

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

XII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS Y
GEOTECNIA



Análisis de tratamientos de suelos blandos bajo terraplenes

Analysis of soft soil treatments under embankments

Ing. Liudys Yanet López Martín¹, Dr. Cs. Gilberto Julio Quevedo Sotolongo²,

Ing. Claudia María Rodríguez Rodríguez³.

- 1- Empresa Constructora de Obras para el Turismo Cayo Santa María, Cuba, llopezm@aei-ucmbybat.co.cu
- 2- Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, quevedo@uclv.edu.cu
- 3- Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, claudiamrr@uclv.cu

Resumen

Los suelos blandos, en la Ingeniería Civil, plantean problemas en todo tipo de construcciones, ya sean estas vías de comunicación, como carreteras o ferrocarriles, o en las cimentaciones de edificaciones y obras civiles en general. Estos suelos deben ser analizados y tratados convenientemente, en caso contrario, pueden ocurrir situaciones no deseadas a corto y largo plazo. Cuando se va a proyectar una obra apoyada sobre suelos blandos se requiere el empleo de uno u otro tipo de tratamiento que permita mejorar las propiedades del terreno acelerando el proceso de consolidación, disminuyendo los asentamientos y aumentando la estabilidad de taludes del mismo (Zamora Beyk. J, 2014).

Hoy en día existen diferentes métodos para lograr mejorar los terrenos con esta problemática, desde la colocación de precarga mediante rellenos, hasta la inyección de lechada de cemento. La precarga es un método muy habitual para la densificación del

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



suelo, consiste en aplicar una carga igual o superior, generalmente sobre suelos blandos, la cual producirá la consolidación que se reflejará en un aumento de la resistencia del terreno y una disminución de los asentamientos después de la construcción. El objetivo de este método es alcanzar un grado de consolidación suficiente en un periodo aceptable de tiempo (**Zamora Beyk. J, 2014**).

Con este trabajo se pretende realizar el análisis de los asentamientos que se producen en el terreno cuando existen suelos con estratificaciones blandas y realizar el análisis del factor de seguridad de taludes apoyados sobre estos suelos.

Abstract

Soft soils, in Civil Engineering, pose problems in all types of constructions, whether these are communication routes, such as roads or railways, or in the foundations of buildings and civil works in general. These soils should be analyzed and treated properly; otherwise, undesirable situations can occur in the short and long term. When a project based on soft soils is going to be projected, the use of one or another type of treatment is required to improve the properties of the land, accelerating the consolidation process, decreasing the settlements and increasing the slope stability of the same (**Zamora Beyk. J, 2014**).

Today there are different methods to improve the land with this problem, from the placement of preload by fillers, to the injection of cement grout. The preload consists of applying an equal or greater load, generally on soft soils, which will produce consolidation that will be reflected in an increase in the resistance of the land and a decrease in the settlements after construction. The objective of this method is to achieve a sufficient degree of consolidation in an acceptable period of time (**Zamora Beyk. J, 2014**).

The objective of this work is to perform the analysis of the settlements that occur in the land when there are soils with soft stratifications and perform the analysis of the factor of safety of slopes supported on these soils.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Palabras claves: asentamiento, terraplenes, suelos blandos.

Keywords: settlements, embankments, soft soil.

1. Introducción

Los suelos blandos o de grano fino representan un gran desafío a la hora de construir sobre ellos, tanto en vías de comunicación como en fundaciones de edificios y obras civiles, debido a sus características geotécnicas. Los suelos de grano fino se caracterizan en general, por presentar una elevada compresibilidad, baja permeabilidad y ser altamente sensibles a los cambios de humedad por lo que deben enfrentarse problemas como, baja capacidad de soporte, baja resistencia a los esfuerzos de corte y altos asentamientos inducidos. Este último es uno de los aspectos críticos para el diseño y construcción sobre este tipo de suelos (Núñez. F, 2017).

Cuando el suelo es particularmente compresible y la potencia de los estratos de material fino impide considerar el reemplazo de suelos como una solución factible, se puede recurrir a los denominados métodos de mejoramiento de suelo.

