

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD
BAJO CARGAS DE UN TERRAPLÉN**

**OSCAR DUARTE OLACHICA
SILVIA PATRICIA RODRIGUEZ MARIÑO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2015**

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD
BAJO CARGAS DE UN TERRAPLÉN.**

OSCAR DUARTE OLACHICA

COD. 2083004

SILVIA PATRICIA RODRIGUEZ MARIÑO

COD. 2094568

**Trabajo de grado modalidad de investigación para optar por el título de
ingeniero civil**

Director

WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ

Ingeniero civil, M.Sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

Ante todo agradecerle a Dios por darme la oportunidad de cumplir esta meta, por mantenerme en pie cada día y no dejarme caer ante las adversidades.

A mis padres Miguel Antonio Duarte Velazco y Sofia Olachica, por brindarme su apoyo, comprensión y por estar en cada momento de mi vida, a mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mi compañera de proyecto Silvia Patricia Rodríguez Mariño por su dedicación y colaboración.

OSCAR DUARTE OLACHICA

DEDICATORIA

Primero que todo quiero agradecerle a Dios nuestro señor por permitirme culminar esta etapa tan importante, por guiarme, darme la fortaleza en todos y cada uno de los momentos de mi vida.

A mis padres José Ignacio Rodríguez Celis y Edilia Mariño González por ser ese apoyo incondicional en mi vida, mi razón y fortaleza para sacar adelante mi carrera.

A mi compañero de proyecto Oscar Duarte Olachica por su paciencia y colaboración.

SILVIA PATRICIA RODRIGUEZ MARIÑO

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se logró gracias a la influencia directa o indirecta de muchas personas a las que le agradecemos profundamente por estar presentes en las distintas etapas de su elaboración y que estuvieron dispuestos a brindarnos su apoyo y colaboración.

A Dios, quien nos dio la fortaleza para sacar a delante nuestro proyecto.

A nuestro director M.Sc. Wilfredo Del Toro Rodríguez por dirigir nuestro proyecto grado y apoyarnos durante toda su realización.

A la escuela de Ingeniería Civil y a la universidad industrial de Santander que gracias a sus docentes hicieron posible que nuestro desarrollo profesional.

A nuestras familias por su apoyo y dedicación incondicional durante este proceso para obtener el título de ingenieros civiles.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	19
1.1 PRESIONES DE TIERRA EN CONDICIONES ESTABLES	19
1.2 TEORÍA DE COULOMB.....	19
1.3 EMPUJE PRODUCIDO POR LA ACCIÓN SÍSMICA.....	21
1.4 NORMA NSR – 10	22
1.4.1 Valores del factor de seguridad directos	22
1.4.2 Valores del factor de seguridad indirectos	23
2. METODOLOGÍA	25
2.1 FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	25
2.2 FASE 2: ESTUDIAR LA INFORMACIÓN.....	25
2.2.1. Tipos de muros de contención	25
2.2.2. Terraplenes:.....	28
2.3 FASE: 3 PAUTAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	29
2.3.1 Localización del sitio	29
2.3.2 Características físicas del sitio.....	29
2.3.3 Exploración Geotécnica.	31
2.3.4 Características y localización de sondeos.	31
2.4 FASE 4: MODELAMIENTO DE LAS SOLUCIONES EN EL SOFTWARE SLIDE	33
2.4.1 Muro en Concreto Reforzado.....	34
2.4.2 Muros en Gaviones.....	36
2.4.3 Tierra Armada	38

4. FASE 5: SOLUCIONES PARA LA CONTENCIÓN DEL TERRAPLÉN PARA DAR ESTABILIDAD DEL TALUD	39
4.1. ANÁLISIS DE COSTOS APROXIMADOS	39
5. CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Factores de seguridad básicos mínimos directos.....	23
Tabla 2.	<i>Factores de seguridad básicos mínimos indirectos</i>	<i>24</i>
Tabla 3.	Localización de sondeos	31
Tabla 4.	<i>Resumen de ensayos SPT.....</i>	<i>32</i>
Tabla 5.	<i>Parámetros geotécnicos del suelo.....</i>	<i>33</i>
Tabla 6.	<i>Propiedades del muro en concreto.....</i>	<i>35</i>
Tabla 7.	<i>Dimensionamiento del Muro.....</i>	<i>35</i>
Tabla 8.	<i>Propiedades del muro en Gaviones</i>	<i>36</i>
Tabla 9.	<i>Costos Aproximados del muro en Gaviones. (Ver anexo J).....</i>	<i>37</i>
Tabla 10.	<i>Resultados FS.....</i>	<i>39</i>
Tabla 11.	<i>Costos aproximados.....</i>	<i>39</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Presión activa de Coulomb.....	20
Figura 2.	<i>Muros de Contención en Voladizo.....</i>	27
Figura 3.	Modelo de SLIDE, Perfil talud. (Ver anexo B1.)	33
Figura 4.	<i>Modelo geométrico del muro de contención.....</i>	34
Figura 5.	<i>Modelo de SLIDE, para en muro concreto.</i>	36
Figura 6.	<i>Modelo del muro en Gaviones.....</i>	37
Figura 7.	Modelo de SLIDE, para en muro Gaviones.....	38
Figura 8.	Modelo del muro en Tierra armada.	38

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	<i>Sitio Estudiado</i>	29
Ilustración 2.	Vista General Sector Sur Oriental	30
Ilustración 3.	<i>Vista General Talud Sur Oriental</i>	31
Ilustración 4.	Localización de los sondeos.....	32

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Ensayo de laboratorio.....	44
ANEXO B. Características y localización de sondeos.....	45
ANEXO C. Resumen de ensayos SPT.....	46
ANEXO D. Correlaciones para suelos granulares.....	47
ANEXO E. Perfil talud.....	48
ANEXO F. Perfil talud en construcción.....	50
ANEXO G. Perfil talud con muro de concreto.....	52
ANEXO H. Perfil del talud con muro de gaviones.....	54
ANEXO I. Perfil del talud con muro de tierra armada.....	56
ANEXO J. APU de muros.....	58

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD BAJO CARGAS DE UN TERRAPLÉN.

AUTOR(ES):

Oscar Duarte Olachica

Silvia patricia Rodriguez Mariño

PALABRAS CLAVE:

Talud, Estabilidad, Muro de contención, terraplén, SLIDE

DESCRIPCIÓN:

El municipio de Villa Caro – Norte de Santander, ubicado en la meseta de la cordillera oriental cuenta con una extensión de 402 Km² de los cuales 0,36 Km² son urbanos y pertenecen a la cuenca del río Catatumbo, dispone de un estadio de fútbol localizado en la parte superior de un talud, el cual limita el casco urbano. Con el fin de realizar una ampliación de las graderías, se requiere la ampliación de la cancha hacia el talud, para lo cual se debe construir un terraplén, para que permita obtener un ancho adicional de mínimo 7.0 metros a partir de la corona del mismo y un sistema de contención para dicho terraplén. Lo anterior supone un problema de estabilidad para el talud, cuyas condiciones serán analizadas mediante el software SLIDE, que es un programa de Rocscience especializado para ese tipo de análisis. El objetivo principal de esta investigación es identificar qué sistema de muro de contención es el más adecuado para garantizar la estabilidad del talud, esto se hará mediante la aplicación de dicho software donde serán analizadas las diferentes condiciones de estabilidad bajo las diferentes alternativas de contención factibles de utilizar, se podrá obtener el factor de seguridad mediante el software SLIDE, así se podrá ver qué sistema de contención cumple con la estabilidad del talud, aplicando la teoría de Mohr-Coulomb y teniendo en cuenta la interacción ejercida entre el sistema muro-suelo cumpliendo con las condiciones establecidas en la norma sísmo resistente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Wilfredo Del Toro Rodríguez. Ingeniero civil, M.Sc.

ABSTRACT

TÍTULO:

ANALYSIS OF STABILITY OF SLOPE UNDER A LOAD OF A EMBANKMENT.

AUTHOR: Oscar Duarte Olachica

Silvia Patricia Rodriguez Mariño

KEYWORDS: Slope stability, retaining wall, embankment, SLIDE

DESCRIPTION:

The town of Villa Caro - Norte de Santander, located on the plateau of Oriental range has an area of 402 km² of which 0.36 km² are urban and belong to the Catatumbo River basin, has a football stadium located on top of a slope, which limits the town. To make an extension of the bleachers, it requires an enlargement of the field towards the slope, for which an embankment must be built, to obtain a minimum additional width of 7.0 meters from its crown and a containment system for that embankment. This is a problem of stability for the slope, which conditions will be analyzed using the software SLIDE, which is a specialized Rocscience program for such types of analysis. The main objective of this research is to identify which wall retaining system is the most appropriate to guarantee the stability of the slope, this will be done by applying the mentioned software, where different stability conditions will be analyzed under the different containment alternatives feasible to use, the safety factor will be obtained by SLIDE software, to determine what containment system satisfies the slope stability, applying the theory of Mohr-Coulomb and taking into account the interaction exerted between the wall-floor system complying with the conditions established in earthquake resistant norm.

* Work degree

** Faculty of Physical Engineering - Mechanical. School of Civil Engineering. Director Wilfredo Rodríguez Del Toro. Civil Engineer, M.Sc.

