

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



**XII Simposio Internacional de Estructuras y Geotecnia 2019**

**Cimentaciones Sobre Taludes**

*Foundation on slopes*

**Sergio Sáenz Aguilar.**

Ingeotec, San José Costa Rica, [ingsaenz@ingeotec-cr.com](mailto:ingsaenz@ingeotec-cr.com), San José Costa Rica

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



### RESUMEN

En esta conferencia se presenta una evaluación crítica sobre el comportamiento de cimentaciones colocadas cerca de taludes y de la experiencia costarricense en el tema.

Se discute conceptualmente la relación entre los estudios de estabilidad de taludes realizados mediante métodos de equilibrio límite y los análisis de capacidad soportante de cimentaciones; así como sobre los factores de seguridad asociados a uno u otro caso.

Se diserta ampliamente sobre la relación entre los diferentes métodos de análisis tales como: fórmulas de capacidad de soporte modificadas para tomar en cuenta la presencia de taludes, los métodos de equilibrio límite, el método de los elementos finitos y los métodos probabilísticos.

Se analiza la relación entre el factor de seguridad de la cimentación, la probabilidad de falla y las deformaciones que pueden experimentar las estructuras colocadas sobre taludes.

Se aborda tanto el comportamiento estático de las cimentaciones sobre taludes, como su comportamiento frente a sismos. Lo último a la luz de la experiencia costarricense en los sismos de la última década.

Se explican las disposiciones normativas estipuladas en el Código de Cimentaciones de Costa Rica y en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, sobre el tema de cimentaciones sobre taludes.

Se recomiendan valores del factor de seguridad de cimentaciones cercanas a taludes para evitar que las mismas se dañen o colapsen durante eventos extremos como lluvias extraordinarias o sismos.

Se presentan casos reales de análisis de diferentes tipos de obras de retención o de reforzamiento de taludes y su efectividad en lograr obras seguras y confiables.

Finalmente se concluye que es posible colocar edificaciones seguras cerca de taludes; siempre y cuando se diseñen y construyan las obras de retención que son necesarias para alcanzar los factores de seguridad que se recomiendan en esta conferencia.

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



### ABSTRACT

During this lecture, I will present a critical evaluation about the geomechanical behavior of foundations close to slopes. As well as the costarrican experiences on the topic.

I present a conceptual discussion between the stability analyses on slopes, using the methodologies of Limit Equilibrium and bearing capacity for foundation. It is also presented a discussion on the safety factors associated with each case.

It is widely discussed the relation between the different methodologies for this analysis, such as modified formulas for bearing capacity considering its closeness to a slab, limit equilibrium method, finite elements method and probabilistic methods.

For the lecture, I will be exploring the relationship between the factor of safety for foundations close to slabs and the probability of failure and possible deformations.

Costa Rica has experienced a great amount of seismic events along the last decade. Taking this in consideration, both static and seismic analysis for foundations close to slabs are discussed. I will explain the normative regulations for foundations close to slopes established in Costa Rica's Foundation Code and Costa Rica's Geotechnical Code for Slopes.

I will recommend the values for safety factors of foundations close to slopes. In accordance to avoid the damage or collapse during earthquakes.

I will also presents some actual analysis of retention structures and slopes reinforcements. The effectiveness of this works to assure the security of buildings will be analyzed.

Finally, I conclude that it is possible to cement structures close to slopes. However, the design and building of retaining structures are necessary to reach the recommended factors of safety.

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"**



**PALABRAS CLAVE**

- Talud
- Sismos
- Código de Diseño
- Cimentaciones

***KEYWORDS***

- *Hillslope*
- *Earthquake*
- *Desing Codes*
- *Foundations*

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



### INTRODUCCIÓN

El diseño de cimentaciones sobre laderas engloba dos áreas de la ingeniería geotécnica, que, aunque relacionadas presentan diferencias importantes entre sí. La primera de ellas tiene que ver con el tema de capacidad soportante de cimentaciones, desde la perspectiva de la formulación de diversos investigadores tales como Bell, Meyerhof, Terzaghi, etc., quienes se avocaron a desarrollar ecuaciones para determinar la presión de hundimiento de cimentaciones en terrenos planos. Comparando la presión de hundimiento con la presión de trabajo se obtiene el factor de seguridad de la cimentación. Tales abordajes plantean también correcciones aproximadas para tratar el caso de cimentaciones colocadas sobre taludes. La segunda metodología proviene del uso de la teoría de equilibrio límite para el análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos tales como Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, etc. Tales métodos permiten incorporar directamente el peso de las edificaciones y calcular el factor de seguridad de la cimentación incluyendo estas sobrecargas.

Usualmente los diseñadores manejan y entienden bien los factores de seguridad requeridos para cimentaciones colocadas sobre terrenos planos. Por otra parte, entienden y manejan también bien los factores de seguridad que se utilizan en estabilidad de taludes. Sin embargo los factores de seguridad que se utilizan para cimentaciones son diferentes a los que se utilizan en estabilidad de taludes (ver figura 1). En el caso de cimentaciones sobre laderas muchas veces hay confusión entre los diseñadores de si los factores de seguridad que deben utilizarse para diseño son los estipulados por el Código de Cimentaciones de Costa Rica o por el Código Geotécnico de taludes y Laderas de Costa Rica (ver figura 2).

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"

Equilibrio limite para el análisis de estabilidad de taludes



Capacidad soportante de cimentaciones



Figura 1

Problemas de cimentaciones y de estabilidad de taludes

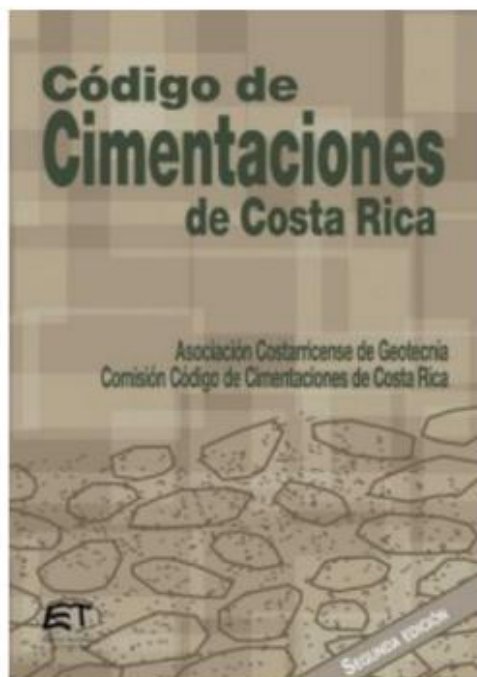


Figura 2

Códigos de diseño geotécnico en Costa Rica

En este trabajo se realiza una revisión de este asunto y se reitera que lo correcto es la utilización de los factores de seguridad del Código de Cimentaciones de Costa Rica. Se hace énfasis en que la deformabilidad del medio soportante está íntimamente relacionada con la seguridad y los daños que puedan ocurrir en una cimentación colocada sobre un talud.

Todo lo anterior se revisa a la luz del comportamiento de cimentaciones cercanas a laderas durante sismos severos ocurridos en Costa Rica, tales como el de Sámara (2012) y el de Cinchona (2009).

## METODOLOGIA

### CAPACIDAD SOPORTANTE DE CIMENTACIONES CERCANAS A TALUDES

#### Validación del método de equilibrio límite para diseño de cimentaciones

El método tradicional para estimar la capacidad soportante de una cimentación fue propuesto por investigadores tales como Bell, Terzaghi, Meyerhof, etc; quienes utilizando métodos de equilibrio límite desarrollaron expresiones para determinar la capacidad soportante de una cimentación (ver figura 3).

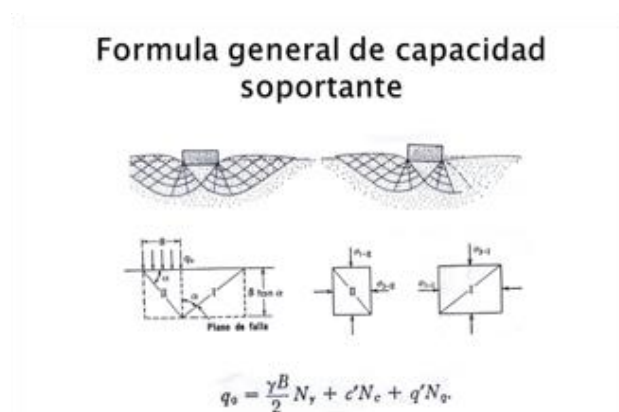


Figura 3.

Capacidad soportante de cimentaciones por métodos tradicionales

Alternativamente la capacidad soportante de una cimentación puede calcularse utilizando los métodos clásicos de equilibrio límite (ver figuras 4 y 5) que se utilizan para estabilidad de taludes, mediante métodos tales como Bishop Modificado, Jambu, Morgenstern & Price, etc. En este caso se introduce el peso de la cimentación como una sobrecarga sobre el terreno y se calcula así el

factor de seguridad. La presión de hundimiento será el valor de presión que conduzca a un valor unitario del factor de seguridad. Es importante destacar que en esta metodología todas las superficies de prueba para determinar el factor de seguridad crítico deben salir del borde interno de la cimentación, a fin de reproducir el modelo de rotura real que se produce cuando falla una cimentación cercana a un talud (ver figura 5).

También conocidas las dimensiones de la cimentación puede calcularse el factor de seguridad de la cimentación para verificar si cumple o no con lo que establece el Código de Cimentaciones de Costa Rica.