Como menciona (Rengifo, 2014) el descuido del control de asentamientos en estos suelos puede producir desde daños leves (estéticos) hasta daños estructurales graves, llevando al colapso de la estructura.

Se han desarrollado una serie de métodos que se han utilizado para predecir los asentamientos que se pueden originar en una masa del suelo, ya sean asientos inmediatos, de consolidación primaria o de consolidación secundaria; entre los métodos más empleados se encuentran: el Método de la Capa Equivalente definido por Tsitovish (1934), Potencia Limitada, Skepmtón – Bjerrum (1957), Método Edométrico, Método de Trayectoria de Tensiones, Método Elástico y el Método de Sumatoria de Capas, este último el más difundido y empleado en la actualidad. Todos ellos especialmente para el

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

cálculo de los asentamientos sobre arcillas (Mesa Lavista. M; Lamas Fernandez. F; Tejada Piusseaut. E; Álvarez Pérez. J; Recarey Morfa. C et al. 2016).

Cuando el suelo es particularmente compresible y la potencia de los estratos de material fino impide considerar el reemplazo de suelos como una solución factible, se puede recurrir a los denominados métodos de mejoramiento de suelo, que permita mejorar las propiedades del terreno acelerando el proceso de consolidación, disminuyendo los asentamientos y aumentando la estabilidad de taludes del mismo (Núñez. F, 2017).

En este trabajo se busca evaluar cómo el uso del método de precarga puede ayudar al control de asentamientos en terraplenes construidos sobre depósitos de suelo fino.

2. Metodología

Se conoce como consolidación al incremento gradual de esfuerzos en la masa del suelo provocado por aplicación de cargas externas, produciendo una deformación vertical (asentamiento) durante un cierto tiempo. La consolidación es causada por el reacomodo o deformación de las partículas del suelo y por la expulsión de agua o aire de los espacios vacíos del suelo en condiciones saturadas. Se definen dos etapas (ver Figura 1) y son las siguientes:

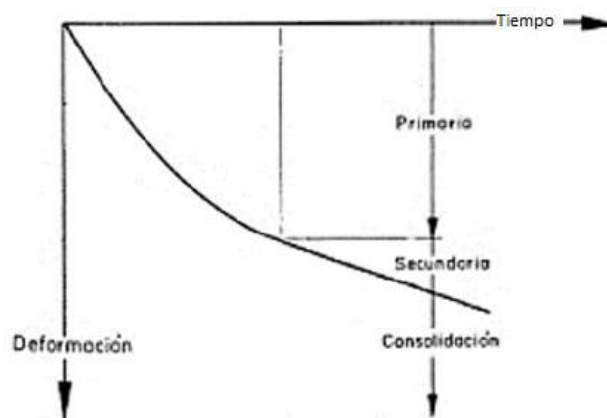


Figura 1 Procesos de consolidación

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

- Consolidación primaria: Es la primera curva de deformación que demuestra el suelo, como resultado de la expulsión de agua al disiparse el exceso de presión de poro.
- Consolidación secundaria: Esta deformación se la caracteriza por tener una deformación lenta, que continúa después de que el exceso de presión de poro se haya disipado provocando que las partículas del suelo se junten.

Por el método de precarga se consigue acelerar el proceso de consolidación, el cual produce asentamientos que ayudan a realizar predicciones sobre el comportamiento futuro del terreno como se explica más adelante. Para que la precarga actúe más rápido se puede utilizar también drenes verticales (Zamora Beyk, J, 2014).

El terreno se asienta cuando recibe cargas estáticas verticales. El asentamiento total incluye tres componentes como se puede observar en la Figura 2 y en la siguiente ecuación.