INTRODUCCIÓN

Los muros son obras destinadas a la contención de tierras en general. En particular pueden contener granos, agua, etc. Como resulta evidente en los muros que se encuentran a la intemperie, la lluvia se filtra a través de la tierra y entonces el muro pasa a sostener los efectos de empuje dados por la tierra y por el agua, por lo que habrá que tener en cuenta este factor en cuanto a su cálculo. [1]

Los muros de contención tienen como finalidad resistir las presiones laterales o empuje producido por el material retenido detrás de ellos, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación. Los muros de contención se comportan básicamente como voladizos empotrados en su base. Designamos con el nombre de empuje, las acciones producidas por las masas que se consideran desprovistas de cohesión, como arenas, gravas, cemento, trigo, etc. En general los empujes son producidos por terrenos naturales, rellenos artificiales o materiales almacenados.

Hasta finales del siglo XIX, se construían muros de mampostería y piedra, a partir del siglo XX se comenzó a construir muros de concreto en masa y de concreto armado, desplazando en muy buena parte a los materiales anteriormente utilizados.

Para proyectar muros de sostenimiento es necesario determinar la magnitud, dirección y punto de aplicación de las presiones que el suelo ejercerá sobre el muro. [2]

Los Terraplenes forman parte de uno de los dos grandes grupos de las obras de tierra, al igual que los Desmontes. Son también denominados rellenos y generalmente son obras de ingeniería que consisten en grandes acumulaciones

de tierra que se compactan y estabilizan para servir de soporte a cualquier obra de ingeniería. [3]

Los terraplenes están compuestos de partículas sueltas, que pueden quedar yuxtapuestas de formas muy variadas, obteniéndose cuerpos de propiedades diferentes de cada caso, estas propiedades quedan modificadas. [4]

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas. [5]

En el actual proyecto de investigación se analizó la estabilidad de un talud bajo cargas de un terraplén, se modelaron diferentes sistemas de contención, verificando su factor de seguridad.

1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

1.1 PRESIONES DE TIERRA EN CONDICIONES ESTABLES

En el caso de un corte o terraplén donde no existe posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento grande masivo se acostumbra construir muros de contención para resistir las presiones generadas por la existencia de un talud de gran pendiente o semi-vertical.

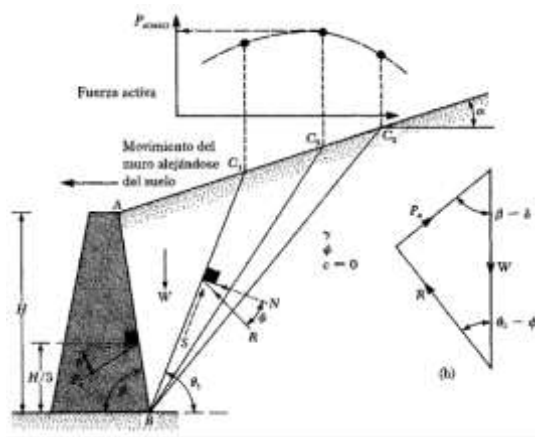
La necesidad del muro se debe a que dentro del suelo se generan unas presiones horizontales que puede inducir a la ocurrencia del derrumbamiento o deslizamiento de una cuña de suelo relativamente sub-superficial.

1.2 TEORÍA DE COULOMB

En la teoría de Coulomb la fuerza que actúa sobre el muro se determina considerando el equilibrio límite de una tajada de suelo limitada por la espalda de la pared, la superficie del terreno y una superficie plana de falla. Se asume que la resistencia al cortante ha sido movilizada tanto en la espalda del muro, como en la superficie de falla. En contraste con la teoría de Rankine en este caso la fricción suelo - muro detrás de la estructura es movilizada hasta su estado límite. Aunque el valor de δ no afecta en forma significativa el valor calculado del coeficiente K_a , este tiene una influencia importante en el sentido de que cambia la orientación de la fuerza del suelo sobre el muro. [6]

Para aplicar la teoría de la presión activa de tierra de Coulomb, se considera un muro de contención con su paramento inclinado un ángulo β respecto a la horizontal, como se muestra en la **Figura 1**. El relleno es un suelo granular y δ es el ángulo de fricción entre el suelo y el muro (es decir, el ángulo de fricción del muro).

Figura 1. Presión activa de Coulomb



Fuente: Apuntes de clase Fundaciones I

Bajo presión activa, el muro se moverá alejándose de la masa de suelo. La fuerza activa de Coulomb \$P_A\$ (1) localizada en el centroide de la distribución triangular, a \$H/3\$ desde la base de la estructura siendo \$H\$ la altura del muro. [7]

Presión estática de muros de contención:

El comportamiento sísmico de los muros de contención depende de la presión lateral total del suelo que se desarrolla durante el movimiento sísmico. Estas presiones totales incluyen tanto la presión gravitacional estática que existe antes de que el sismo ocurra, como la presión dinámica transiente inducida por el sismo.

Dado que la respuesta del muro está influenciada por ambas presiones, se presenta una breve revisión de la presión estática de suelos. [8]

$$P_A = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_A \quad (1)$$

1.3 EMPUJE PRODUCIDO POR LA ACCIÓN SÍSMICA

Los empujes dinámicos de suelos sobre estructuras de contención generalmente se determinan mediante un análisis pseudo-estático (Mononobe, 1929; Okabe, 1926). Este procedimiento considera desplazamiento prácticamente nulo en el muro, haciendo necesaria una revisión de sus variables.

Método de Mononobe-Okabe (M-O)

Este método considera la aplicación de aceleraciones pseudo-estáticas, tanto horizontales como verticales, a la cuña activa de Coulomb. El empuje de suelos pseudo-estático se obtiene entonces a partir del equilibrio de la cuña.

- ✓ Las fuerzas actuando sobre una cuña activa, en el caso de un suelo seco sin cohesión.
- ✓ Además de las fuerzas que existen bajo condiciones estáticas, sobre la cuña también actúan fuerzas pseudo-estáticas horizontales y verticales cuyas magnitudes están relacionadas con la masa de la cuña mediante aceleraciones pseudo-estáticas.

Para una condición sin sismo $k_h = 0$ $k_v = 0$ y $\theta' = 0$ por consiguiente $K_{ae} = K_a$ (2).

$$\frac{\sin(\phi + \beta)^2}{\sin(\beta * \sin(\beta - \delta))^2 * \left[1 + \left(\frac{\sin(\delta + \phi) * \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) * \sin(\beta + \alpha)} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2}$$

(2)

Para una condición con sismo, la relación para la fuerza activa por unidad de longitud del muro (P_{ae}) se determina como en la ecuación (3)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (1 - K_v) * K_{ae} \quad (3)$$

Donde K_{ae} se especifica en las ecuaciones (4) y (5)

$$K_{ae} = \text{Coeficiente de presión activa de la tierra}$$

$$\frac{\sin(\phi + \beta - \theta')^2}{\cos \theta' * \sin(\beta * \sin(\beta - \theta' - \delta))^2 * \left[1 + \left(\frac{\sin(\varphi + \delta) * \sin(\varphi - \theta' - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \theta') * \sin(\alpha + \beta)} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2} \quad (4)$$

$$\theta' = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 - k_v} \right] \quad (5) [9]$$

1.4 NORMA NSR – 10

Definición: En Ingeniería Civil en general el Factor de Seguridad FS se define como la relación entre fuerzas resistentes F_R y actuantes F_A y también pueden usarse esfuerzos y se usa para evaluar el Estado Límite de Falla:

$$FS = F_R / F_A$$

$$FS = \tau_r / \tau_A$$

1.4.1 Valores del factor de seguridad directos .Para seleccionar los factores de seguridad es recomendable tener en cuenta:

- ✓ Dimensión de la obra.

- ✓ Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.
- ✓ La calidad de la información disponible en materia de suelos.
- ✓ En ningún caso el factor de seguridad debe ser inferior a 1.0

Tabla 1. Factores de seguridad básicos mínimos directos

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.8	1.4
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo Estático	1.10	1.00	No se permite	No se permite
Taludes - Condición Seudo-estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes - Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00	No se permite	No se permite

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título H

1.4.2 Valores del factor de seguridad indirectos .Es el factor de seguridad geotécnico real, pero de él se derivan Factores de Seguridad Indirectos que tienen valores diferentes y los cuales se especifican en los diferentes capítulos de este título H, pero en todo caso se debe demostrar que el empleo de éstos FS indirectos implica Factores de Seguridad Básicos FSB iguales o superiores a los valores mínimos FSBM. [10]

Tabla 2. *Factores de seguridad básicos mínimos indirectos*

Condición	F_{SIC} Mínimo
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo Estático	1.5

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título H

2. METODOLOGÍA

Para realizar el análisis de estabilidad de un talud bajo cargas de un terraplén; fue necesario utilizar una metodología que se encuentra dividida en 5 fases que son: revisión bibliográfica, estudiar la información encontrada de los tipos de muros, terraplén y del talud sometido a las cargas, obtención de las pautas necesarias para realizar el diseño, modelamiento de las soluciones propuestas en el software SLIDE, dar a conocer los resultados de los modelamientos que se realizaron en el software descrito anteriormente.

2.1 FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Consiste en la revisión bibliográfica de los temas que están relacionados con terraplenes, muros de contención y taludes sometidos a cargas.