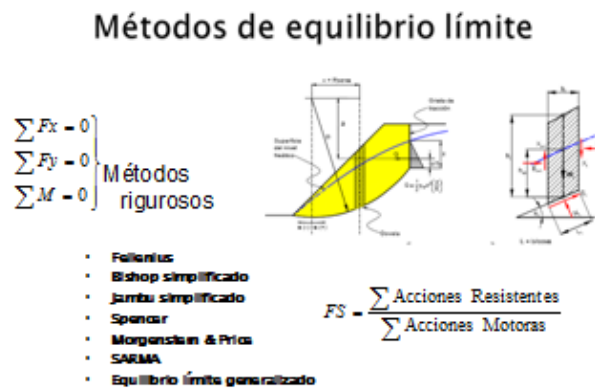


Figura 4

Capacidad soportante de cimentaciones por métodos de equilibrio límite

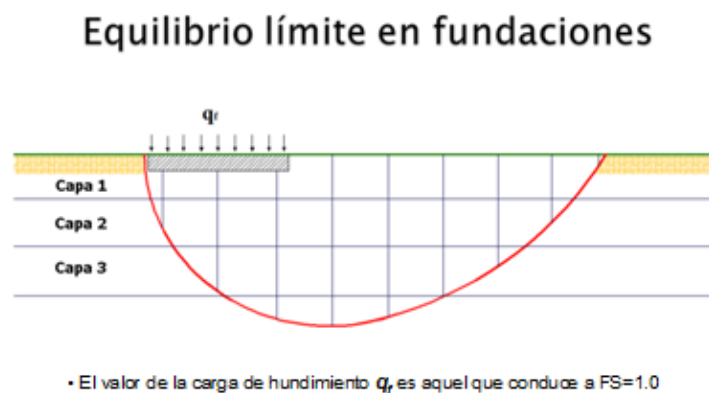


Figura 5.

Capacidad soportante de cimentaciones sobre suelos estratificados utilizando métodos de equilibrio límite



Para clarificar lo anterior se presenta a manera de ejemplo en las figuras 6 y 7 la estimación de la capacidad soportante de una cimentación sobre un terreno plano con propiedades cohesivas puras, utilizando tanto las fórmulas clásicas de capacidad soportante como los métodos de estabilidad por equilibrio límite. Se concluye mediante ambas metodologías que la presión de hundimiento es prácticamente la misma (310 kPa-325 kPa). Lo importante del ejercicio anterior es resaltar el hecho de que los métodos de equilibrio límite para análisis de la estabilidad de taludes pueden ser utilizados para la estimación de la capacidad soportante de una cimentación.

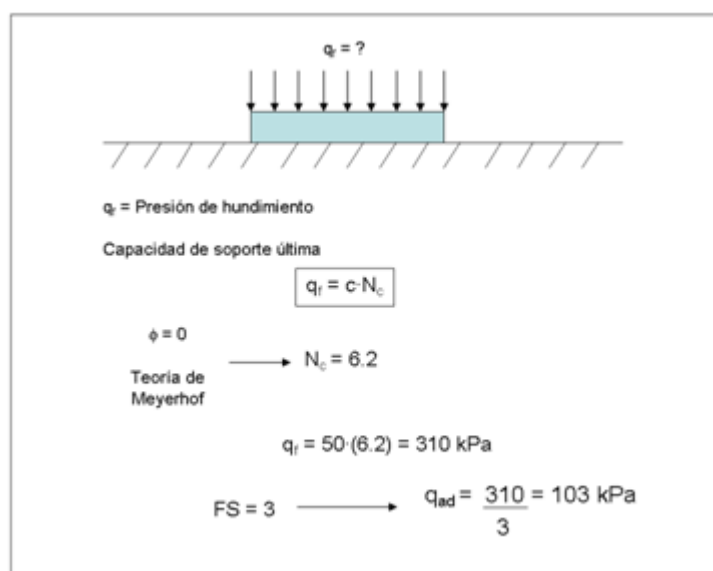


Figura 6.

Capacidad soportante de cimentaciones sobre suelos estatificados utilizando teoría de Meyerhof  
(presión de hundimiento = 310 kPa)

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"

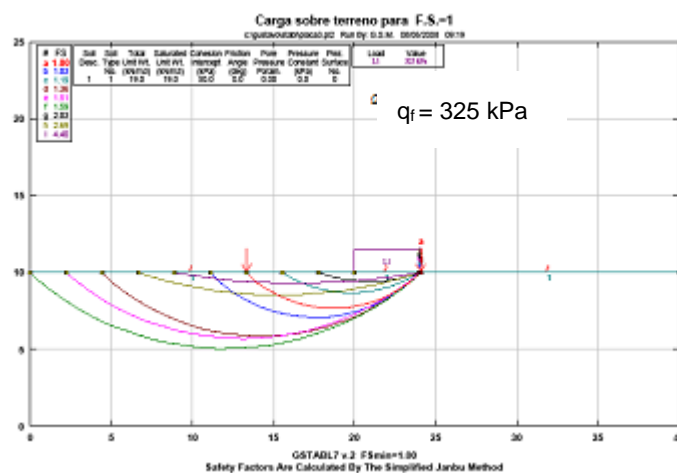


Figura 7

Capacidad soportante de cimentaciones utilizando métodos de equilibrio límite de Janbú (presión de hundimiento 325 kPa)

Específicamente para el caso de cimentaciones sobre taludes se presenta a continuación el cálculo del factor de seguridad de una cimentación colocada sobre un talud utilizando las fórmulas de la teoría de Meyerhof para cimentaciones sobre taludes y del factor de seguridad de esa misma cimentación utilizando el método de equilibrio límite de Janbu. Se utiliza una cimentación de 2,0 metros de ancho con una presión de servicio de 25,0 ton/m<sup>2</sup>.

Como se observa en la figura 8 en el primero de los casos la teoría de Meyerhof conduce a un valor del factor de seguridad de 2,80. Por su parte la utilización del método de equilibrio límite de Janbú (ver figura 9) conduce a un valor de factor de seguridad de 2,60. Ambos valores son desde el punto de vista de ingeniería prácticamente iguales. Se confirma por lo tanto que el método de equilibrio límite puede utilizarse para diseño de cimentaciones sobre taludes.