$$St = Si + Ss$$

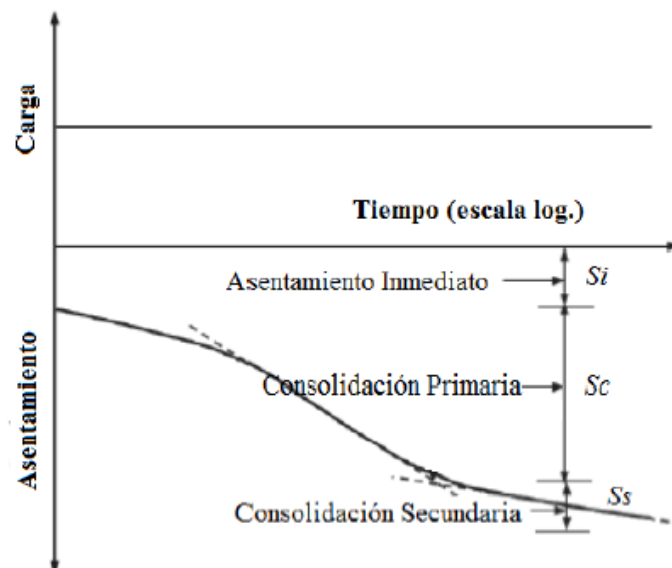


Figura 2 Gráfica referencial de Asentamiento vs. Tiempo

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Dónde

St: Asentamiento Total

Si: Asentamiento Inmediato

Sc: Asentamiento por Consolidación Primaria

Ss: Asentamiento por Consolidación Secundaria o Compresión

Los asentamientos provocados por las cargas impuestas por una construcción se dividen generalmente en tres tipos:

- Asentamiento inmediato
- Asentamiento por consolidación primaria
- Asentamiento por consolidación secundaria

El asentamiento inmediato es provocado por la deformación elástica del suelo sin ningún cambio de volumen. Para determinar el asentamiento inmediato se utiliza ecuaciones derivadas de la teoría de la elasticidad. Generalmente se considera que el asentamiento inmediato ocurre durante la construcción. El ensayo edométrico no es representativo de este tipo de asentamiento, a diferencia del asentamiento por consolidación indicado en el punto siguiente.

El asentamiento por consolidación primaria es el resultado de un cambio de volumen en suelos saturados cohesivos debido a la expulsión del agua que ocupa los espacios vacíos.

La teoría clásica de consolidación de Terzaghi considera:

- El sistema suelo-agua es homogéneo
- 100% saturada
- El agua y los granos del suelo son incompresibles
- El flujo de agua es unidimensional
- La Ley de Darcy es válida

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

El asentamiento por consolidación primaria está representado por el ensayo edométrico, y al igual que la teoría de consolidación, corresponde a una deformación unidimensional.

En el caso de suelos granulares, de alta permeabilidad, el asentamiento instantáneo es el más relevante, ya que se considera que la expulsión de agua (consolidación primaria) ocurre inmediatamente, por lo que el asentamiento instantáneo y la consolidación primaria ocurren en conjunto durante la construcción.

En suelos finos, de baja permeabilidad, el asentamiento por consolidación toma relevancia, ya que éste puede tomar una gran cantidad de tiempo y una magnitud considerable.

En suelos orgánicos y suelos inorgánicos altamente compresibles, es la consolidación secundaria la que toma una alta relevancia.

Método de sumatoria de capas

$$\Delta h = S = \sum_{i=1}^{NE} \frac{H_i}{6} [\varepsilon_{is} + 4\varepsilon_{ic} + \varepsilon_{il}]$$

Donde:

NE- número de estratos por debajo del nivel del terraplén hasta la profundidad H_a

H_i - espesor del estrato i que se está analizando.

ε_{is} - variación de la deformación unitaria vertical en el punto. De la frontera superior del estrato i .

ε_{ic} idem, pero en el centro del estrato i

ε_{il} - idem, pero en la frontera inferior.

El esfuerzo efectivo inicial en cada estrato es igual al esfuerzo inicial en la mitad del estrato, porque los esfuerzos aumentan en proporción directa con la profundidad. Sin

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

embargo, el incremento de esfuerzo promedio no es igual al esfuerzo en la mitad del estrato, porque la relación del incremento de esfuerzo y la profundidad no es lineal.