2.2 FASE 2: ESTUDIAR LA INFORMACIÓN

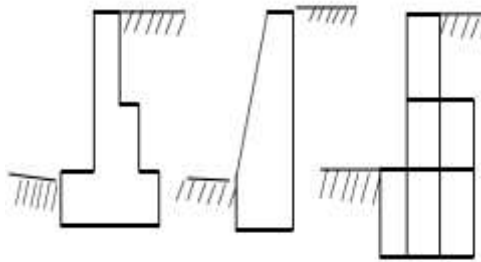
En esta fase haremos una selección de la información encontrada con el fin de darle un desarrollo adecuado al proyecto.

2.2.1. Tipos de muros de contención. *Muros de gravedad:* Son muros con gran masa que resisten el empuje mediante su propio peso y con el peso del suelo que se apoya en ellos; suelen ser económicos para alturas moderadas, menores de 5 metros, son muros con dimensiones generosas, que no requieren de refuerzo. En cuanto a su sección transversal puede ser de varias formas, en la figura 2 se muestran Algunas secciones de ellas.

Los muros de gravedad pueden ser de concreto ciclópeo, mampostería, piedra o gaviones. La estabilidad se logra con su peso propio, por lo que requiere grandes

dimensiones dependiendo del empuje. La dimensión de la base de estos muros oscila alrededor de 0,4 a 0,7 de la altura.

Figura 2. *Muros de Gravedad*

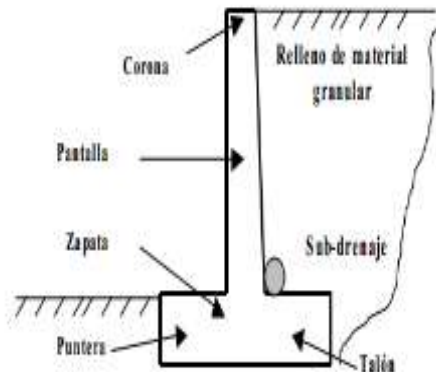


Fuente: Libro Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado. TORRES Rafael Ángel.

Muros en voladizo o en ménsula: Este tipo de muro resiste el empuje de tierra por medio de la acción en voladizo de una pantalla vertical empotrada en una losa horizontal (zapata), ambos adecuadamente reforzados para resistir los momentos y fuerzas cortantes a que están sujetos, en la figura 3 se muestra la sección transversal de un muro en voladizo.

Estos muros por lo general son económicos para alturas menores de 10 metros, para alturas mayores, los muros con contrafuertes suelen ser más económicos.
[11]

Figura 2. Muros de Contención en Voladizo



Fuente: Libro Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado. TORRES Rafael Ángel.

Tierra Reforzada: Son terraplenes donde el suelo es su principal componente; y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. Internamente debe su resistencia principalmente, al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir. Utilizan el suelo como su principal componente. Puede adaptarse fácilmente a la topografía. Permite construirse sobre fundaciones y puede demolerse o repararse fácilmente, pero requiere espacio disponible superior al de cualquier estructura otra estructura de contención.

Muros de concreto reforzado: Una estructura de concreto reforzado resiste movimientos debidos a la presión de la tierra sobre el muro. El muro a su vez se apoya en una cimentación por fuera de la masa inestable.

Una pared en concreto reforzado, económica y variable para alturas hasta de 8 metros. Para alturas mayores el espesor de la placa semi-vertical aumenta en forma considerable y el muro se vuelve un poco más costoso.

Tipos de muro reforzados:

- ✓ *Muros empotrados o en cantiliber, en forma de L o T invertida:* los cuales tienen una placa semi-vertical o inclinada monolítica con otra placa en la base.
- ✓ *Muros con contrafuertes:* en los cuales la placa vertical o inclinada está soportada por contrafuertes monolíticos que le dan rigidez y ayudan a transmitir la carga a la placa de cimientos.
- ✓ *Muros con estribos:* en los cuales adicionalmente a la placa vertical y a la placa de cimentación y los contrafuertes, se construye una placa superior sub-horizontal que aumentan la rigidez y capacidad para soportar momentos. [12]

2.2.2. Terraplenes:. Son grandes acumulaciones de tierra adecuadamente tratadas y compactadas para asegurar su estabilidad y servir de soporte a la vía. Los terraplenes se constituyen siguiendo un diseño previamente elaborado, en sitios previamente, definidos, con suelos previamente seleccionados y utilizando métodos y recursos también determinados.

Tipos de Terraplenes:

1. Terraplenes en zonas planas: se caracterizan por tener alturas pequeñas (menor de 5 metros).
2. Terraplenes en zonas montañosas y escarpadas: se caracterizan por tener altura muy grande (hasta 30 metros).
3. Terraplenes en zonas onduladas: tienen características intermedias de acuerdo a las dos anteriores. [13]

2.3 FASE: 3 PAUTAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Las pautas encontradas a continuación fueron dadas por el director del proyecto. Estas hacen referencia a los resultados de los sondeos geotécnicos realizados utilizando equipo de perforación a Rotación, con ensayos de penetración estándar cada 50 centímetros (Normas ASTM D1586), ejecutados donde se proyecta construir el predio.

2.3.1 Localización del sitio

El sitio estudio se encuentra dentro sobre el sector norte y sur del estadio de futbol del municipio de Villa Caro Norte Santander.

Ilustración 1. *Sitio Estudiado.*



Fuente: Google Earth

2.3.2 Características físicas del sitio. *Clima:* Villa caro está ubicado en una pequeña meseta de la Cordillera Oriental rodeada de páramos por sus cuatro puntos cardinales. Tiene una extensión de 402 Km², de los cuales 0,36 Km² son urbanos, pertenece a la cuenca del Catatumbo y a las subcuencas de los ríos Sardinata y Tarra.

El municipio se encuentra rodeado por cuatro (4) elevaciones montañosas como son el Espartillo, la Ovejera, el cerro de Cachiri y las Bartolas. Pertenece a la cuenca del Río Catatumbo, y a las sub cuencas de los ríos Sardinata y El Tarra.

A pesar de la distancia con la capital del departamento, por medio de las dos vías existentes, nos comunica al interior del país pasando por el municipio de CÁCHIRA, La Esperanza, Bucaramanga, Bogotá; la otra vía nos conduce hacia la costa pasando por Alto el Pozo, Ocaña y la Costa Caribe.

Límites del municipio: Su territorio quebrado ubicado en la cordillera oriental, permite que sus límites sean con los Municipios de: Abrego por el Norte, con Bucarasica por el Nororiente, CÁCHIRA por el Sur, Salazar por el Sur Oriente, con Lourdes y Gramalote por el Oriente y por el Occidente con Abrego. Las principales características del clima de la zona son las siguientes:

- ✓ *Temperatura:* Villa Caro presenta una temperatura media de 18° C

Ilustración 2. Vista General Sector Sur Oriental



Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S.

Ilustración 3. Vista General Talud Sur Oriental



Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S.

2.3.3 Exploración Geotécnica. Ensayos in situ: Se realizaron sondeos continuos a percusión en tramos de 50 centímetros de longitud realizando ensayos de penetración estándar SPT en cada uno de los tramos.

- ✓ Número total de sondeos: 6.
- ✓ Ensayos de campo: Penetración estándar (SPT) Norma AS TM D 1586, I.N.V.E. 111.
- ✓ Tipo de muestras obtenidas: Muestras en tubo partido.

2.3.4 Características y localización de sondeos.

Tabla 3. Localización de sondeos

PERFORACIÓN No.	EQUIPO	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD (mts)
1	Rotación	N 07°54'55.02 W 72°58'13.26	5.00
2	Rotación	N 07°54'54.06 W 72°58'14.34	5.00
3	Rotación	N 07°54'52.92 W 72°58'13.02	10.00
4	Rotación	N 07°54'54.48 W 72°58'11.7	10.00
5	Rotación	N 07°54'53.7 W 72°58'11.64	2.50
6	Rotación	N 07°54'53.22 W 72°58'12.42	2.50

Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S.

Ilustración 4. Localización de los sondeos



Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en el sitio:

Ensayos de penetración estándar SPT

Tabla 4. Resumen de ensayos SPT

PROFUNDIDAD (m)	SONDEO					
	1	2	3	4	5	6
	N/SPT					
0.0 a 0.5	20	11	20	21	8	11
0.5 a 1.0	20	18	10	9	19	22
1.0 a 1.5	14	25	12	15	18	24
1.5 a 2.0	11	11	11	12	19	29
2.0 a 2.5	12	20	14	15	26	33
2.5 a 3.0	17	17	16	15		
3.0 a 3.5	18	30	17	19		
3.5 a 4.0	24	21	24	28		
4.0 a 4.5	15	23	23	37		
4.5 a 5.0	24	26	16	46		

Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S.

- ✓ El estudio de suelos detallado se encuentra en el anexo A, B, C y D

Figura 3. Modelo de SLIDE, Perfil talud. (Ver anexo B1.)

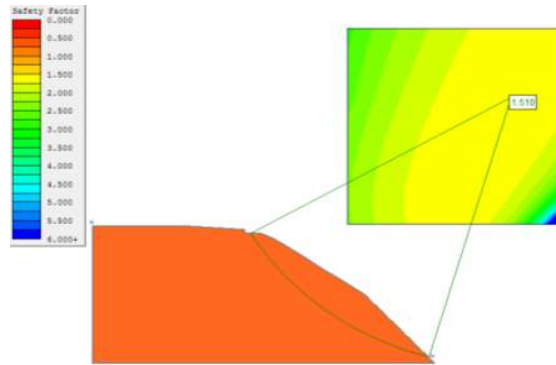


Tabla 5. *Parámetros geotécnicos del suelo*

PARAMETROS GEOMECÁNICOS			
ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN	TIPO DE SUELO	ASPECTO FISICO
36°	19 KN/m2	ML	Suelo residual compuesto por limo húmedo, poco

Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S.