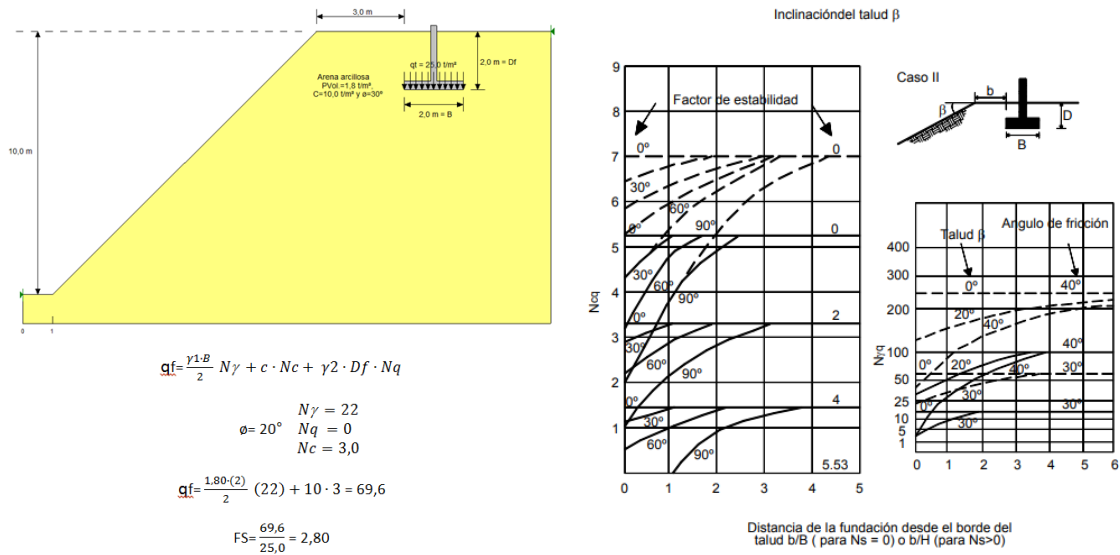


Figura 8

Factor de seguridad de cimentación sobre talud Método de Meyerhof

Placa de 2,0 m de ancho cimentada a 2,0 m de profundidad  
 Metodología de Janbu

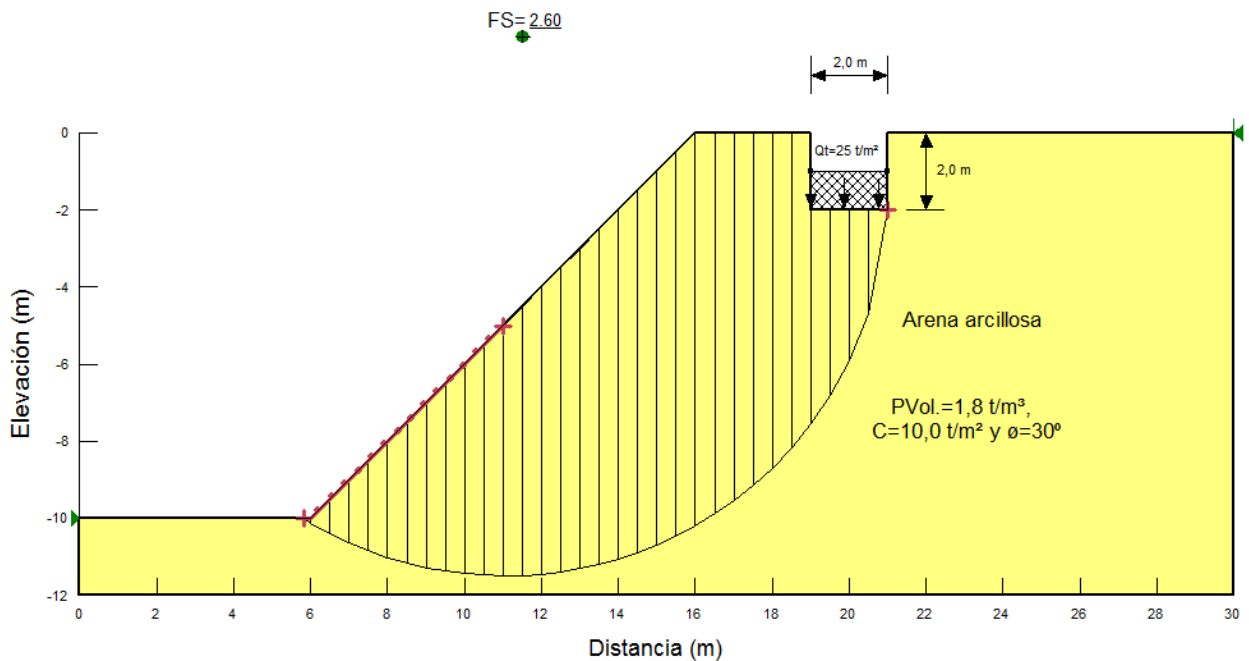


Figura 9

Factor de seguridad de cimentación sobre talud Método de equilibrio límite de Janbu

Si el terreno fuera estratificado la fórmula de capacidad soportante de Meyerhof ya no sería aplicable, en tanto que el método de equilibrio límite resuelve ese problema (ver figura 10). Se concluye por lo tanto que el método de equilibrio límite es una herramienta más poderosa que las fórmulas de capacidad soportante para resolver el problema de cimentaciones colocadas sobre taludes.

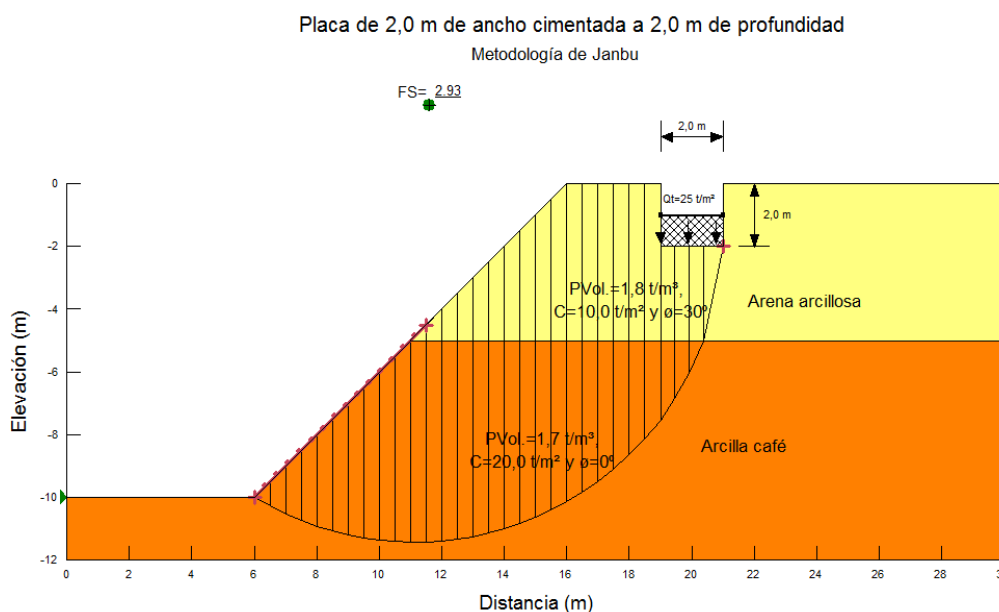


Figura 10.

Factor de seguridad de cimentación sobre talud con suelo estratificado Método de equilibrio límite de Janbu

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### FACTORES DE SEGURIDAD DE CIMENTACIONES SOBRE TALUDES

En ocasiones existen dudas en los diseñadores sobre los factores de seguridad que deben utilizarse en cimentaciones cercanas a taludes. Estas dudas provienen precisamente de la interacción de dos áreas diferentes de la ingeniería geotécnica: cimentaciones y estabilidad de taludes.

Usualmente los factores de seguridad utilizados en problemas de estabilidad de taludes son muy diferentes a los utilizados en cimentaciones. Para la condición de carga gravitacional se utilizan

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



factores de seguridad variables entre 2,5 y 3,0 (CCCR) en problemas de cimentaciones y entre 1,10 y 1,40 (CGTLCR) en problemas de taludes.

Los factores de seguridad que deberán utilizarse en cimentaciones sobre taludes son claramente definidos en la página 61 del Código de Cimentaciones de Costa Rica (segunda edición 2009) que estipula el siguiente procedimiento para cimentaciones sobre taludes diseñadas con el método de esfuerzos de servicio:

- 1- Verificar la estabilidad del talud o de la ladera en su estado original (es decir sin la obra civil) bajo las condiciones usuales de carga.
- 2- Calcular las sobrecargas que aportaría la obra al talud o la ladera.
- 3- Analizar la forma como esas sobrecargas actuarían e influenciarían la estabilidad.
- 4- Recalcular la estabilidad del talud o de la ladera incluyendo la sobrecarga, para una superficie que pase por el borde interior de la cimentación, es decir que la superficie analizada considere el peso de la cimentación.
- 5- Si el factor de seguridad así calculado no cumple con lo estipulado en este Código, se debe variar la geometría y las presiones de cimentación y proceder de nuevo a calcular la estabilidad. Este procedimiento se deberá continuar hasta que el factor de seguridad cumpla con los valores indicados en los cuadros 3,2 y 3,3 de este Código (ver tabla 1).

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
"II CCI UCLV 2019"



Tabla 1.

Factores de seguridad estipulados por el Código de Cimentaciones de Costa Rica

Condición de carga	Factor de seguridad
Estática	3,0
Estática más dinámica	2,0

Cuadro 3.2 del Código de Cimentaciones de Costa Rica

Combinación de carga	Relación $q_{min}/q_{max}$	Factor de seguridad
Estática	Mayor o igual que 0,25	3,0
	Menor que 0,25	2,5
Estática más dinámica	Mayor o igual que 0,25	2,0
	Menor que 0,25	1,6

Cuadro 3.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica

De lo anterior se desprende que los factores de seguridad de cimentaciones sobre taludes deben ser los mismos factores de seguridad de cimentaciones sobre terreno plano.

Algunos profesionales, **errónea y peligrosamente**, utilizan los factores de seguridad estipulados por el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica que en su página 17 recomienda los valores indicados en la tabla siguiente:

Tabla 2.

Valores de factor de seguridad estipulados por el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de  
Costa Rica

Condición de análisis	Riesgo de pérdida De vidas	Bajo	Medio	Alto
	Riesgo De daños Económicos Y ambientales			
Estática	Bajo	1,20	1,30	1,4
	Medio	1,30	1,40	1,5
	Alto	1,40	1,50	1,6
Pseudoestática: Coeficiente pseudoestático según artículo 2,5 de la tabla 10	Bajo	>1,0	>1,0	1,05
	Medio	>1,0	1,05	1,10
	Alto	1,05	1,10	1,10

Tomado de: Tabla 3 del Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica.

Sin embargo, el artículo 2.2 inciso e del Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica es claro y al respecto indica lo siguiente:

**“Cuando se coloque una estructura en un talud o ladera, también se deben garantizar los factores de seguridad para la cimentación, mencionada en el artículo 4.2.6.2 del Código de Cimentaciones de Costa Rica”**. Estos factores son precisamente los del cuadro 3.2 y 3.3 del Código de Cimentaciones antes presentados.

Por lo anterior los factores de seguridad que deben utilizarse para analizar la capacidad soportante de cimentaciones colocadas sobre laderas son las que estipula el Código de Cimentaciones de Costa Rica.

El autor tiene conocimiento de muchas fallas (en Costa Rica) de una cantidad importante de edificaciones cercanas a taludes. Algunas de estas fallas fueron catastróficas y conllevaron a la

destrucción de las obras. Otras (la mayoría) produjeron agrietamientos en las edificaciones, inseguridad de los propietarios y consecuentemente pérdida de valor del inmueble. Con mucha frecuencia ambos tipos de fallas se produjeron durante sismos (ver figuras 33,34 y 35).

Como se observa en la figura 11 existe una relación directa entre factor de seguridad de una cimentación y la deformabilidad del medio soportante. En la práctica de la ingeniería se ha adoptado un factor de seguridad de 3,0 para cimentaciones que se deforman poco; condición congruente con lo observado en esa misma figura. Por otra parte, se extrae de la misma que cimentaciones diseñadas con un factor de seguridad de 1,2 o 1,4 se deforman mucho.

