la Juventud | Homogénea |

Tabla 2 Tipos de drenajes de la cortina en presas cubanas.

|  |  |
| --- | --- |
| Presa | Tipo de drenaje de la cortina |
| Ejército Rebelde | Prisma |
| Mampostón | Colchón |
| Las Nieves | Prisma |
| Minerva | Prisma |
| Lebrije | Prisma |
| Cauto del Paso | Prisma |
| Sitio Peña | Prisma |
| Baracoa | Prisma |
| La Ruda | Prisma |
| Caunavaco | Prisma |
| Abreus | Prisma |
| Mal País II | Colchón |

La altura y pendiente de los taludes son datos esenciales al analizar las filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra por ello a continuación se muestran los valores de altura y pendientes de los taludes de algunas presas de interés nacional antes mencionadas Tabla 3:

Tabla 3 Valores de altura de la cortina y pendiente de los taludes en presas cubanas.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Presa | Talud Aguas Arriba | Talud Aguas Abajo | Altura de la cortina (m) |
| Ejército Rebelde | 1:3.5 | 1:2.5 | 29.10 |
| Mampostón | 1:3.0 | 1:2.25 y 1:2.5 | 37.0 |
| Las Nieves | 1:3.0 | 1:2.5 | 16.55 |
| Minerva | 1:2.5 y 1:3 | 1:2 y 1.2.5 | 37.0 |
| Lebrije | 1:2.2 y 1:3 | 1:2.5 y 1:2.5 | 39.5 |
| Cauto del Paso | 1:2.5 | 1:2.5 | 30.0 |
| Sitio Peña | 1:3 | 1:2.5 | 17,2 |
| Baracoa | 1:2.75 | 1:2.25 | 18 |
| La Ruda | 1:2.75 | 1:2 y 1:2.5 | 20,5 |
| Caunavaco | 1:2.5 | 1:2.5 | 35,2 |
| Abreus | 1:3 | 1:2.5 | 12,5 |
| Mal País II | 1:3 | 1:3 | 10 |

Como es evidente las alturas de los embalses oscilan entre 10 y 40 m, aunque en su mayoría se encuentran entre los 15 y 40 m y la altura promedio es de 25.21 m por lo podemos decir que son presas de alturas pequeñas

Las pendientes de los taludes aguas arriba oscilan de 1:2.5 a 1:3.5 y los taludes aguas debajo de 1: 2 a 1:3.

Los suelos en las presas cubanas poseen características típicas de acuerdo con el lugar en el que se encuentran ubicado el embalse Tabla 4. Para el caso de la base las propiedades de los suelos son:

Tabla 4 Propiedades de los suelos más comunes en los embalses cubanos.

|  |  |
| --- | --- |
| C(Kpa) | 100 |
| ᵠ º | 10 |

Para el caso de la cimentación las propiedades de los suelos son:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C(Kpa) | 10 | 20 | 25 |
| ᵠ º | 10 | 20 | 25 |

# 3. Resultados y discusión

En el presente acápite se tendrán en cuenta las consideraciones abordadas en el acápite anterior sobre el trabajo para el análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra, siguiendo una serie de pasos para obtener la información necesaria y una correcta modelación y análisis del objeto de obra como lo requieren este tipo de estructura.

Para ello es necesario la utilización del programa computacional GeoStudio 2007 para el análisis de las estructuras haciendo uso de los métodos teóricos, el cual permitirá obtener factores de seguridad según la variación de los parámetros analizados: propiedades de los suelos tipos de drenajes y alturas más comunes en las presas de Cuba y comparar los resultados entre los principales métodos de análisis de estabilidad de taludes y filtraciones.

## **Propuesta de parámetros de diseño.**

### Representación gráfica de los resultados obtenidos.

Después de obtener y analizar los resultados obtenidos en el programa GeoStudio 2007 se pueden resumir los mismos en forma de gráfico para así poder compararlos y proponer parámetros de diseños de presas de tierra en Cuba.

La figura 3.1 muestra los valores de factor de seguridad obtenidos para alturas de 10m, 25m y 40m, para los tres pares de pendientes analizadas y a su vez para los tres tipos de suelos.

Figura 3.1 Análisis grafico de los valores de Factor de Seguridad obtenidos para las distintas condiciones.

En la Figura 3.2 aparece una relación entre los valores de factores de seguridad asociado a cada propuesta de pendientes de taludes para las tres condiciones de suelo analizadas para secciones de cortinas de presas de tierra de 10m de altura, apreciando así que para suelos más resistentes y pendientes más tendidas el valor de factor de seguridad es mayor

Figura 3.2 Valores de factores de seguridad para cada pendiente de talud 1: m para las tres condiciones de suelos analizadas y altura de la cortina 10m.