2.4 FASE 4: MODELAMIENTO DE LAS SOLUCIONES EN EL SOFTWARE SLIDE

SLIDE es un programa que tiene amplias capacidades de análisis probabilístico puede asignar distribuciones estadísticas a casi cualquier parámetro de entrada, incluyendo las propiedades del material, propiedades de apoyo, cargas y nivel freático. La probabilidad de falla se calcula, y proporciona una medida objetiva del riesgo de falla asociada con un diseño. El análisis de sensibilidad le permite determinar el efecto de las variables individuales en el factor de seguridad del talud. [14]

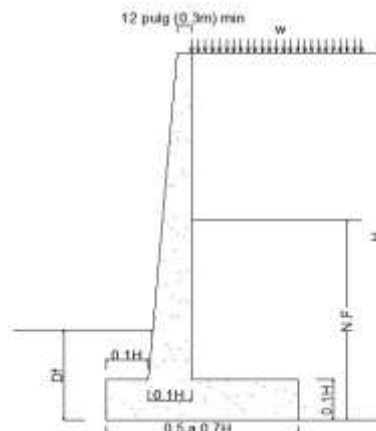
Para el modelamiento de las diferentes soluciones se plantearon tres diferentes sistemas de contención, en el cual se analizara el factor de seguridad y se decidirá cuál puede ser el más adecuado para dar estabilidad al talud.

En anexo B1 y B2 numerales uno (1) y dos (2) se encuentran los resultados de los modelamientos del talud en su estado natural y proceso constructivo, estos factores de seguridad deben ser superiores a 1.5 estático y 1.05 dinámico.

2.4.1 Muro en Concreto Reforzado. Mediante los datos obtenidos del estudio geotécnico del suelo y los materiales, se analiza que tan adecuado es el uso del muro en concreto reforzado evaluando tanto su estabilidad intrínseca del muro como la general del talud, tanto en condiciones estáticas como dinámicas y comparando estos resultados con los demás sistemas de contención.

Para ello se utiliza la herramienta computacional SLIDE, donde se realiza el dibujo esquematizado del muro de contención de acuerdo a las dimensiones mínimas adoptadas, propiedades y geometría del talud junto con dicho sistema.

Figura 4. *Modelo geométrico del muro de contención*



Fuente: Apuntes de clase Estabilidad de Taludes.

De acuerdo con el tipo de material del muro se adoptan las siguientes propiedades del concreto para ser modelado como material Mohr – Coulomb:

Tabla 6. *Propiedades del muro en concreto*

MURO DE TIERRA ARMADA	
γ (KN/m ³)	24
ϕ	25
c (KN/m ²)	150

Fuente: Director del proyecto.

Se adoptan las siguientes dimensiones para el análisis:

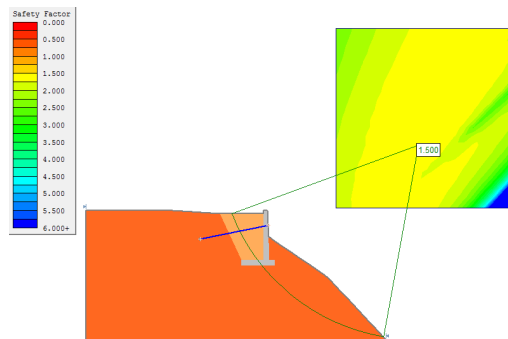
Tabla 7. *Dimensionamiento del Muro.*

DIMENSIONES MÍNIMAS DEL MURO DE CONTENCIÓN		
Altura Total	9	m
Base	5,4	m
Ancho superior del vástago	0,6	m
Ancho inferior del vástago	0,9	m
Punta	0,9	m
Espesor de la Base	0,9	m

Utilizando el método de Mohr – Coulomb se puede verificar que el muro con las dimensiones dadas anteriormente en la tabla 7, cumple con los criterios de estabilidad como son: deslizamiento $FSD = 2.023 > 2$, volcamiento $FSV = 2.6 > 2$ y cimentación.

A partir del modelo analizado en el software SLIDE el factor de seguridad corresponde a 1.5 estático y 1.162 dinámico. Mayores o iguales al factor de seguridad mínimo requerido por la NSR-10 de 1.5 estático y 1.05 dinámico.

Figura 5. *Modelo de SLIDE, para en muro concreto.*



El desarrollo de este sistema de contención se muestra en una secuencia detallada de imágenes en el anexo G.

2.4.2 Muros en Gaviones. Al realizar este modelo en el software SLIDE se inició con las condiciones mínimas obteniendo resultados favorables.

Las medidas de los gaviones utilizados son de 1 m de ancho, un 1m de alto y 1m de profundidad. Su base es de 5m y su altura de 9m, se obtuvieron factores de seguridad estático de 1.512 y dinámico de 1.159. (Ver anexo H)

Tabla 8. *Propiedades del muro en Gaviones*

MURO EN GAVIONES	
Y (KN/m3)	16
ϕ	60
c (KN/m2)	50

Fuente: Director del proyecto

Tabla 9. Costos Aproximados del muro en Gaviones. (Ver anexo J)

MURO GAVIONES (1m * 1m)				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Excavación (incluye transporte material)	m3	42.18	\$ 13,000	\$ 548,340
Descapote (incluye transporte material)	m2	5	\$ 8,000	\$ 40,000
Solado para gavión	m3	0.35	\$ 231,000	\$ 80,850
Malla galvanizada triple torsión	ml	76	\$ 15,000	\$ 1,140,000
Piedra para gaviones	m3	27	\$ 35,000	\$ 945,000
Alambre galvanizado	kg	6.3	\$ 3,500	\$ 22,050
geotextil tej Nt 2400	m2	26	\$ 4,900	\$ 127,400
Relleno de material de la zona	m3	26.36	\$ 14,500	\$ 382,220
Mano de obra (1 oficial, 2 ayudantes)	día	1	\$ 100,569	\$ 100,569

Figura 6. Modelo del muro en Gaviones.

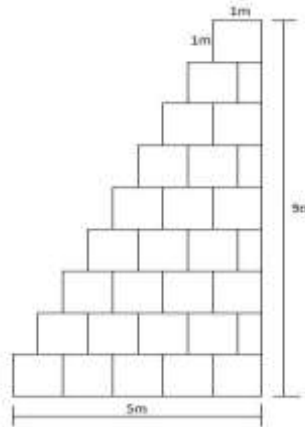
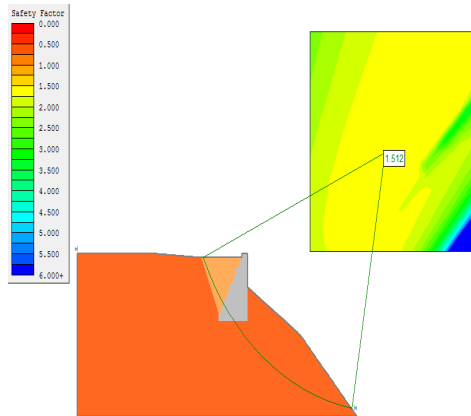


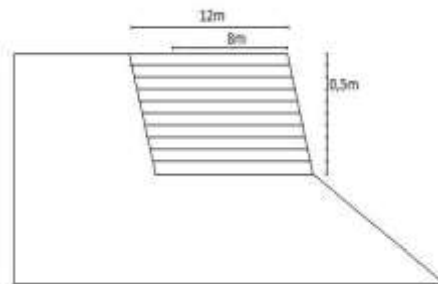
Figura 7. Modelo de SLIDE, para en muro Gaviones.



2.4.3 Tierra Armada. Para este modelo la ampliación del terreno no fue inicialmente de 7 metros como en los anteriores modelos, debido a que se dejó un 1m adicional para colocar la valla que servirá como limitación del estadio de futbol.

Al realizar el modelo en el software SLIDE se ingresaron las propiedades del suelo y del relleno a colocar. El talud se modelo con las condiciones iniciales no cumpliendo con el factor de seguridad, por esta razón se debió ampliar 4m el relleno pasando de 8 a 12 m, se iteró de tal manera que las condiciones iniciales cambiaran para buscar su espaciamiento cumpliendo con el factor de seguridad que dio como resultado 1.574 estático y 1.243 dinámico. (Ver anexo I)

Figura 8. Modelo del muro en Tierra armada.



La configuración final del muro indica que se debe colocar refuerzo de geotextil tipo Pavco 2400T o similar a cada 0.50 metros.

4. FASE 5: SOLUCIONES PARA LA CONTENCIÓN DEL TERRAPLÉN PARA DAR ESTABILIDAD DEL TALUD

Al tener los resultados de los modelamientos en el software SLIDE, se observa que dependiendo el sistema de contención utilizado varia el factor de seguridad tanto en estado estático como dinámico. (Ver **Tabla 10**).

Tabla 10. *Resultados FS*

FACTORES DE SEGURIDAD		
perfil talud	FS Estático	1,510
	FS Dinámico	1,153
Perfil talud en construcción	FS Estático	1,549
	FS Dinámico	1,247
Perfil del talud con muro de tierra armada	FS Estático	1,574
	FS Dinámico	1,243
Perfil del talud con muro de gaviones	FS Estático	1,512
	FS Dinámico	1,159
Perfil talud con muro de concreto	FS Estático	1,500
	FS Dinámico	1,162

4.1. ANÁLISIS DE COSTOS APROXIMADOS

Para realizar un análisis aproximado de los costos se tomó cada sistema de contención del perfil seleccionado, obteniéndose los resultados descritos en la **Tabla 11**, utilizando como unidad de medida metro lineal.