### Relación presión de fundación vs. deformaciones

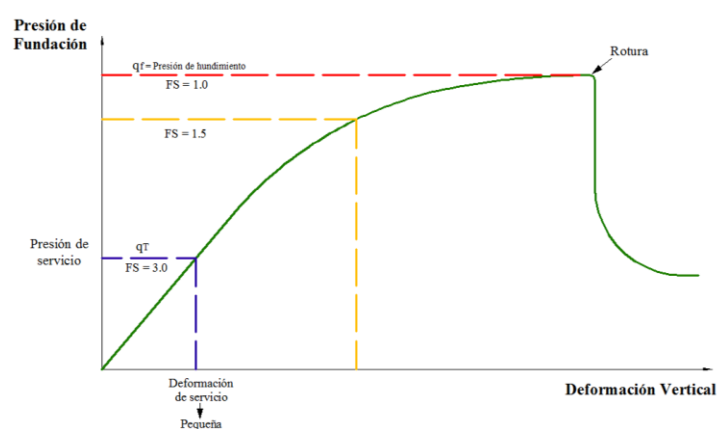


Figura 11.

Relación entre la presión de fundación y la deformabilidad del terreno

No es lógico que, si para cimentaciones sobre terreno plano se especifiquen factores de seguridad entre 2,5 y 3,0, para cimentaciones sobre taludes se usen factores entre 1,2 y 1,4; sobre todo tomando en cuenta que el riesgo de cimentaciones sobre taludes es mucho mayor.

La figura 12 presenta una comparación cualitativa entre factor de seguridad y riesgo de falla de taludes, propuesta por Meyerhof (1987). Se observa de la misma que la probabilidad de falla de



cimentaciones con factores de seguridad entre 1.2 y 1.5 es alta y consecuentemente inadmisibles para edificaciones colocadas sobre taludes.

## Probabilidad de falla por estabilidad

Obra	FS	Probabilidades de falla	Frecuencia de falla
Estructuras de concretos y acero	3.0	$10^{-4}$	$\frac{1}{10.000}$
Obras de tierra	1.0 - 1.5	$10^{-3}$	$\frac{1}{1000}$
Fundaciones offshore	1.7	$10^{-2}$	$\frac{1}{100}$
Cimentaciones	2.5 - 3.0	$10^{-4}$	$\frac{1}{10.000}$
Reactores nucleares, gasoductos	4.0 - 6.0	$10^{-5}$	$\frac{1}{100.000}$
Minería	1.0 - 1.10	$10^{-1}$	$\frac{1}{10}$
Accidentes aereos	-	-	$\frac{1}{10.000}$
Accidentes automovilísticos	-	-	$\frac{1}{100}$

Figura 12.

Relación entre factor de seguridad y probabilidad de falla

La utilización del método de los elementos finitos es una herramienta muy importante para estudiar el riesgo de cimentaciones colocadas cerca de taludes (ver figura 13).

## Análisis de elementos finitos

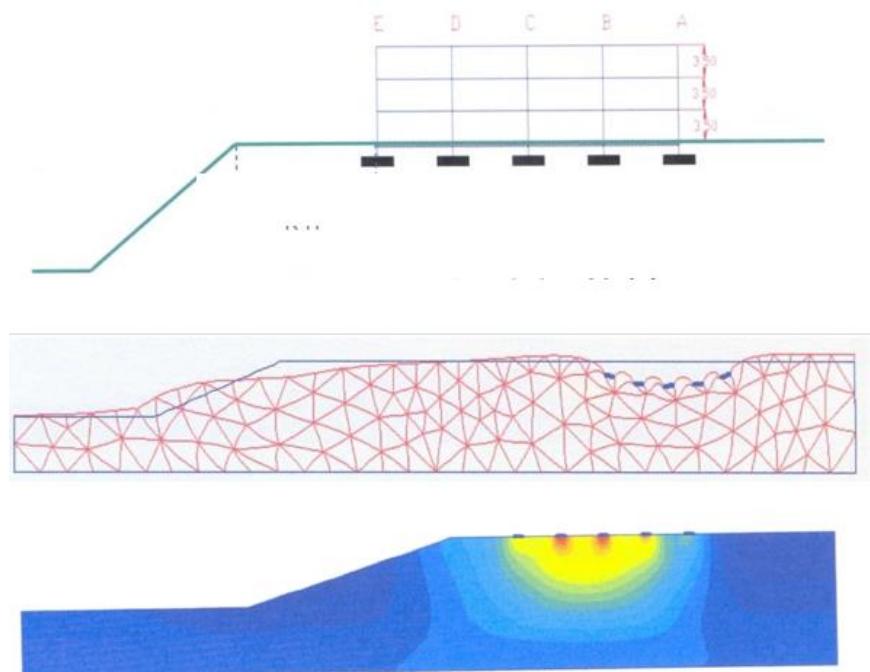


Figura 13

Análisis de elementos finitos de cimentaciones cercanas a taludes

La relación entre deformabilidad y riesgo de falla de una cimentación sobre un talud puede también apreciarse en las figuras 14, 15 y 16, donde se presenta una comparación entre los métodos de equilibrio límite y elementos finitos para un caso específico de un talud. Se observa de la misma que la cantidad de puntos que alcanzan la falla es muy alta en taludes con factores de seguridad bajos (1.1 a 1,50). Esto produciría grandes deformaciones en el talud y consecuentemente grietas en la estructura.

Por todo lo anterior en el Código de Cimentaciones de Costa Rica se establece que los factores de seguridad que deben utilizarse para cimentaciones sobre taludes son los mismos factores que se utilizan para cimentaciones sobre terreno plano. Lo anterior garantiza que no ocurran agrietamientos de las edificaciones localizadas cerca de taludes. El diseñador deberá adoptar, en caso necesario y a fin de cumplir con esa disposición, los sistemas de reforzamiento de taludes que

se requieran para llevar el factor de seguridad a valores aceptables. Alternativamente deberá dejar el retiro suficiente para que la cimentación no sea afectada por la presencia del talud.

## Análisis de estabilidad de un talud

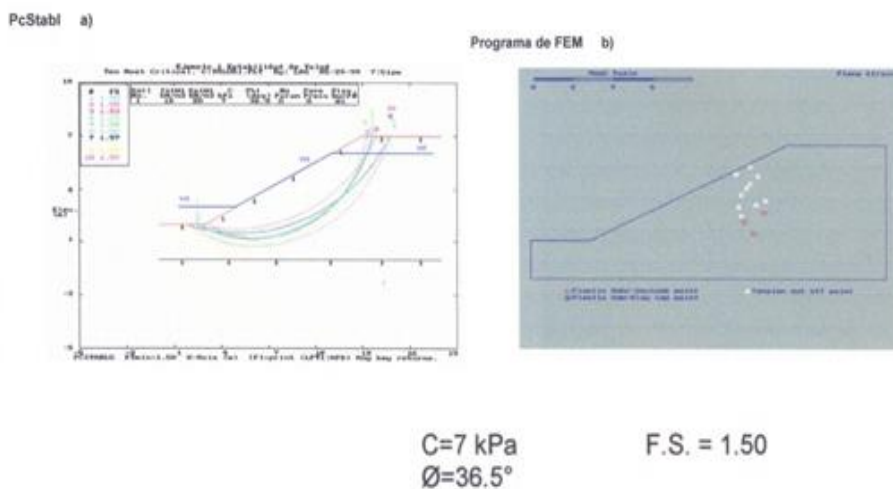


Figura 14.

Comparación entre equilibrio limite y elementos finitos - Factor de seguridad de 1,50

## Análisis de estabilidad de un talud

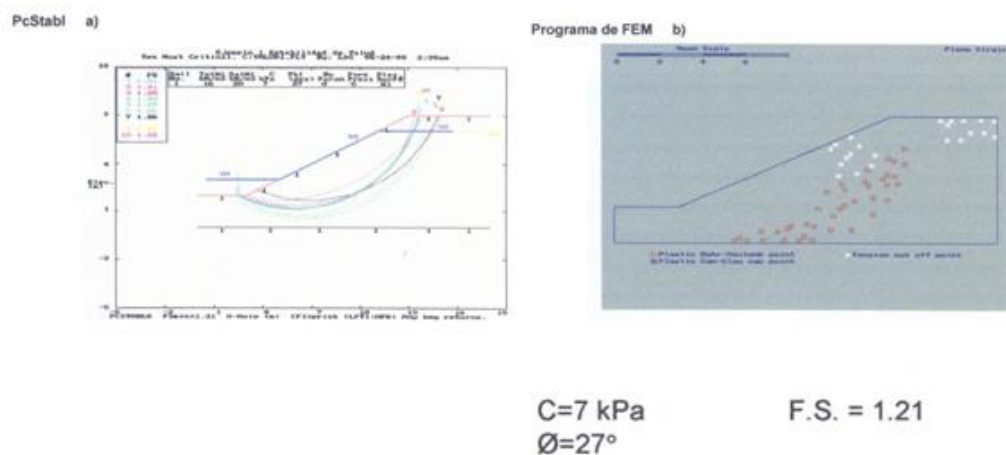


Figura 15.