La Figura 3.3 muestra una relación entre los valores de factores de seguridad asociado a cada propuesta de pendientes de taludes para las tres condiciones de suelo analizadas para secciones de cortinas de presas de tierra de 25m de altura, apreciando así que el mayor factor de seguridad se alcanza para suelos más resistentes y pendiente aguas arriba 1:3 y aguas abajo 1:2.

Figura 3.3 Valores de factores de seguridad para cada pendiente de talud 1: m para las tres condiciones de suelos analizadas y altura de la cortina 25m

La Figura 3.4 muestra una relación entre los valores de factores de seguridad asociado a cada propuesta de pendientes de taludes para las tres condiciones de suelo analizadas para secciones de cortinas de presas de tierra de 40m de altura, apreciando así que para presas de mayor altura los valores de factor de seguridad disminuyen y obteniendo el mayor valor de factor de seguridad para inclinaciones de los taludes 1:3.5 aguas arriba y 1:3 aguas abajo para suelos más cohesivo y friccionales.

Figura 3.4 Valores de factores de seguridad para cada pendiente de talud 1: m para las tres condiciones de suelos analizadas y altura de la cortina 40m.

### Propuesta de Parámetros de diseño

**Según los resultados obtenidos se proponen los siguientes parámetros de diseño para presas de tierra Homogéneas y con dren de colchón para las condiciones de Cuba, atendiendo a alturas de 10m, 25m y 40m respectivamente para tres condiciones de suelos que van desde suelos menos cohesivos y friccionales hasta más cohesivos y friccionales y para tres pares de taledes desde el menos tendido hasta el más tendido Tabla 3.1.**

Tabla 3.1 Parámetros de diseño para presas de tierra en Cuba.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **H=10m** | | **H=25m** | | **H=40m** | |
| **Talud Aguas Arriba** | **Talud Aguas Abajo** | **Talud Aguas Arriba** | **Talud Aguas Abajo** | **Talud Aguas Arriba** | **Talud Aguas Abajo** |
| **1:2.5** | **1:2.25** | **1:2.5** | **1:2.25** | **1:3** | **1:3** |
| **1:3** | **1:2** | **1:3** | **1:2** |
| **1:3.5** | **1:3** | **1:3.5** | **1:3** |

Para el caso de alturas de 10m y 25m se recomienda cualesquiera de los pares de taludes propuestos, aunque teniendo en cuenta el renglón económico se recomiendan las pendientes menos tendidas.

# Conclusiones

1) El análisis realizado sobre conceptos principales, evolución histórica e importancia de los estudios de estabilidad de taludes y filtración en presas de tierra evidenció que es un tema complejo y que toda la teoría desarrollada actualmente encuentra su apoyo en la evaluación de métodos computacionales.

2) El estudio realizado a los doce embalses seleccionados del país aporto las características principales de los mismos; la altura de la cortina se encuentra entre 10 m y 40 m, las pendientes del talud aguas arriba van de 1:2.5 a 1:3.5 y el talud aguas abajo 1:2 a 1:3 y los drenajes de colchón y de prisma, lo que permitió realizar un estudio más real para las condiciones de Cuba.

3) En el trabajo se resolvieron nueve problemáticas, cada una de ella para tres suelos con propiedades mecánicas diferentes c=20Kpa φ= 20o y γ=19 Kn/m3, c=25Kpa φ= 25o y γ=19 Kn/m3 y c=30Kpa φ= 28o y γ=19 Kn/m3 lo que ha permitido obtener valores del factor de seguridad menores para los suelos menos cohesivos y friccionales y más altas para los más cohesivos y friccionales aplicando el programa GeoStudio 2007.

4) Para las condiciones de Cuba se propusieron criterios de diseño a partir de los resultados obtenidos del programa en correspondencia con la altura y las pendientes de los taludes aguas arriba y aguas abajo con drenaje de colchón en presas homogéneas, para altura de la cortina de 10m y 25m se recomiendan pendientes 1:2.5 y 1:2.25, 1:3 y 1:2 y 1:3.5 y 1:3, para altura de la cortina de 40m solo es recomendable usar pendientes1:3.5 y 1:3.

# Bibliografía

1.AGUIAR HERNÁNDEZ, A. A. 2016. Evaluación Dinámica del Talud Aguas Abajo

de la Presa Zaza.

2.ARMAS NOVOA, R. 2002. Criterios para diseñar presas de tierra. Prioridad y secuencia. .