Tabla 11. *Costos aproximados*

PERFIL DEL TALUD		
ÍTEM	UNIDAD	COSTO APROXIMADO
TIERRA ARMADA	m	\$ 3,064,539
MURO GAVIONES	m	\$ 3,306,429
MUROS EN CONCRETO	m	\$ 4,741,519

5. CONCLUSIONES

Con la información obtenida de la exploración de campo y laboratorio, planos topográficos y localización de los sondeos, se utilizó el software AutoCAD obteniéndose el perfil típico del terreno, con el cual se comenzó a analizar los diferentes sistemas de contención.

Se pudo destacar que el software SLIDE ofrece una clara y sencilla interfaz, convirtiéndose en una herramienta importante que ofrece una buena interacción con el usuario, constituyendo una herramienta muy útil, de fácil manejo y que aporta buenos resultados.

Para la selección y construcción de un sistema de contención es necesario conocer las propiedades del talud donde se va a realizar, como son la cohesión, ángulo de fricción, nivel freático y las condiciones geológicas, dando una solución a la inestabilidad generada por 7 m de ampliación del estadio.

Se obtuvieron diferentes factores de seguridad estáticos y dinámicos, de acuerdo a la interacción ejercida entre el muro y el suelo, cumpliendo con las condiciones establecidas en la norma sismo resistente.

Para el caso de la ampliación de las gradas del estadio de Villa Caro, se determinó que de acuerdo a facilidad de construcción, disponibilidad de material de relleno, costos aproximados y factor de seguridad, la solución más adecuada es un sistema de contención mediante muro de tierra armada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARROS PENA, José. *Muros de contención. Monografías de la construcción*. Ediciones Ceas, S. A, 2005.
- [2] TORRES Rafael Ángel. *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Universidad de los Andes facultad de Ingeniería Mérida Venezuela. pp 5, 2008. Fecha de consulta: 19 diciembre 2014
- [3] Universidad de los Andes, facultad de Ingeniería Escuela de Geología. Departamento de Geomecánica. [En línea] <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/Terraplenes.pdf>
- [4] Compactación de terrenos: *terraplenes y pedraplenes teoría y práctica*. Editores y técnicas asociadas, S.A – Barcelona 1977.
<https://books.google.com.co> [Consulta: 26-11-2014]
- [5] Suarez Díaz Jaime, *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, Editorial Universidad Industrial de Santander, 2001, cap. 1, p. 16
- [6] Estructuras de Contención o anclaje [file:///C:/Users/USER/Contacts/Downloads/193-14_estructurasdecontencionoanclaje%20 \(6\).pdf](file:///C:/Users/USER/Contacts/Downloads/193-14_estructurasdecontencionoanclaje%20(6).pdf)
- [7] DEL TORO Wilfredo. *Presiones Laterales de Tierra*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013. Fundaciones I. Diapositivas de Clase
- [8] DAS Braja M. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. 4ta ed. Capítulo Seis. México D.F:2001, pág.306. Muros de Retención

[9] DAS Braja M. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. 4ta ed. Capitulo Seis. México D.F.:2001, pág.306.Muros de Retención

[10] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). *Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10)*.pp -H6. Fecha de Consulta: 5 de diciembre de 2014

[11] TORRES Rafael Ángel. *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Universidad de los Andes facultad de Ingeniería Mérida Venezuela. pp 5, 2008. Fecha de consulta: 19 diciembre 2014

[12] Suarez Díaz Jaime, *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, editorial Universidad Industrial de Santander, 2001, cap. 1, p. 476

[13] Tipos de Terraplén <http://cdigital.udem.edu.co/TESIS/CD-ROM58492011/08.Capitulo3.pdf> [Consulta: 11-12-2014]

[14] Rosciencie. <http://www.rosциencie.com/usage/uso/4/Retaining-Walls> [Consulta: 11-12-2014]

BIBLIOGRAFÍA

BRAJA DAS. (2001). PRINCIPIOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES. Thomson Learning

BOWLES, Joseph E. FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN. MCGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS; 1988.

CRESPO VILLALAZ, Carlos. MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES. LIMUSA, S. A, 2004

BARROS PENA, José. MUROS DE CONTENCIÓN. MONOGRAFÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. Ediciones Ceas, S. A, 2005.

TORRES BELANDRIA, Rafael Angel. ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN DE CONCRETO ARMADO. Universidad de los ANDES; Mérida Venezuela, 2008.

ANEXOS

ANEXO A. Ensayo de laboratorio.

Ensayo	Norma	No. de ensayos
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123	14
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	ASTM D 2216 I.N.V.E. 122	14
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4318 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E. 126	14
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	6

Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S

ANEXO B. Características y localización de sondeos.

PERFORACIÓN No.	EQUIPO	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD (mts)
1	Rotación	N 07°54'55.02 W 072°58'13.26	5.00
2	Rotación	N 07°54'54.06 W 072°58'14.34	5.00
3	Rotación	N 07°54'52.92 W 072°58'13.02	10.00
4	Rotación	N 07°54'54.48 W 072°58'11.7	10.00
5	Rotación	N 07°54.53.7 W 072°58'11.64	2.50
6	Rotación	N 07°54'53.22 W 072°58'12.42	2.50

Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S

ANEXO C. Resumen de ensayos SPT

PROFUNDIDAD (m)	SONDEO					
	1	2	3	4	5	6
	N/SPT					
0.0 a 0.5	20	11	20	21	8	11
0.5 a 1.0	20	18	10	9	19	22
1.0 a 1.5	14	25	12	15	18	24
1.5 a 2.0	11	11	11	12	19	29
2.0 a 2.5	12	20	14	15	26	33
2.5 a 3.0	17	17	16	15		
3.0 a 3.5	18	30	17	19		
3.5 a 4.0	24	21	24	28		
4.0 a 4.5	15	23	23	37		
4.5 a 5.0	24	26	16	46		

Fuente: Ingeniería y Suelos S.A.S

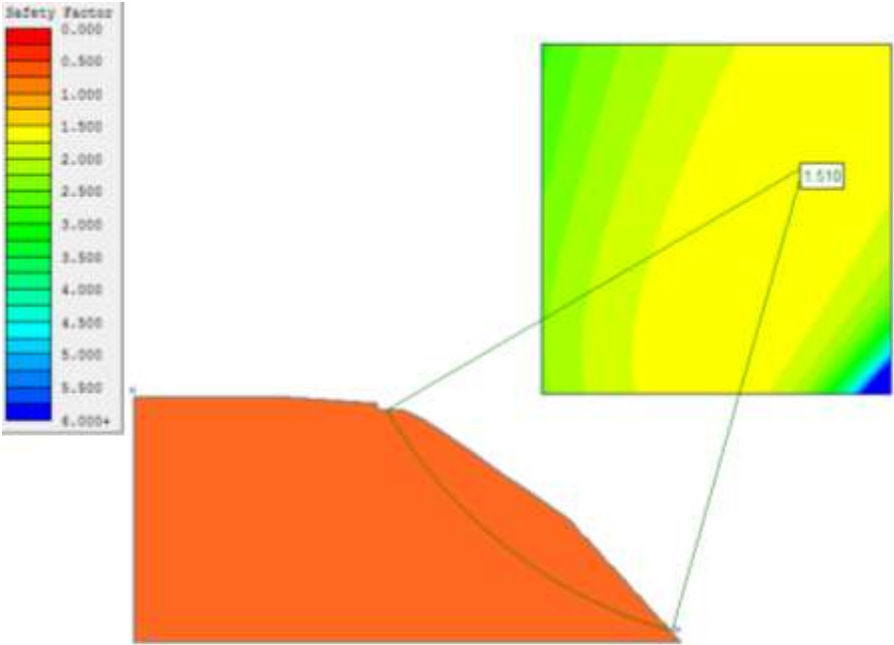
ANEXO D. Correlaciones para suelos granulares