En la expresión se le da mayor importancia al punto central (más significativo) pero como se puede apreciar se calcula una media (Brajaj .M Das, 1999)

Metodología para determinar los asentamientos

a) Definir la potencia activa.(Ha)

Para ello habrá que calcular σ'_{zg} y σ'_{zp} en un punto estimado (0.5 - 2 B). Es decir

que a una profundidad (Z) aproximadamente 1B calculamos σ'_{zg} y σ'_{zp} y

realizamos la comparación $\sigma'_{zp} \leq 0.2 \sigma'_{zg}$.

σ'_{zg} -Tensión efectiva

Hasta que se cumpla dicha condición.

Si $\sigma'_{zp} \geq 0.2 \sigma'_{zg}$ (aumentar profundidad)

Si $\sigma'_{zp} \leq 0.2 \sigma'_{zg}$ (disminuir profundidad)

b) Aplicar la expresión de sumatoria de capas. S =?

Para ello habrá que calcular el valor de σ'_{zg} y σ'_{zp} .en el punto superior, medio e inferior de los estratos comprendidos dentro de Ha (Figura 3).

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

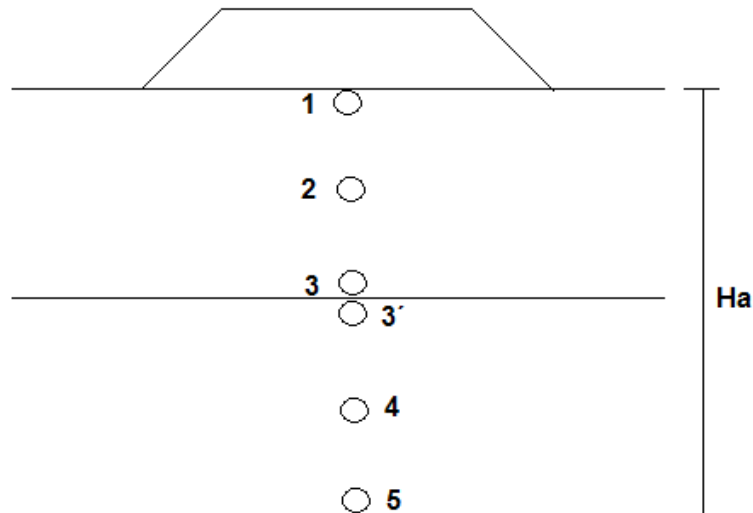


Figura 3 Puntos superior, medio e inferior en cada estrato.

Recuerde que las tensiones por peso propio (σ'_{zg}) serán las tensiones efectivas ya que esta es la tensión a la que estarán sometidas las partículas del suelo, y conocemos ya que el proceso de consolidación se debe en gran medida a la pérdida o salida de agua del suelo.

Método de elementos finitos

Hay muchos problemas prácticos en ingeniería a los cuales no se le puede obtener la solución exacta mediante la aplicación de los métodos analíticos, que son muy buenos pero no arrojar resultados rápidos. Una de las herramientas más importantes con las que cuenta la ingeniería para el análisis de estos complejos problemas es el Método de Elementos Finitos, que no es más que un software que define un modelo matemático a donde se especifica el tipo de ecuaciones a determinar, las condiciones de borde, propiedades materiales, y otros detalles. Una vez efectuada dicha definición el programa resuelve automáticamente las ecuaciones pertinentes y provee los resultados en una forma apropiada para el analista.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Una de las ventajas de este método es su facilidad de implementación en un programa computacional, que a su vez es una condición básica para su utilización ya que para el tratamiento de un problema en particular debe efectuarse un número muy elevado de operaciones para resolver sistemas algebraicos del orden de cientos o miles de ecuaciones. No obstante, esta cantidad no es una limitación con las computadoras estándar de hoy. Además de la alta precisión, diseño mejorado, y una mejor percepción de los parámetros críticos de diseño, prototipos virtuales, menos prototipos de hardware, y ciclo de diseño más rápido y económico, alza en la productividad y en las ganancias.

El paquete Geostudio 2012 contiene una serie de programas, dentro de ellos el Slope/W que permite la solución de problemas como el cálculo de estabilidad de taludes. Uno de los principales problemas, de tipo geométrico que se nos plantea a la hora de abordar un cálculo de estabilidad de taludes es la definición de la geometría de contorno del talud que deseamos estudiar. Otro programa dentro de este paquete es el Sigma/W con el cual se obtiene la distribución de tensiones iniciales de los suelos que plantea el problema y permite realizar una serie de análisis dentro de los que se encuentra el cálculo de asentamientos.