3.ARMAS NOVOA, R. H. M., EVELIO 1987. *Presas de Tierra*.

4.CONSEJO DE LA ADMINISTRACIÓN PROVINCIAL, C. D. L. H. R. D. C. 2004. Soluciones aplicadas para el almacenamiento de agua,VI Asamblea General Mundial de RIOB Martinica.

5.CORDERO MEJIAS, L. 2017. “Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados”.

6.EDUARDO, E. D. C. 2013. Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto PACALORI.

7.FLORES BERENGUER, I. 2016. Análisis de la estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados Caso de estudio: Formación Vía Blanca.

8.ING. WASHINGTON SANDOVAL E., P. D. 2016 PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

9.PLAVECINO RAMOS, A. E. 2015. Modelación bidimencional del flujo generado por la rotura de una presa de tierra, utilizando el programa IBER.

10.QUEVEDO SOTOLONGO, G. J. 2017. "Conferencias de la asignatura presas de tierra”.

11.SUAREZ, J. 2009. Deslizamientos: Análisis Geotécnico.

12.VELÁZQUEZ SENTMANAT, A. 2016. Análisis de las filtraciones y la estabilidad de taludes en presas de tierra.

13.SHERARD, J. L. 1953. Influence of Soil. Properties and Construction Methods on performance of Homegeneus Earth Dams, U.S.

14.AHEDO DESENA, A. 2003. Estabilidad de taludes en presas de tierras y enrocamiento.

15.ALEJANDRO TORRES, N. 2010. Filtraciones.

16.ALEJANDRO., C. V. A. H. A. E. J. 2014. Análisis comparativo en la reducción del gasto de filtración y el gradiente hidráulico entre las pantallas contra filtración y la geomembrana en presas de tierra homogénea.

17.ÁLVAREZ GIL, L. 1998. La estabilidad de las cortinas de presas de tierra mediante la solución de los estados tenso-deformacionales y la aplicación de la teoría de la seguridad.

18.ANABELA VEIGA, L. 2006. Estabilidad de Taludes.

19.ANGELONE, S. 2010. Geología y Geotecnia. Filtraciones.

20.ANTONIO, S. 1994. Curso de mecánica del suelo y cimentaciones. Estabilidad de taludes: Métodos para Rebanadas.

21.ASHFORD, S. S., N 1994. Seismic response of steep natural slopes.

22.BACH. CHALÁN CHÁVEZ, A. M. B. G. P., KEVIN ELI. 2014. Evaluación y análisis de la estabilidad de la presa Garrapón del centro poblado Garrapón-Ascope-la libertad.

23.BALAIRÓN, L., LÓPEZ, D., MORÁN, R., RAMOS, T. Y TOLEDO, M.A 2014. Avances en investigación aplicada mediante modelación física y numérica en el diseño de la ingeniería de presas.

24.BENKO, B. S., D 1993. The characterization and prediction of landslide movements using numerical modelling techniques.

25.BRIONES GUTIÉRREZ, J. 2011. “Red de flujos en secciones típicas de presas de tierra homogéneas”.

26.BROCHE LORENZO, J. L. 2005. Conferencia de modelación de estructuras.

27.C. TAPIA, E. O., A. LARESE. 2009. Análisis numérico del proceso de filtración en presas de escollera.

28.CANDELA, J. 2008. Sistemas de Estabilización de Taludes y Laderas.

29.CARTER, J., DESAI, C., POTTS, D., SCHWEIGER, H. & SLOAN, S 2001. Computing and Computer Modelling in Geotechnical Engineering.

30.CHACÓN VILLA, Á. H. 2014. Análisis comparativo en la reducción del gasto de filtración y el gradiente hidráulico entre las pantallas contra filtración y la geomembrana en presas de tierra homogénea.

31.CLOUGH, R. & WOODWARD, R. 1967. Analysis of Embankment Stresses and deformations. Journal of geotechnical division.

32.CRISTIAN, T. N. 2009. “Análisis numérico del proceso de filtración en presas de escollera”

33.DE MATTEIS, Á. F. 2003. Estabilidad de taludes.

34.DEPARTMENT OF THE ARMY, U. S. A. C. O. E. W., DC 20314-1000 1970. Engineering and Design, Stability of Earth and Rock-Fill Dams, (Inclusive of Change 1).

35.E., B. G. J. 2016. Presas de tierra sobre cimentaciones blandas. seguridad a la falla por filtración.

36.ENRIQUE, T. B. L. 2013. Proyecto de graduación previo a la obtención del grado de Ingeniero Civil.

37.ESPINOZA DURÁN CARLOS EDUARDO, T. B. L. E. 2013. Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto PACALORI. Proyecto de graduación previo a la obtención del grado de Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD DE CUENCA.