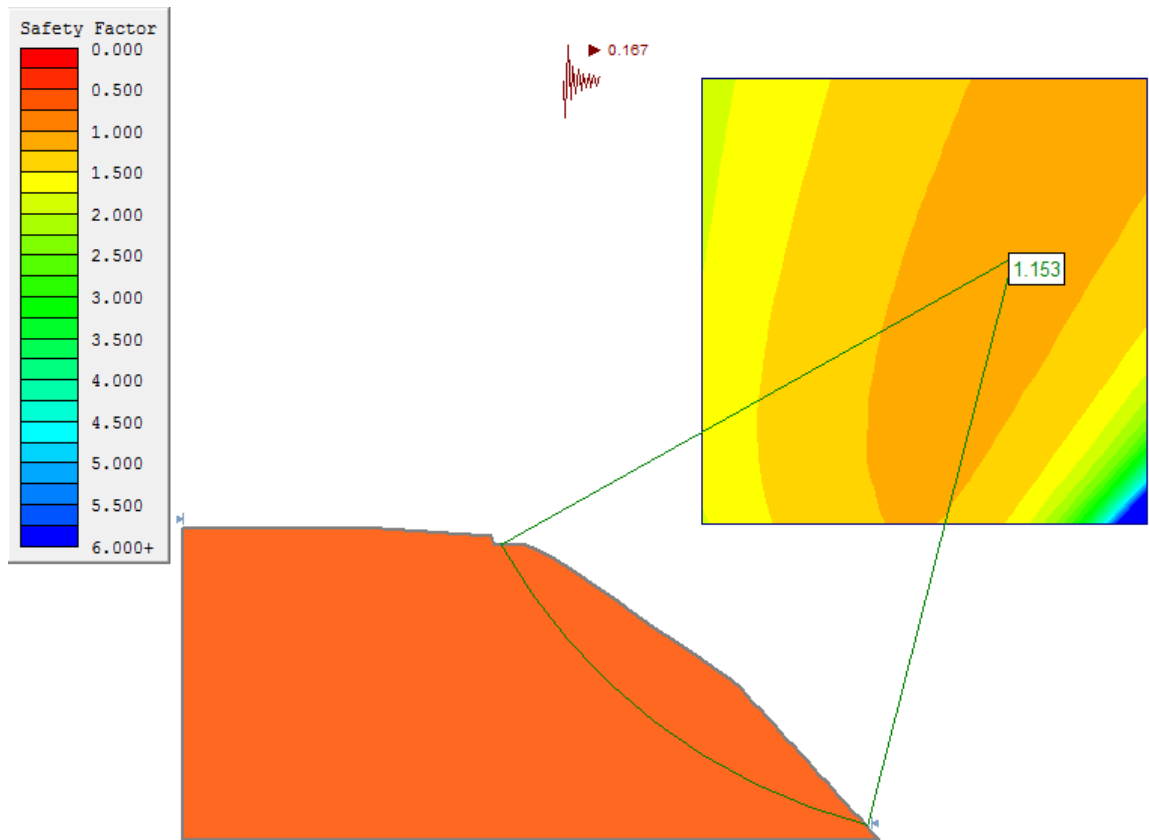
Numero de penetración estándar N	Densidad relativa %	Estado del suelo
0 a 3	0 a 15	Muy suelto
3 a 8	15 a 35	Suelto
8 a 25	35 a 65	Medio
25 a 42	65 a 85	Denso
42 a 58	85 a 100	Muy denso

Fuente: Braja Das. "Principios de ingeniería de cimentaciones", Thomson Editores, México, 1999