Comparación entre equilibrio limite y elementos finitos - Factor de seguridad de 1,20

## Análisis de estabilidad de un talud

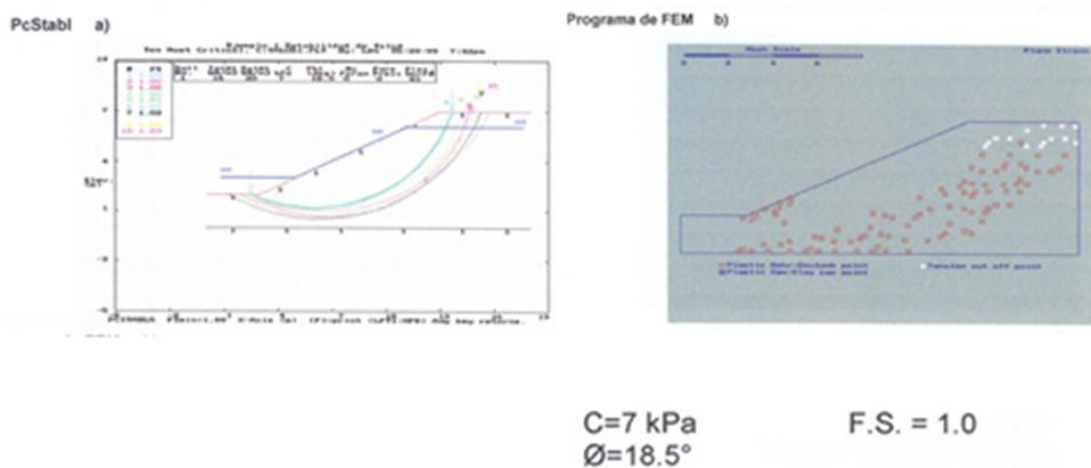
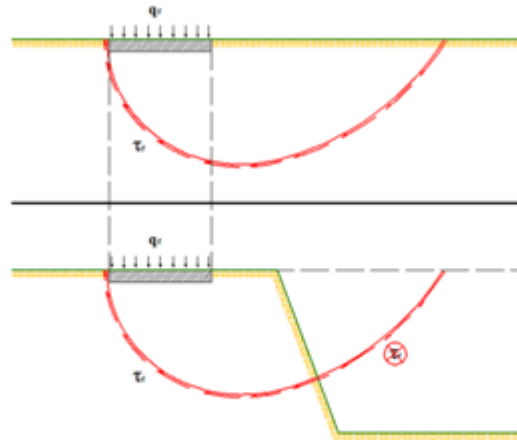


Figura 16

Comparación entre equilibrio limite y elementos finitos - Factor de seguridad de 1.0

### Soluciones para cimentaciones sobre taludes

Otro aspecto importante de destacar es el hecho de que la capacidad soportante de una cimentación sobre un talud es menor que la capacidad soportante de esa cimentación si no hubiera talud (ver figura 17). Lo anterior debido a que al haber un talud hay una parte de la superficie de corte resistente que se elimina en relación con si no hubiera talud. Las figuras 18 y 19 presentan son un ejemplo que demuestran lo indicado anteriormente. En la primera (figura 18) se calcula la capacidad de soporte admisible de una cimentación (mediante equilibrio limite), para un terreno plano, propiedades fijas del suelo y un factor de seguridad de 3,0; obteniéndose en ese caso un valor de capacidad de carga admisible de  $12,0 \text{ ton/m}^2$ .



La capacidad de soporte de una cimentación sobre un talud es menor que en el caso de que no hubiera talud

Figura 17.

Reducción de la capacidad soportante por la presencia de un talud

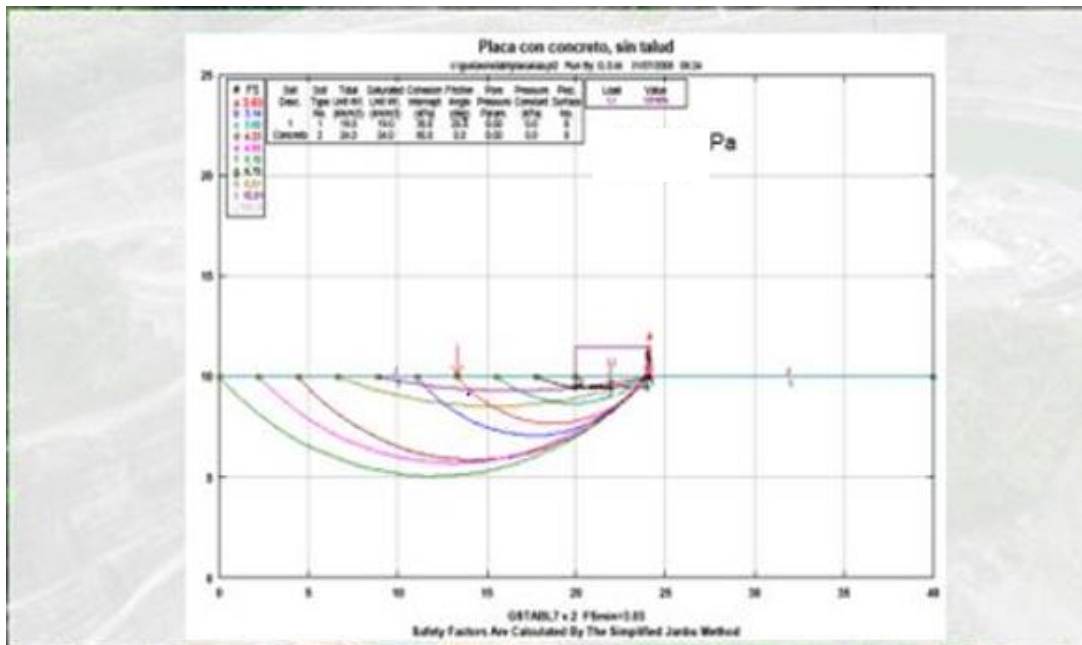


Figura 18.

Factor de seguridad de una cimentación si no hubiera talud

En la figura 19 por su parte se presenta el cálculo del factor de seguridad de la cimentación anterior (con la misma presión e idénticas propiedades del suelo y del cemento), pero con la existencia de un talud de excavación cercano. Se obtiene en este caso, mediante equilibrio límite, un factor de seguridad de 0,90; indicativo de que ocurriría la falla de la cimentación si se realizara la excavación.

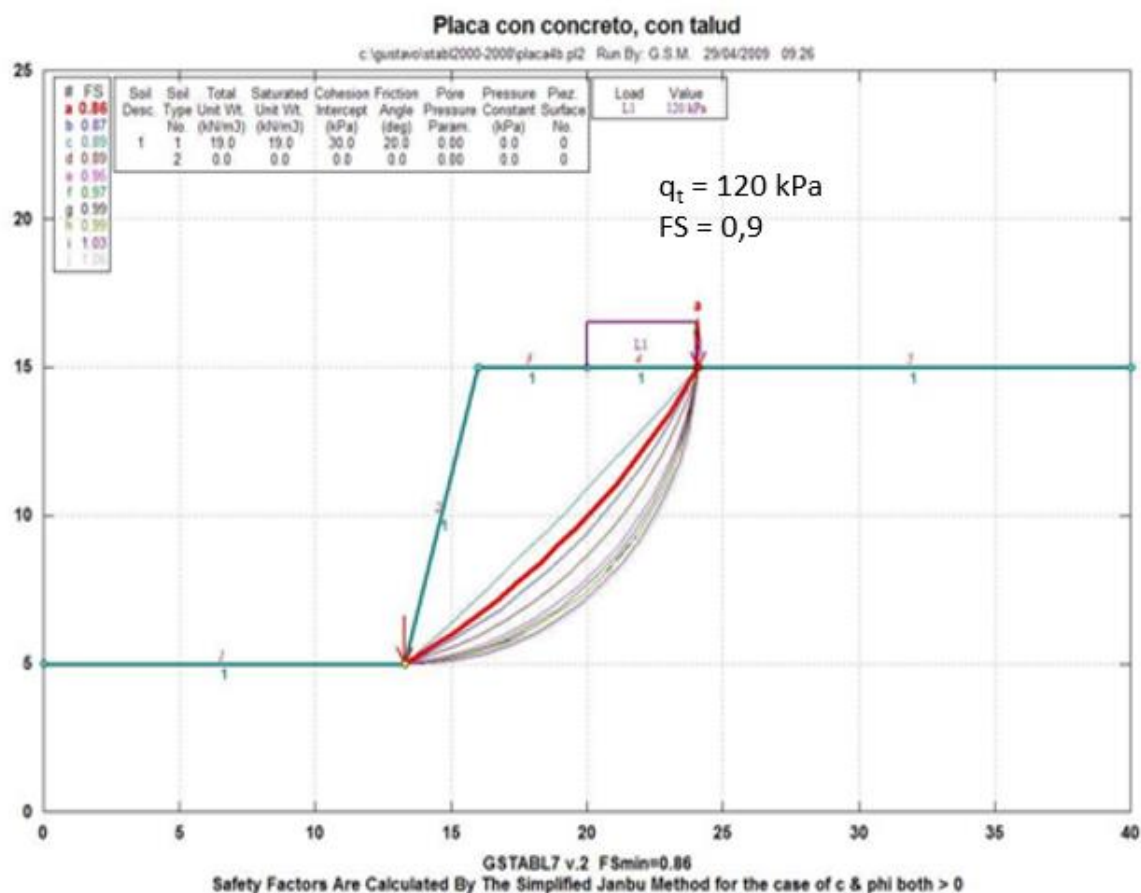


Figura 19.

Factor de seguridad de una cimentación si hubiera talud (FS=0,90)

Desde la perspectiva de la ingeniería geotécnica surge entonces la necesidad de ofrecer soluciones que permitan construir la edificación cerca de ese talud.

Una primera opción sería por ejemplo reducir la presión de fundación a una tercera parte (40 kpa). En ese caso el análisis de equilibrio límite indica que el factor de seguridad del talud y consecuentemente de la cimentación es de 1,1 (ver figura 20); lo que tampoco sería admisible según el CCCR.