38.ESTELA E. REYNA, S. M. R. 2012. Modelos analíticos y numéricos para la determinación de infiltración en presas de material suelto. Análisis de su uso y sensibilidad.

39.ESTRADA RESTREPO, O. A. 2008. Presas de terraplén. Presas de tierra.

40.FELLENIUS, B. H. 2006. Basics of foundation design.

41.FERNÁNDEZ VEDIA, R. 2015. Monografía presa de tierra enrocado

42.FLORES BERRONES, R. G. C. I. 2005. Avances resientes en el diseño de filtros para presas de tierra y enrocamiento.

43.GERMÁN, L. P. 2007. Introducción al uso del programa SLOPE/W 2007. Área de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de las estructuras.

44.GONZÁLEZ, L., FERRER, M., ORTUÑO, L. & OTEO, C. 2002. Ingeniería geológica, Madrid.

45.GONZÁLEZ VERGARA, C. J. & DUSSÁN BUITRAGO, E. I. 2011. Modelación del flujo en taludes para drenes horizontales. La Pontificia Universidad Javeriana.

46.HERNÁN, G. J. 2016. Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes.

47.HONG, H. & ROH, G. 2008. Reliability Evaluation of earth Slopes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.

48.J., B. G. 1994. Presas de Tierra y enrocamiento. Resistencia a la Falla por Filtración.

49.J.M., D. & G., W. S. 2005. Soil Strength and Slope Stability, Hoboken. New Jersey.

50.JORGE, B. G. 2016. Presas de Tierra sobre Cimentaciones Blandas. Seguridad a la Falla por Filtración.

51.JUÁREZ BADILLO, E., RICO RORÍGUEZ, A. 1967. Mecánica de Suelos; tomo II.

52.KERGUELEN, A. 2009. Análisis probabilístico de estabilidad de taludes.

53.KRAHN, J. 2004. Stability Modeling with slope/W an Engineering Methodology.

54.LINKS, L. B. D. L. A. R. C. 2002. Small dams, guidelines for design, construction and monitoring.

55.LÓPEZ PINEDA, G. 2010. Introducción a la modelación de redes de flujo mediante el uso del programa GeoStudio/SEEP 2007.

56.LÓPEZ PINEDA, G. 2010. Introducción al uso del programa GeoStudio/SLOPE 2007.

57.M, P., K, U. & A, T 2000. Linear versus Non-linear Failure envelopes in LEM and FEM slope stability Analysis.

58.MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, A. 1995. Análisis de la seguridad de taludes.

59.PLAVECINO RAMOS, A. E. 2015. Modelación bidimencional del flujo generado por la rotura de una presa de tierra, utilizando el programa IBER.

60.QUEVEDO SOTOLONGO, G. 1994. Coeficiente de Seguridad. Estabilidad a corto y largo plazo. Fenómeno de inestabilidad de taludes. Cálculo de la estabilidad al deslizamiento.

61.R., F. B. 2000b. “Flujo de agua a través de suelos”

62.RAÚL, F. B. 2000a. Efecto del flujo de agua en la estabilidad de taludes.

63.S.A.C, C. M. L. C. 2005. Estudio de Estabilidad de Taludes del Tajo Lomo de Corvina- Mina Panchita.

64.SAN ROMAN P., N., DÍAZ P., T. & MARRERO A., O. 2008. Geología Cortina Presa "Alacranes. ". Santa Clara.

65.SHERARD, J. L., R.J. WOODWARD, S.F. GIZIENSKI, Y W. A. 1963. Clevenga, Earth and Earth-Rock Dams.

66.STEAD, D., EBERHARDT, E. & COGGAN, J. S. 2006. “Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modelling techniques”.

67.SUAREZ, J. 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. In: BUCARAMANGA., E. U. (ed.).

68.SUAREZ, J. 2009. Deslizamientos: Análisis Geotécnico.

69.TANAKA, T. S., T. 1993. Progressive failure and scale effect of trap-door problems with granular materials.

70.TORO FLORES, M. Á. 2009. Evaluación de Filtraciones en Presas. Modelación Numérica de Flujo en medios Porosos Saturados y No Saturados.

71.UGAI, K. 1989. A Method of Calculation of total factor of safety of slopes by Elasto-Plastic FEM.

72.VALLARINO CÁNOVAS DEL CASTILLO, E. 1998. Tratado básico de presas. Tomo I.

73.WANG, Y., CAO, Z. & AU, S.-K. 2011. Practical reliability analysis of slope stability by advanced Monte Carlo simulations in a spreadsheet.