ANEXO E. Perfil talud

Factor de seguridad estático = 1,510



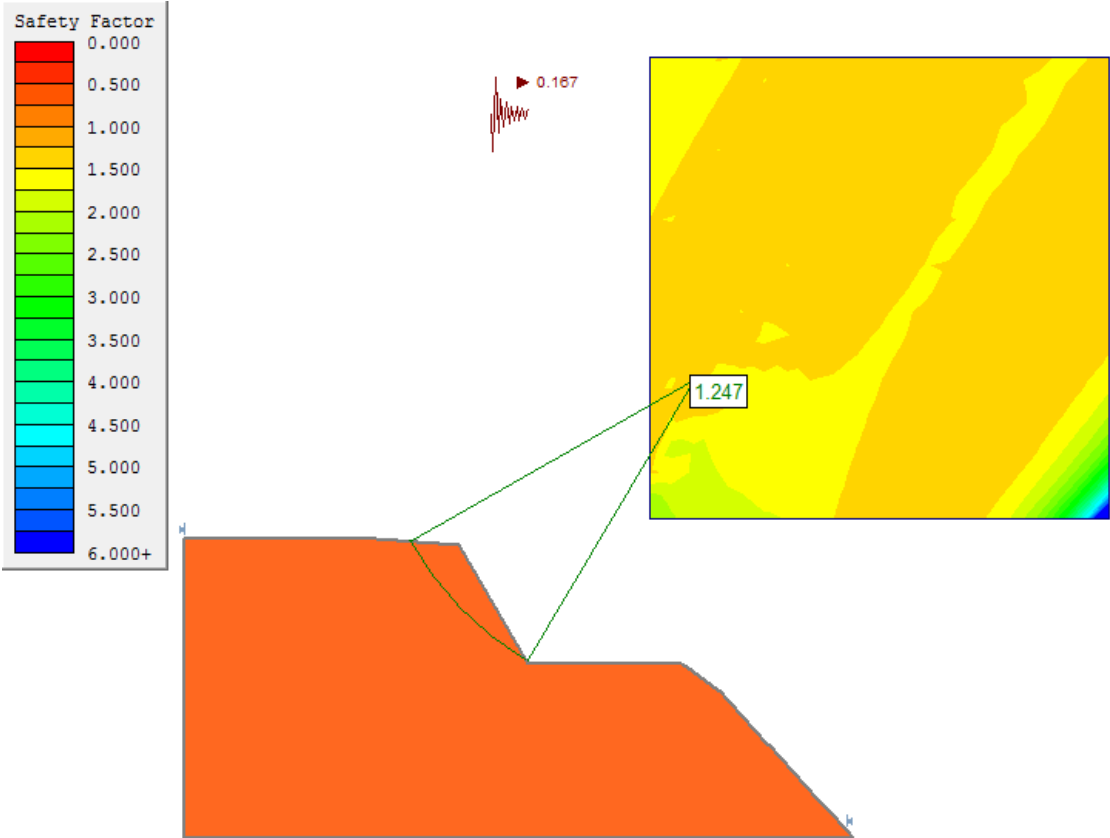


$$\text{Sismo} = (2/3) * 0,25 = 0,167$$

Factor de seguridad dinámico = 1,153

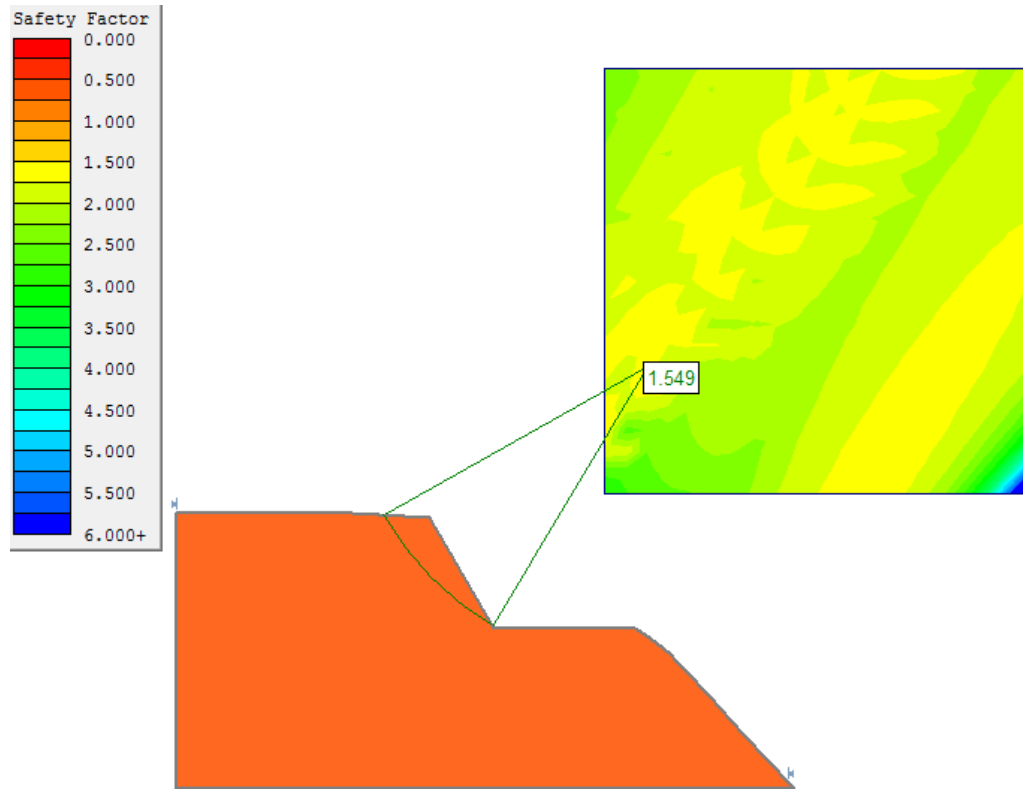
ANEXO F Perfil talud en construcción

Factor de seguridad estático = 1,549



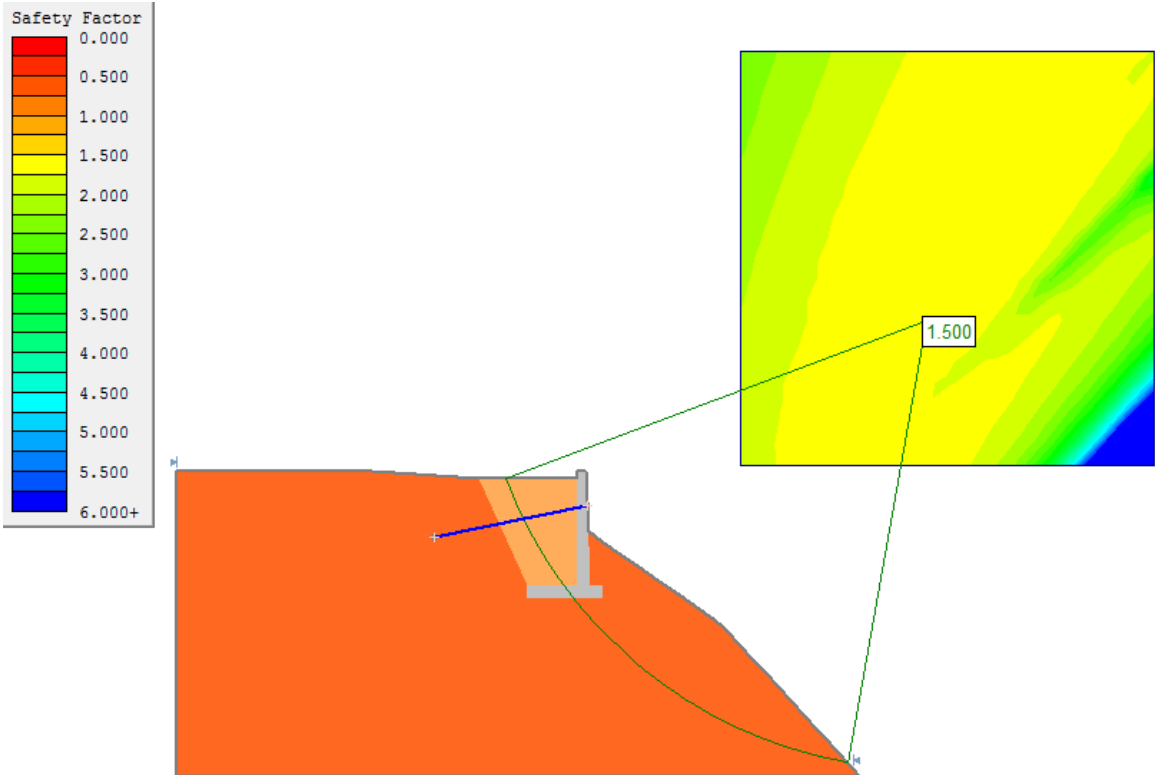
$$\text{Sismo} = (2/3) * 0,25 = 0,167$$

$$\text{Factor de seguridad dinámico} = 1,247$$



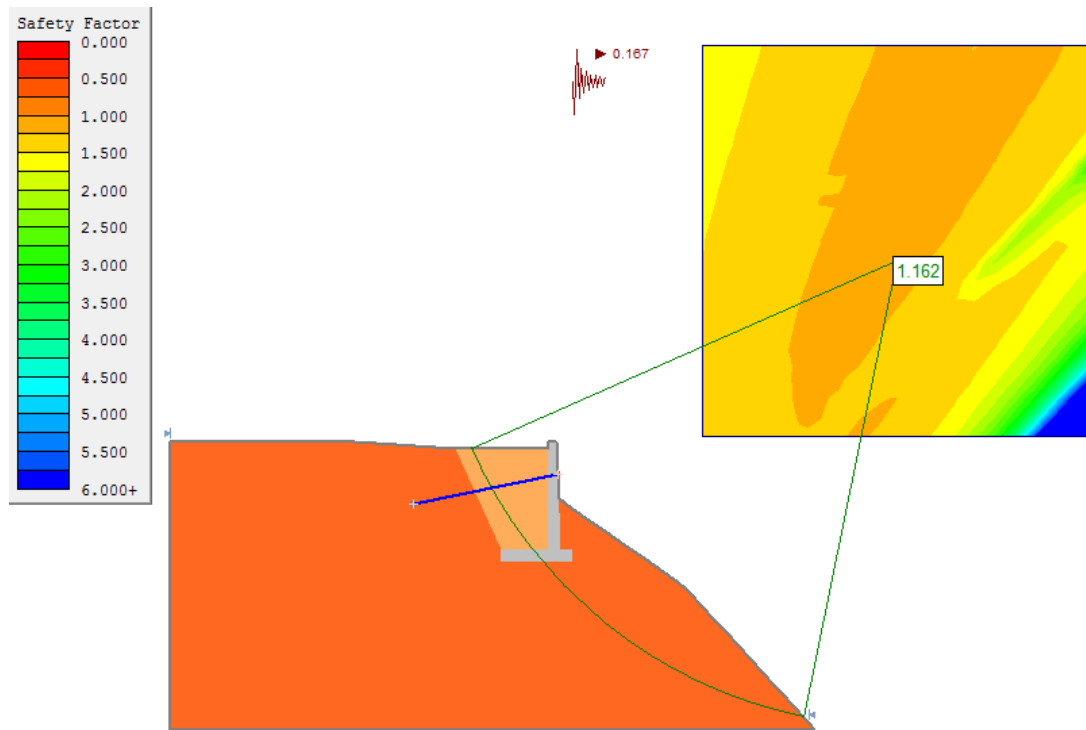
ANEXO G. Perfil talud con muro de concreto

Factor de seguridad estático = 1,500



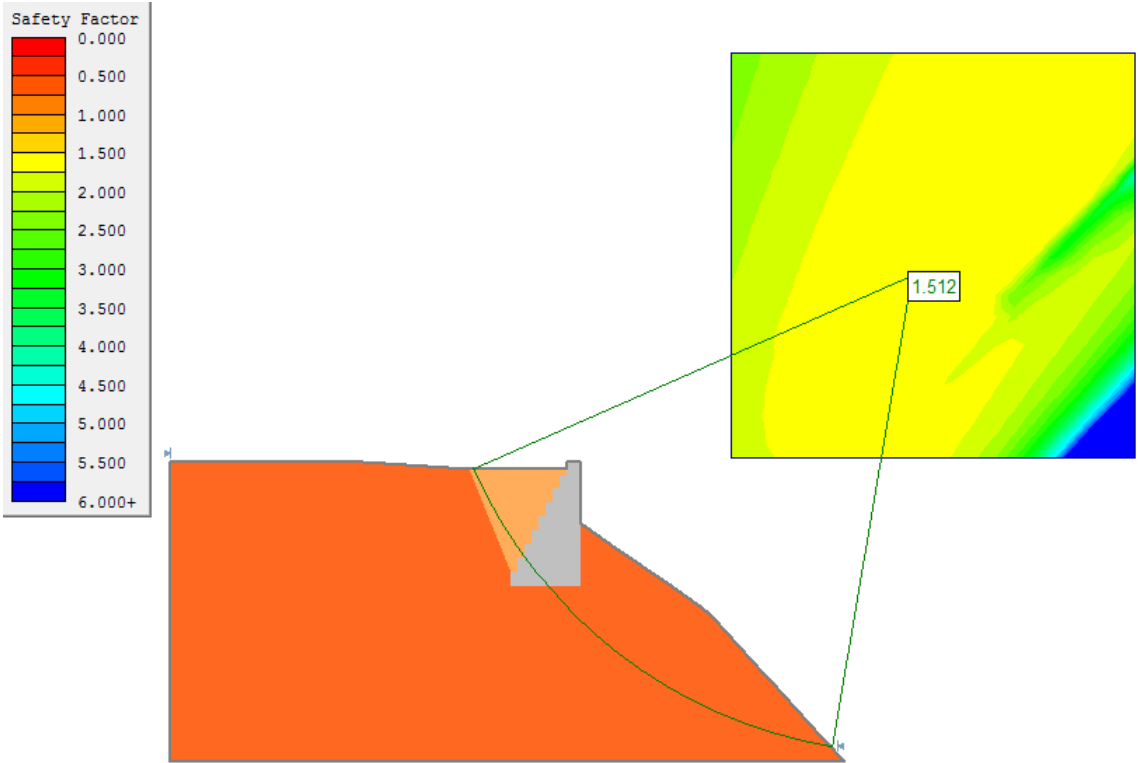
$$\text{Sismo} = (2/3) * 0,25 = 0,167$$

$$\text{Factor de seguridad dinámico} = 1,162$$



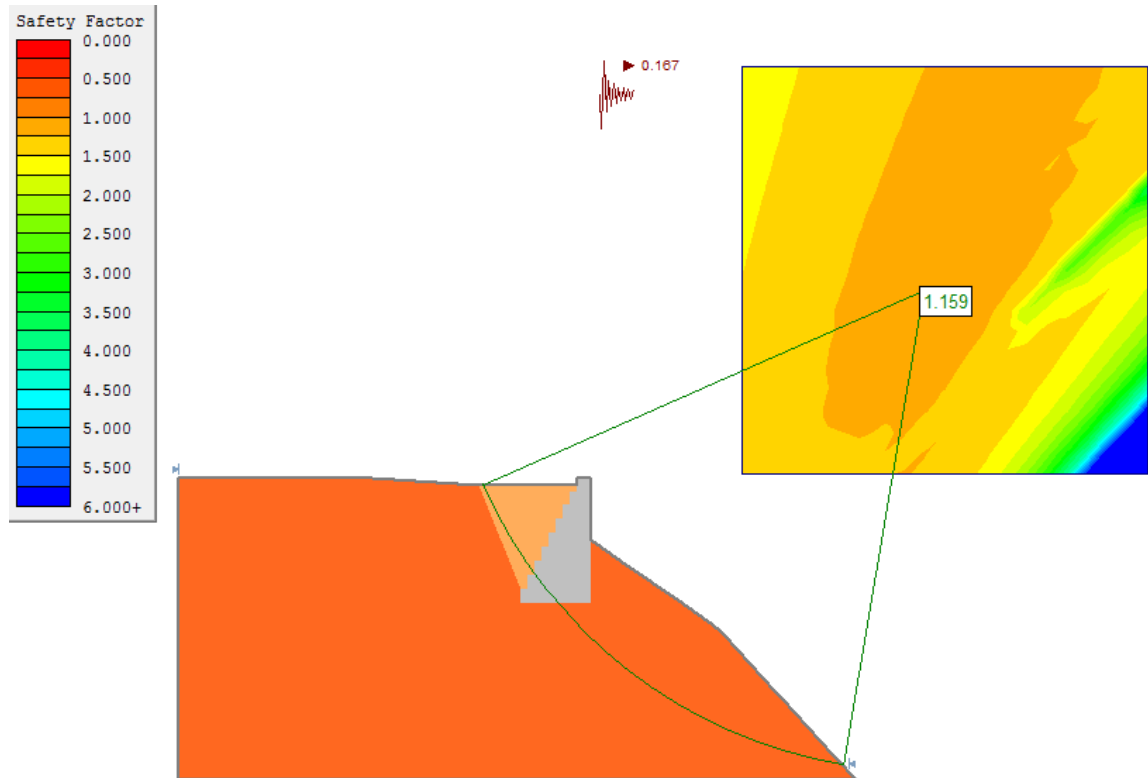
ANEXO H. Perfil del talud con muro de gaviones