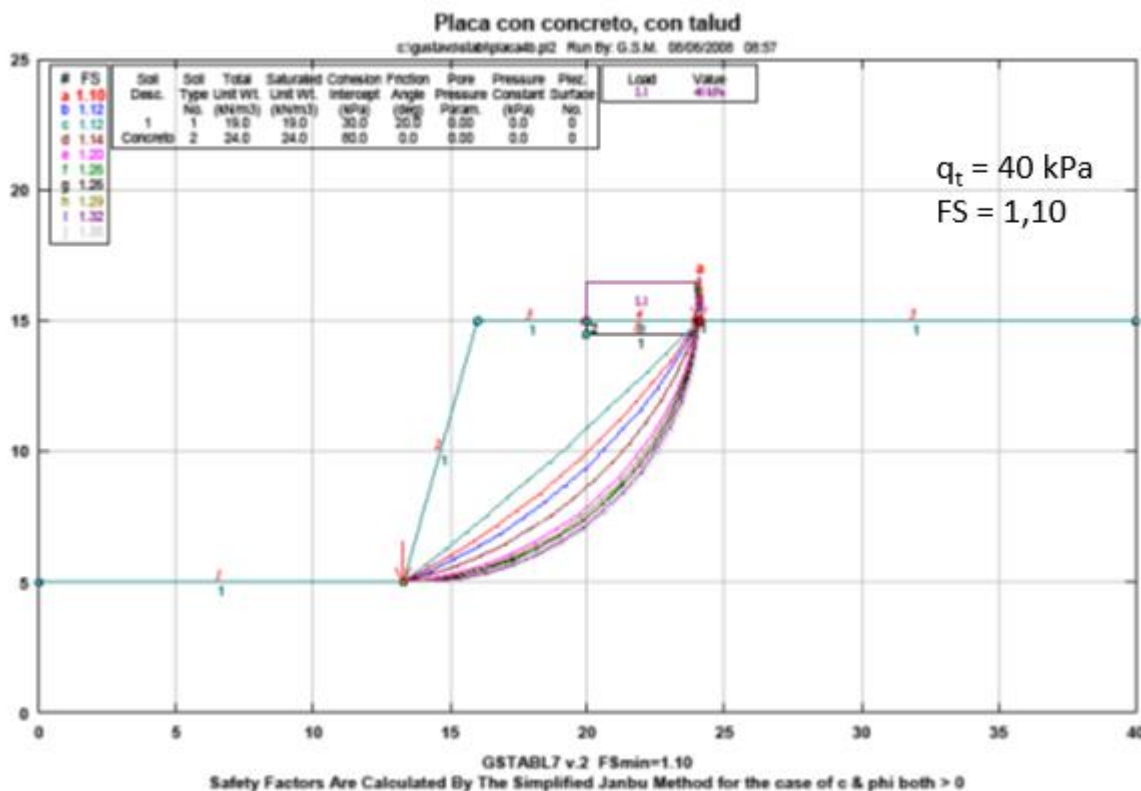


Figura 20

Seguridad del talud si se redujera la presión admisible a una tercera parte

Puede recurrirse entonces al uso de métodos para reforzamiento y/o estabilización del talud, tales como: muros de gravedad o semi-gravedad, muros de suelo reforzado, reforzamiento de taludes con anclajes pasivos (soil nailing), reforzamiento de taludes con anclajes activos, pantallas de pilotes ancladas etc. En las figuras 21, 22 y 23 se presentan ejemplos de diseño de esas obras de estabilización, que conducen para ese mismo valor de presión a factores de seguridad aceptables (entre 2,5 y 3,0). Mediante tales ejemplos se concluye que es posible diseñar y construir obras cercanas a taludes de una manera confiable y segura. Algunos ejemplos de obras de este tipo se presentan en las figuras 24, 25 y 26.

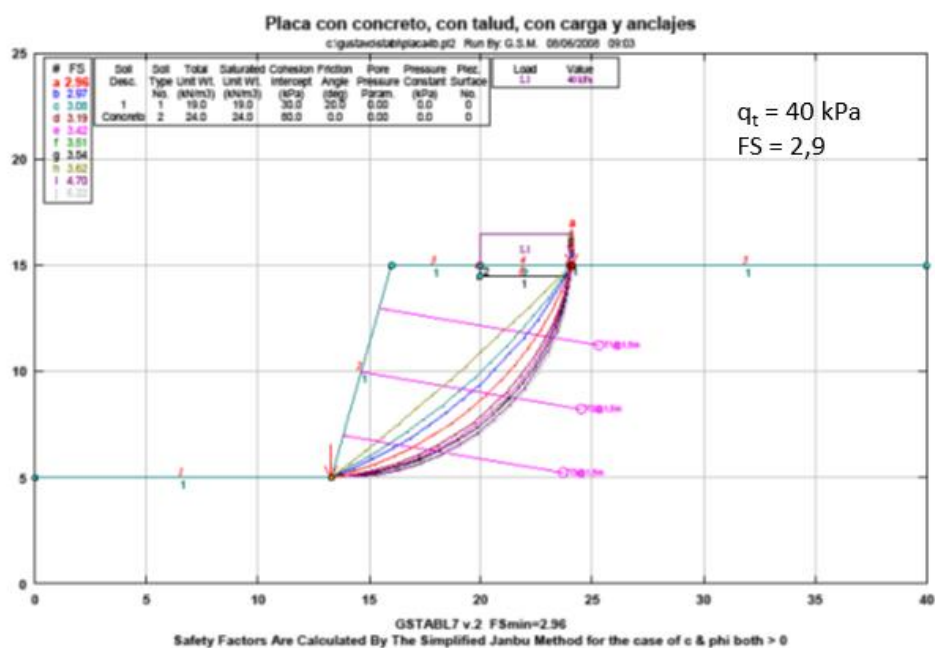


Figura 21.

Estabilización de la cimentación utilizando muros anclados - Factor de seguridad obtenido de 3,0

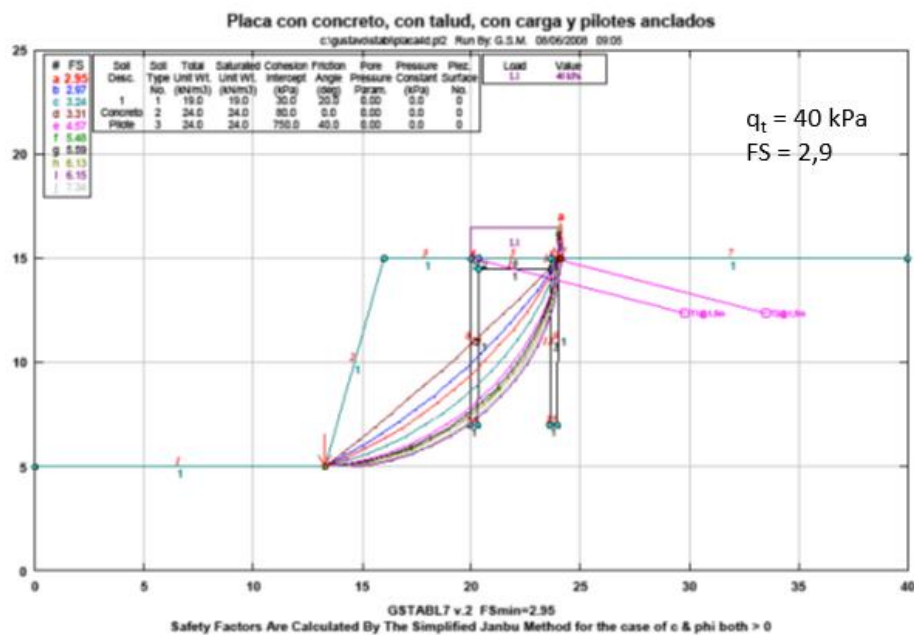


Figura 22.

Estabilización de la cimentación utilizando con pilotes y anclajes



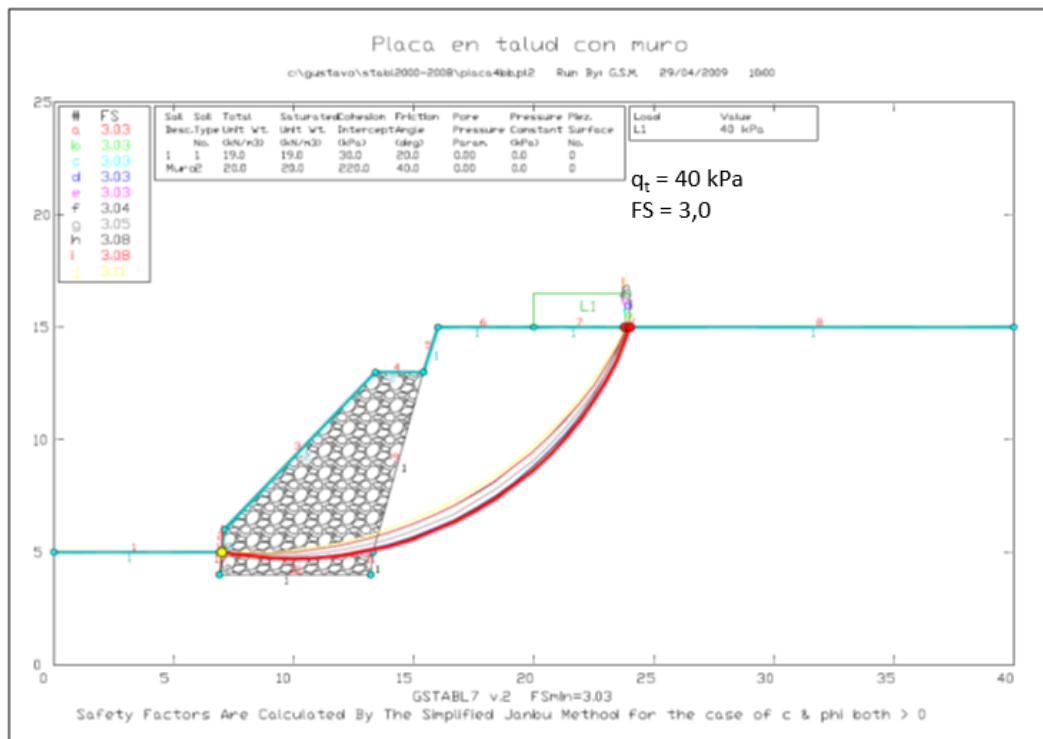


Figura 23

Estabilización de la cimentación utilizando un de gravedad. Factor de seguridad obtenido de 3,0