Para llevar a cabo completamente las implicaciones del análisis, el software lleva a cabo una serie de procesos computacionales que involucran fuerzas aplicadas y las propiedades de los elementos de donde producir un modelo de solución.

Este programa permite un realizar un análisis computacional profundo con alta precisión y rapidez y ofrece herramientas numéricas y gráficas permiten la localización precisa de información para su análisis.

3. Caso estudio

A partir de los resultados de las investigaciones ingeniero-geológicas realizadas en la terraza tecnológica del Hotel Salinas II, ubicada en la cayería norte villaclareña específicamente en Cayo las Brujas, se detectó la presencia de estratos débiles, con baja

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

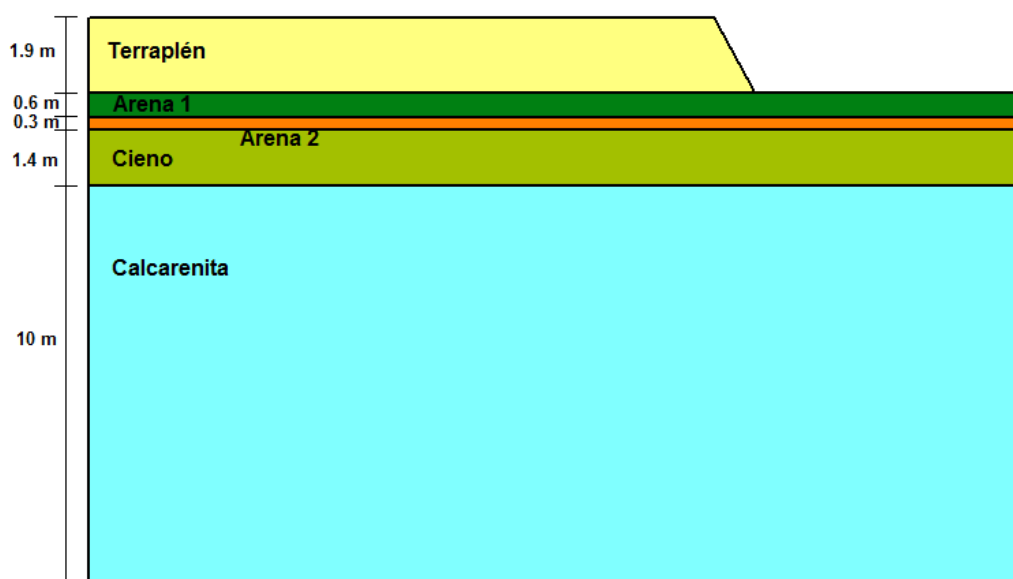
**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

resistencia y alta permeabilidad. Las características de los diferentes estratos son las siguientes:

Suelo	SUCS	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (Grados)	E (Mpa)
Terraplén	GM-GC	21	5	33	50
Arena 1	SM	17.5	10	30	5
Arena2	SP	17.5	2	28	15
Cieno	SM	16.5	5	29	1.8
Calcarenita	Roca	18.7	100-200	15-25	50



Para obtener el Factor de Seguridad en el análisis de la estabilidad de talud se proponen dos pendientes 3:1 y 2:1 para ver cuál comportamiento es más seguro. En el SLOPE/W se realiza un análisis Morgenstern-Price el cual permite la introducción del nivel freático en el análisis de estabilidad. En la Figura 4 y Figura 5 se aprecian la variación del bulbo de presiones y del Factor de Seguridad en terraplén solo y en el terraplén con precarga.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
 II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
 “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
 CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