Factor de seguridad estático = 1,512



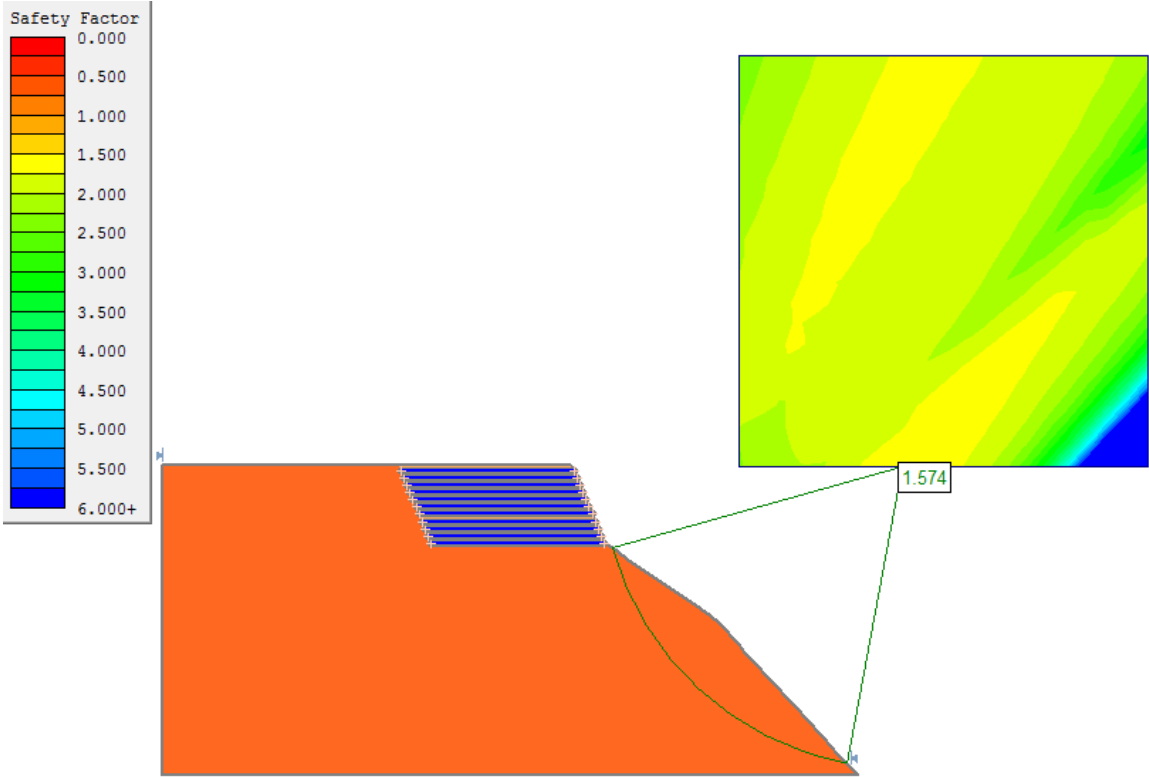
$$\text{Sismo} = (2/3) * 0,25 = 0,167$$

Factor de seguridad dinámico = 1,159



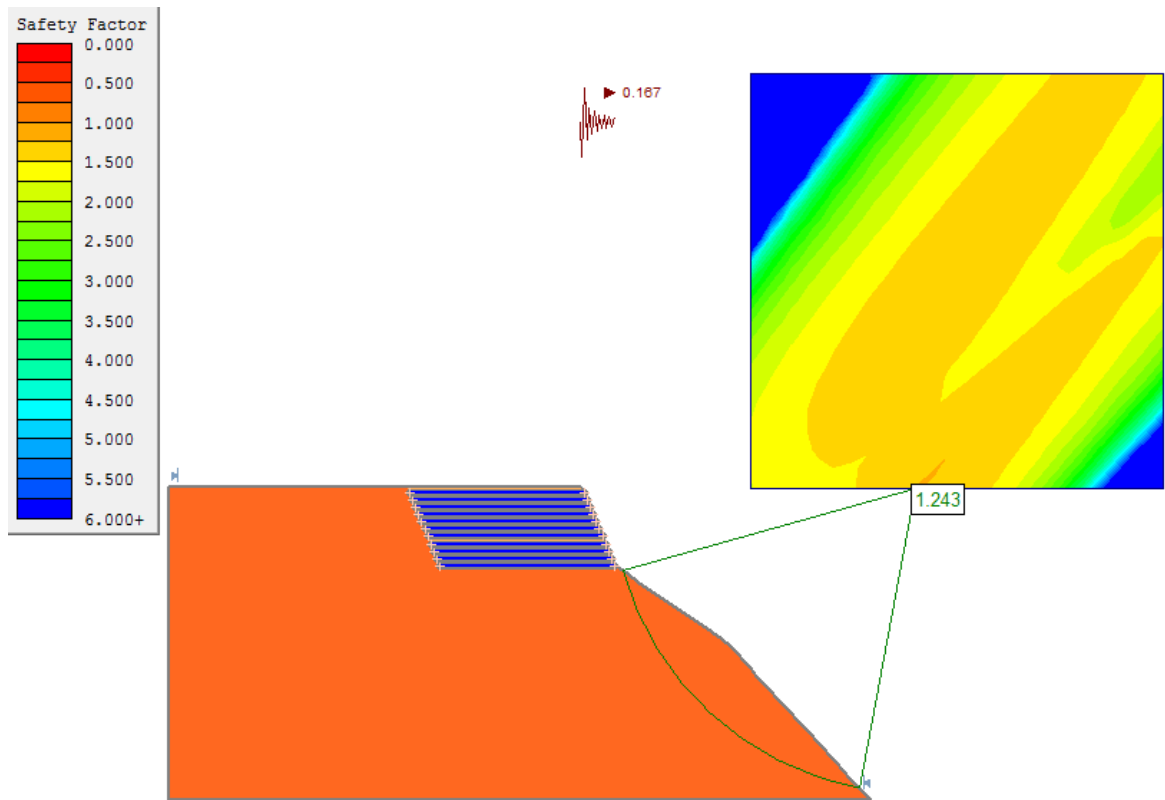
ANEXO I Perfil del talud con muro de tierra armada

Factor de seguridad estático = 1,574



$$\text{Sismo} = (2/3) * 0,25 = 0,167$$

$$\text{Factor de seguridad dinámico} = 1,243$$



ANEXO J APU de muros

MURO GAVIONES (1m * 1m)				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Excavación (incluye transporte material)	m3	42.18	\$ 13,000	\$ 548,340
Descapote (incluye transporte material)	m2	5	\$ 8,000	\$ 40,000
Solado para gavión	m3	0.35	\$ 231,000	\$ 80,850
Malla galvanizada triple torsión	ml	76	\$ 15,000	\$ 1,140,000
Piedra para gaviones	m3	27	\$ 35,000	\$ 945,000
Alambre galvanizado	kg	6.3	\$ 3,500	\$ 22,050
geotextil tej Nt 2400	m2	26	\$ 4,900	\$ 127,400
Relleno de material de la zona	m3	26.36	\$ 14,500	\$ 382,220
Mano de obra (1 oficial, 2 ayudantes)	día	1	\$ 100,569	\$ 100,569

MURO TIERRA ARMADA				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Excavación (incluye transporte material)	m3	49.31	\$ 13,000	\$ 641,030
Descapote (incluye transporte material)	m2	12	\$ 8,000	\$ 96,000
Geotextil tejido 2400T	m2	132	\$ 5,200	\$ 686,400
Relleno de material de la zona	m3	65.28	\$ 14,500	\$ 946,560
Geotextil para filtros	m2	132	\$ 4,500	\$ 594,000
Mano de obra (1 oficial, 2 ayudantes)	día	1	\$ 100,569	\$ 100,569

MUROS EN CONCRETO REFORZADO				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Excavación (incluye transporte material)	m3	48.46	\$ 13,000	\$ 629,980
Descapote (incluye transporte material)	m2	5.4	\$ 8,000	\$ 43,200
Mezcla de concreto f'c= 3000 psi	m3	12.15	\$ 208,200	\$ 2,529,630
Encofrado de Madera	m2	18.1	\$ 6,000	\$ 108,600
Acero para refuerzo PDR-60	kg	177.3	\$ 4,100	\$ 726,930
Alambre galvanizado	kg	5.3	\$ 3,500	\$ 18,550
Relleno de material de la zona	m3	40.28	\$ 14,500	\$ 584,060
Mano de obra (1 oficial, 2 ayudantes)	día	1	\$ 100,569	\$ 100,569