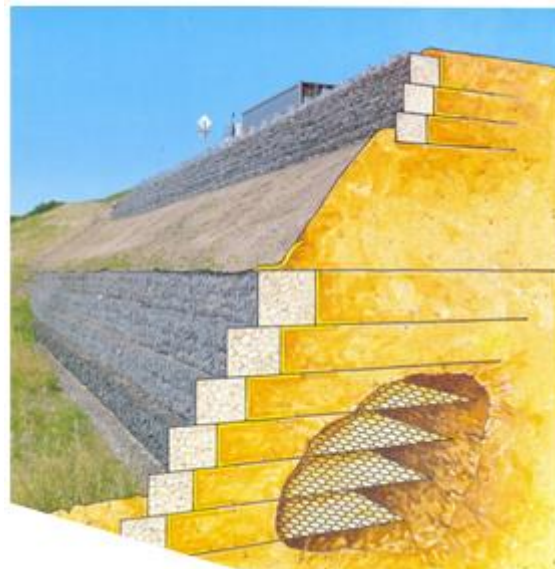


Figura 24.

Muro de suelo reforzado con sistema Terramesh de Macaferri

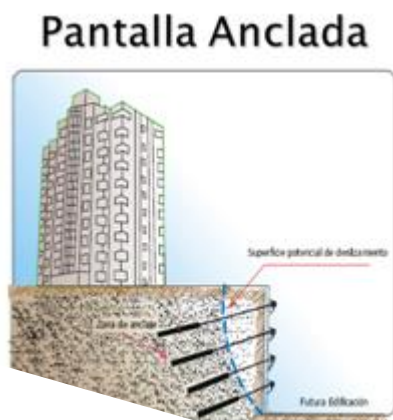


Figura 25.

Pantalla con anclajes activos



Figura 26

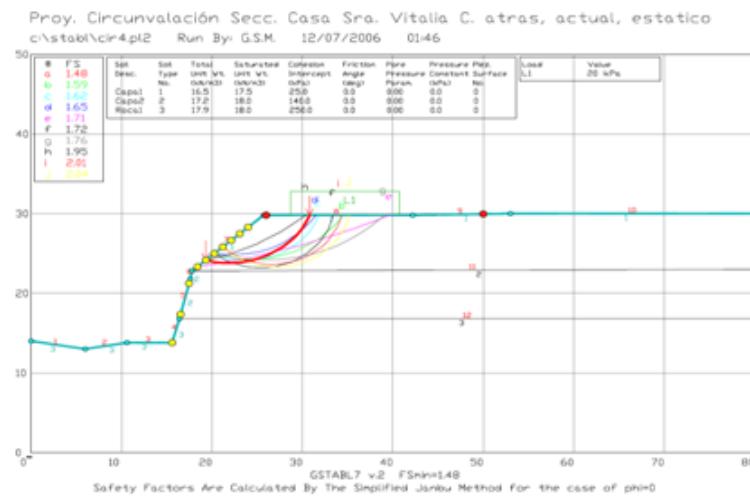
Muro con anclajes pasivos (soil nailing)

En la figura 27 se presenta un caso de real de análisis en una vía urbana donde la realización de un corte en talud produjo agrietamientos en un edificio de apartamentos localizados en la parte alta del corte. La propietaria demandó a la empresa estatal encargada de la vía, quién tuvo que realizar

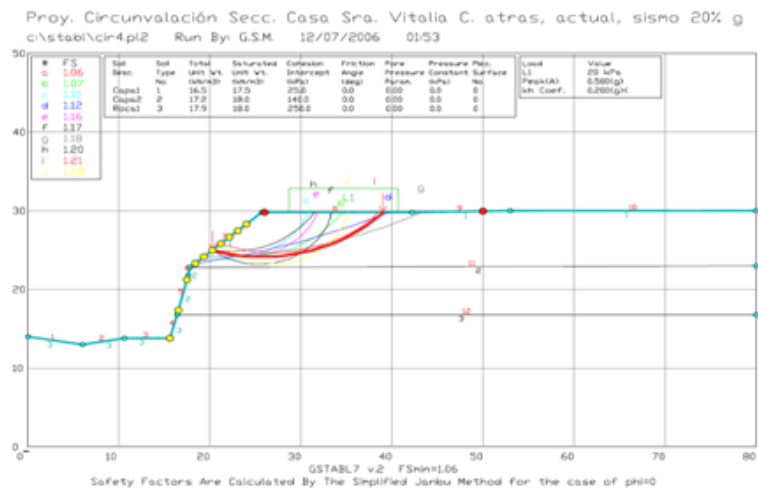
## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

los estudios, diseños y la estabilización del talud para garantizar la seguridad futura de la obra.

En la misma figura 27 se presenta los análisis de la situación inicial, en que se determina que el factor de seguridad estático y dinámico (después de realizado el corte) eran de 1,50 y 1,10 respectivamente; valores que no cumplen con lo estipulados por el Código de Cimentaciones de Costa Rica.



Factor de seguridad estático = 1,50



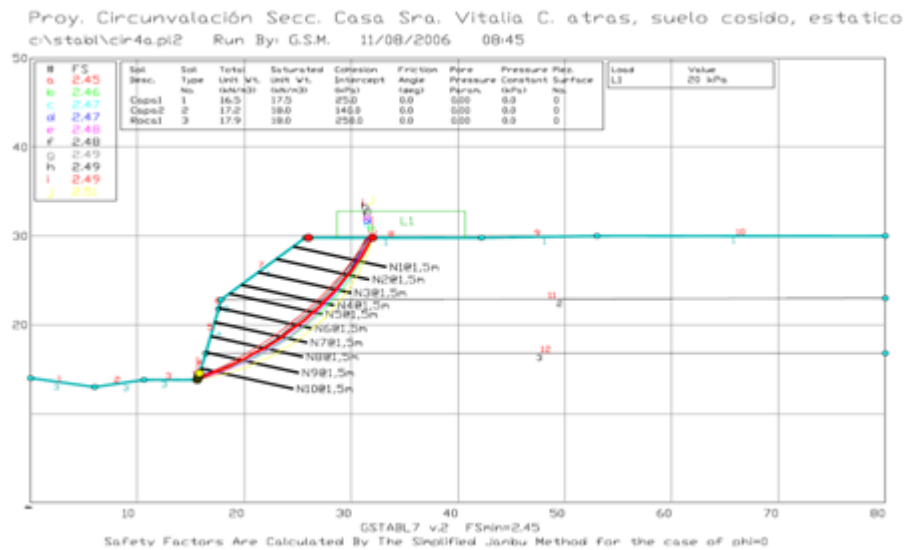
Factor de seguridad con sismo = 1,10

Figura 27.

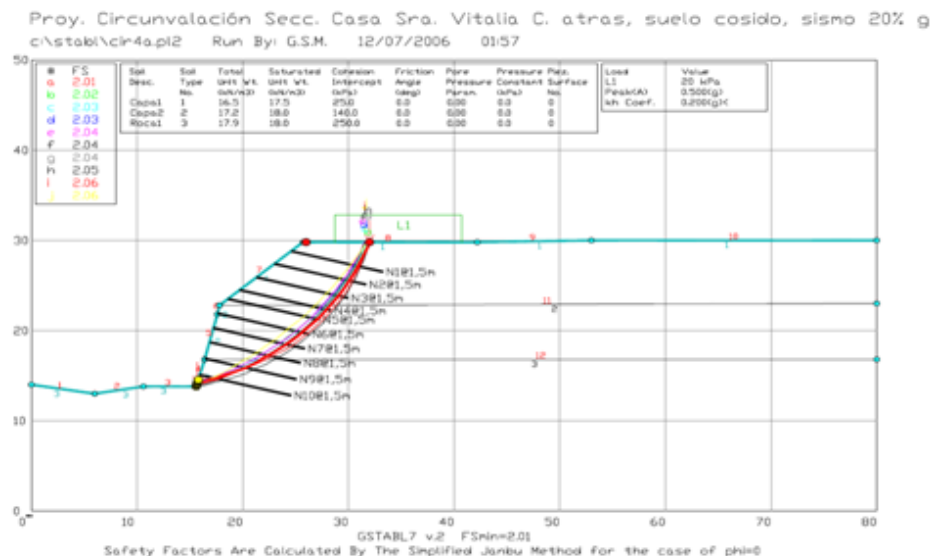
Caso real de vivienda sobre talud (condición inicial)

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL "II CCI UCLV 2019"

Para resolver el problema se diseñó un sistema de estabilización del talud con anclajes pasivos (ver figura 28) obteniéndose valores del factor de seguridad estático y dinámico de 2,50 y 2,00 respectivamente; valores que cumplen a cabalidad con lo estipulado por el Código de Cimentaciones de Costa Rica.



Factor de seguridad estático = 2,50



Factor de seguridad con sismo = 2,0

Figura 28.

Factores de seguridad con la solución

Una vista de la obra terminada se presenta en la figura 29



Figura 29.

Vista de obra terminada

Los ejercicios anteriores dejan en claro lo siguiente:

- Que el método de equilibrio limite permite estudiar, diseñar y resolver el caso de capacidad soportante de cimentaciones cercanas a taludes.
- Que es posible la construcción de cimentaciones cercanas a taludes; siempre que (en caso necesario) se utilicen y diseñen sistemas de contención o de reforzamiento de taludes que lleven el factor de seguridad a un valor aceptable.
- Que para construir cimentaciones cercanas a taludes el propietario debe pagar un precio adicional, proveniente de las obras de estabilización que son necesarias para llevar el factor de seguridad a un valor seguro.

## **EFEECTO DE LOS SISMOS SOBRE LOS TALUDES**

Los sismos son fuentes vibratorias que tienen los siguientes efectos sobre los taludes:

- ✓ Amplifican las aceleraciones del sismo debido al efecto de borde libre.
- ✓ Producen fuerzas inestabilizadoras que tienden a movilizar la masa de suelos.
- ✓ Reducen el factor de seguridad.
- ✓ Producen grietas de tracción en las cercanías del talud

La figura 30 muestra que las ondas sísmicas al llegar a un frente libre (talud) se amplifican y producen esfuerzos de tracción. En la figura 31 se muestra que la fuerza sísmica es inestabilizadora y se suma a las fuerzas gravitacionales, lo que reduce el factor de seguridad.

La figura 32 ejemplifica el hecho de que una edificación sobre un talud puede comportarse bien bajo cargas gravitacionales (en que el factor de seguridad sea por ejemplo del orden de 2,5), pero se agrieta y daña mucho durante un sismo cuando el factor de seguridad se aproxima a 1,0.

Las figuras 33 y 34 muestra fotos de estructuras dañadas durante sismos, en que el talud todavía no ha fallado, pero el agrietamiento del terreno (factor de seguridad cercano a 1,0) ha producido daños estructurales severos.

Finalmente, la figura 35 muestra el caso de una falla de talud durante el sismo de Cinchona.

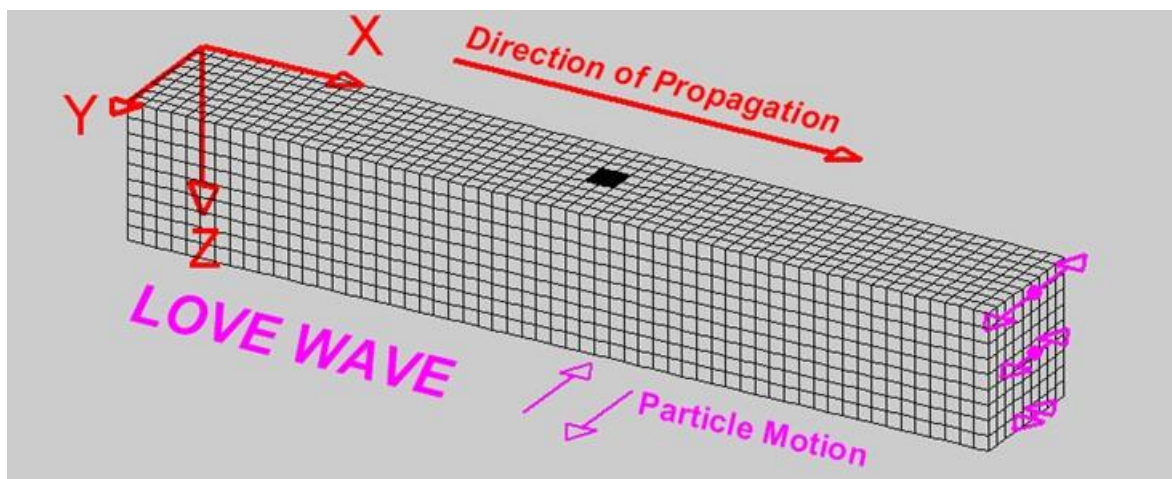
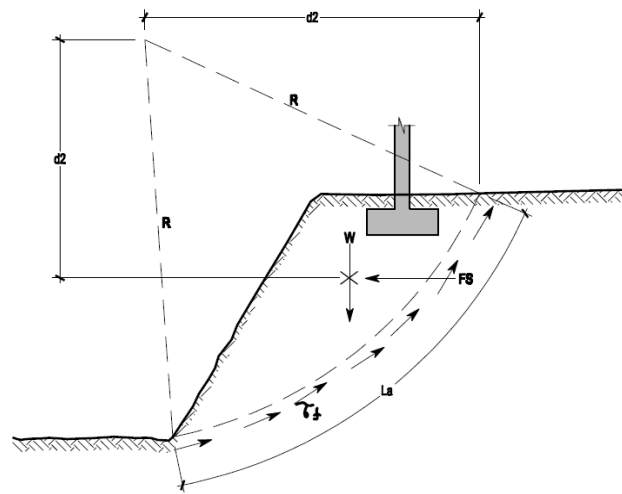


Figura 30

Movimientos del terreno durante sismos en cercanía de taludes





$$FS = \frac{\tau_f * L_a * R}{W * d_1 + FS * d_2}$$

Figura 31

Efecto del sismo sobre la estabilidad

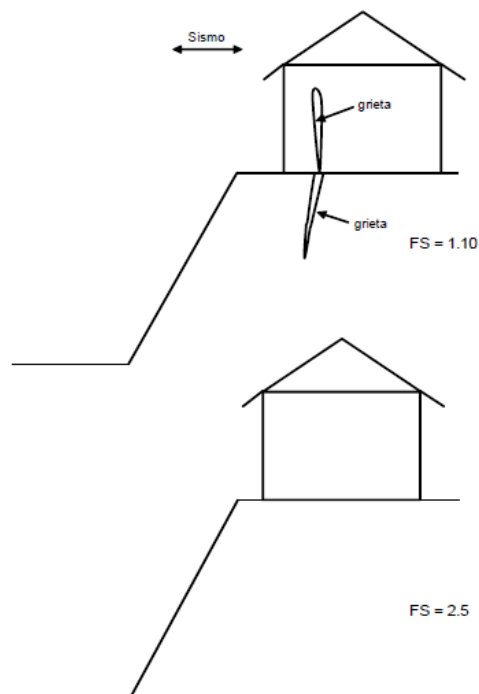


Figura 32

Agrietamiento del terreno durante sismos



Figura 33

Daños de cimentaciones cercanas a taludes



Figura 34

Agrietamientos del terreno durante sismos





Figura 35  
Falla talud durante sismo

## CONCLUSIONES

- En este artículo se presenta una discusión técnica sobre el comportamiento de cimentaciones cercanas a taludes.
- Se destaca la importancia del método de equilibrio límite para estimar la capacidad soportante de cimentaciones cercanas a taludes.
- Los factores de seguridad que se deberán utilizar para el diseño de cimentaciones cercanas a taludes deben ser los mismos que los utilizados para cimentaciones sobre terreno plano; según lo estipula el Código de Cimentaciones de Costa Rica.
- Los factores de seguridad estipulados en la tabla 3 del Código Geotécnico de Taludes y laderas de Costa Rica no se deberán utilizar para el diseño de cimentaciones sobre taludes. Tales valores son muy bajos y conducen a estructuras que se agrietan o que tienen alto riesgo de riesgo. Los mismos son aplicables para taludes que no soportan edificaciones.
- Para cumplir con los factores de seguridad que estipula el código de Cimentaciones de Costa Rica es usual que se requiera el diseño y construcción de obras de retención y/o de reforzamiento de taludes, a fin de cumplir con los factores de seguridad que se especifican en

## II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



dicho Código. Tales obras pueden ser, por ejemplo: muros de retención rígidos o flexibles, pantallas de pilotes ancladas, suelo cosido (soil nailing), pantallas con anclajes activos, etc.

### REFERENCIAS

- 1- Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones (ACMSIF) , “Código de Cimentaciones de Costa Rica”, Editorial Tecnológica – 1995
- 2- Asociación Costarricense de Geotecnia (ACG), “Código de Cimentaciones de Costa Rica”, Editorial Tecnológica – 2009.
- 3- Asociación Costarricense de Geotecnia, X Congreso 2009, Sergio Sáenz: ”Factores de seguridad de cimentaciones en laderas “.
- 4- Asociación Costarricense de Geotecnia, “Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, Editorial Tecnológica, 2015.
- 5- Meyerhof G. 1984. “Artículo técnico de visita realizada a Costa Rica” – 1984.
- 6- Asociación Costarricense de Geotecnia, Seminario de Cimentaciones Especiales 2016, Gastón Laporte, David Barrantes: “Problemas de cimentaciones de obras en laderas debido a deformaciones inducidas por lluvias o sismos”.
- 7- Asociación Costarricense de Geotecnia, Seminario de Cimentaciones Especiales 2016, Marco Tapia: Estabilidad y capacidad soportante de cimentaciones en ladera”.