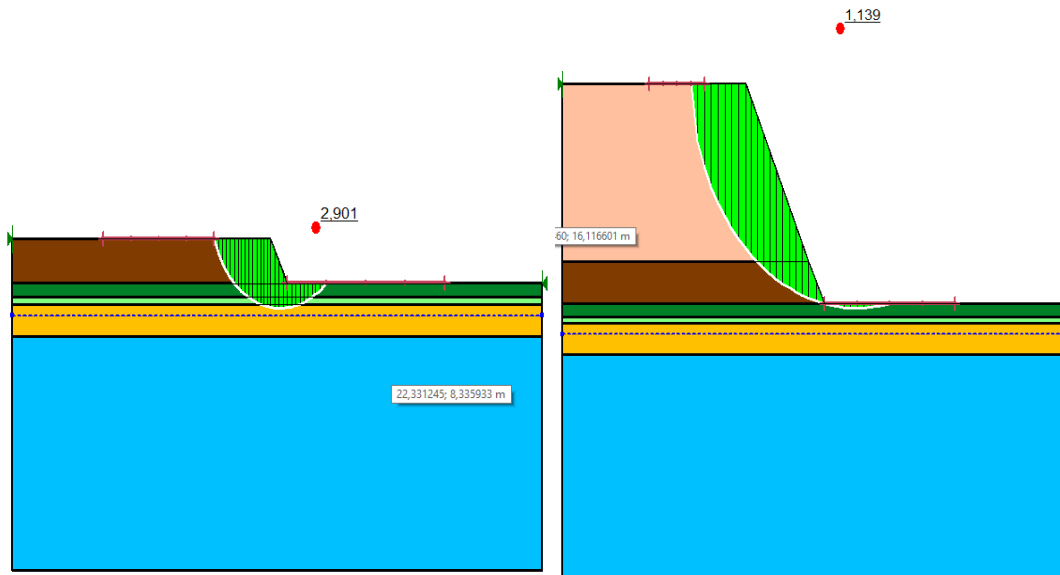


Figura 4 Terraplén

Figura 5 Terraplén con precarga

El comportamiento del Factor de Seguridad según la precarga aplicada se muestra a continuación en el Gráfico 1.

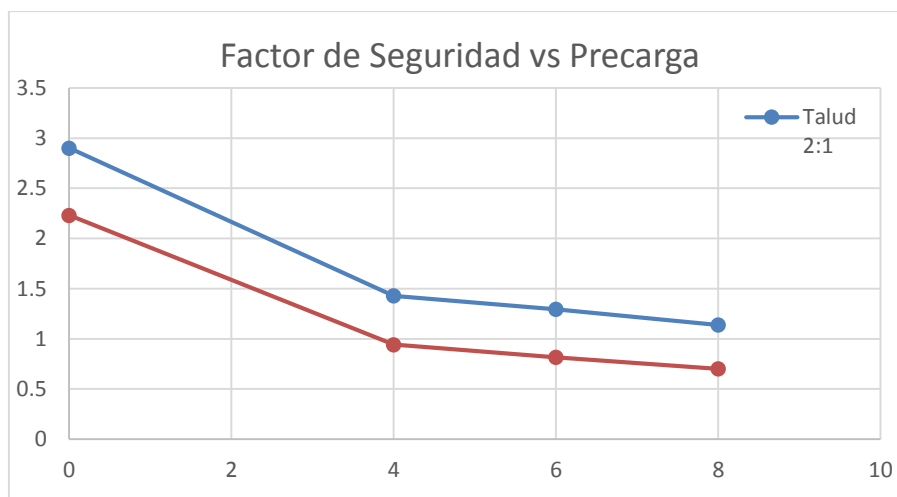


Gráfico 1 FS vs Precarga

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



En el SIGMA/W se emplea el análisis Carga/Deformación para la obtención de los asentamientos en cada caso, para las dos pendientes de inclinación de talud y para diferentes precargas. En el gráfico 2 se puede observar el comportamiento de los asentamientos con respecto a la precarga aplicada y para las pendientes establecidas.

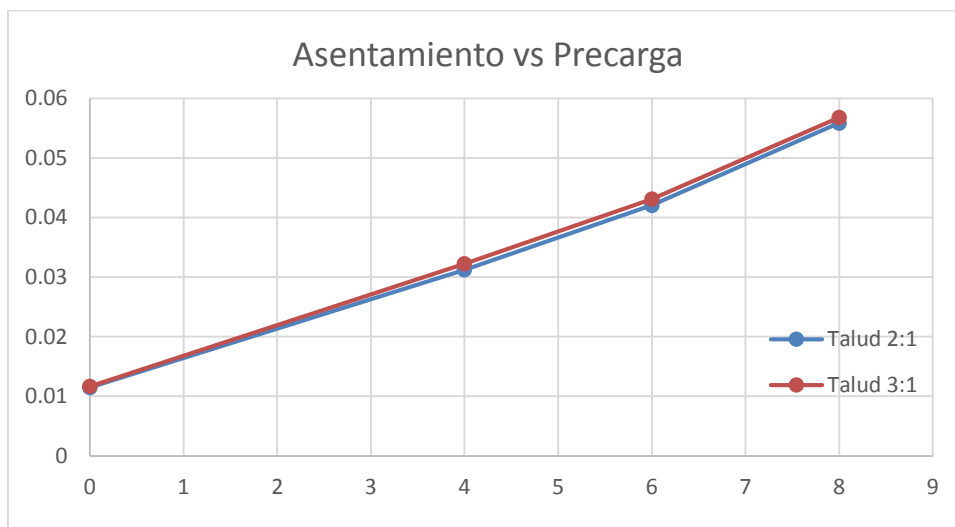


Gráfico 2 Asentamiento vs Precarga

4. Conclusiones

- 1 La modelación numérica empleando programas computacionales como el Slope/W y el SIGMA/W que tienen base en el Método de Elementos Finitos, constituye una herramienta válida para el análisis de estabilidad de talud, la obtención del Factor de Seguridad y la determinación de las tensiones y deformaciones en suelos blandos.
- 2 Con el aumento de los valores de la precarga aplicada sobre el suelo, se produce un aumento en los valores de asentamiento en el mismo para los dos casos de inclinación de talud; en el caso del terreno con inclinación de talud 3:1 los valores de asentamiento son mayores que con 2:1 en 1.6%.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

- 3 El Factor de seguridad es mayor para el talud 2:1 debido a la pendiente tendida del mismo en 23% con respecto al de 3:1. La falla profunda cuando solo está el terraplén y a medida que la precarga va siendo mayor la falla es de pie de talud.
- 4 El empleo de la modelación numérica constituye una vía más rápida y accesible para el ingeniero en la determinación de las tensiones y deformaciones en el suelo ofreciendo resultados confiables y menos conservadores que los métodos analíticos.

5. Referencias bibliográficas

- Bowles. "Foundation Analysis And Design", 1996.
- CIMENTADA, A.I. "Análisis Experimental en Modelo Reducido de la Consolidación Radial y Deformación de un Suelo Blando Mejorado con Columnas de Grava". Tesis de Doctorado, Universidad de Cantabria, 2009.
- CONVENCION CIENTIFICA DE ARQUITECTURA E INGENIERIA. "Simulación de la construcción de terraplenes con técnicas numéricas", La Habana 2016.
- CÓRDOVA PINARGOTE, P. "Mejoramiento masivo de suelo mediante precarga", 2016.
- DAS, Braja M. Das, 1999: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.
- DUNCAN, J.M. "Limitations of Conventional Analysis of Consolidation Settlement". J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 9, 1993, 1333-1359.
- NUÑEZ, F. "Control_de_asentamientos_en_terrapienes", 2017.
- PINILLA, L., " Inyecciones y Mejoramientos en Suelos y Rocas",2008.
- Rengifo, J. "Optimización de tratamiento de suelos blandos bajo terrapienes", 2014.
- PINILLA, L., " Inyecciones y Mejoramientos en Suelos y Rocas",2008.
- XXVIII " Sistemas de precarga con vacío para consolidación acelerada de suelos: membrana hermética o dren a dren" Yucatán, 2016
- ZAMORA BEYK, Z. " Optimización de tratamientos de suelos blandos", 2014.
- <http://intrawww.ing.puc.cl/siding/public/ingcursos/cursos_pub/descarga.phtml?id_curso_ic=1574&id_archivo=55085> (Sin actualización, visitado el 30 de Febrero de 2019)

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu