

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros V.

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE RELLENO DE SUELO
MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON
GEOSINTÉTICOS ANTE CONDICIÓN DE INCENDIO.**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil

MATÍAS MIGUEL CARTES DE LA FUENTE

Concepción, septiembre 2018

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos	5
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
2. CONCEPTOS GENERALES	6
2.1. Taludes reforzados con geosintéticos	6
2.2. Orientación del refuerzo	8
2.3. Tetraedro del fuego	9
2.3.1. Combustible.....	9
2.3.2. Comburente	9
2.3.3. Energía de activación.....	10
2.3.4. Reacción en cadena	10
3. METODOLOGÍA	11
3.1. Materiales	12
3.2. Módulo experimental de relleno reforzado	15
3.3. Componentes de medición	18
3.4. Ensayos experimentales	19
3.4.1. Protocolo de ensayo.....	19
3.5. Comportamiento de taludes propuestos	20
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	21
4.1. Sistema de medición	21
4.2. Ensayos experimentales	22
4.3. Análisis de la falla de taludes de arena	24
4.4. Deterioro estructura de retención.	25
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
5.1. Conclusiones	29
5.2. Recomendaciones	30
REFERENCIAS	31

ANEXO A.....	32
1. ENSAYOS ARENA LIMOSA	33
1.1 Granulometría	33
1.2 Límites de Atterberg	34
1.3 Proctor Modificado	34
2. ENSAYOS ARENA GRUESA	36
2.1 Granulometría:.....	36
2.2 Densidad relativa:.....	37
ANEXO B.....	38
1. Geogrilla Estructural UX14-S.	39
2. Geogrilla Estructural TENAX LBO 202.	40
3. Geotextil no tejido NT-11.....	43
ANEXO C.....	45
1. Materiales.....	46
2. Taludes de arena.....	49

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE RELLENO DE SUELO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO CON GEOSINTÉTICOS ANTE CONDICIÓN DE INCENDIO.

Autor: Matias Miguel Cartes de la Fuente

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: matcarte@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros V.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: rriveros@ubiobio.cl

RESUMEN

Los muros de tierra estabilizada mecánicamente son muros de contención en los cuales el suelo es reforzado por elementos estructurales externos para mejorar su comportamiento. En la actualidad, existe un aumento en la utilización de estos sistemas debido a las ventajas que presenta su uso, sin embargo, en muchos de los sectores en los cuales se realizan este tipo de soluciones la posibilidad de incendios y quemaduras suelen ser altas, pudiendo afectar el comportamiento estructural de estos sistemas y poco se conoce al respecto.

El presente informe muestra el comportamiento de taludes de dos tipos de arena mecánicamente estabilizados con refuerzos geosintéticos ante condiciones de incendio mediante ensayos experimentales. Se utilizaron seis modelos experimentales de dos tipos de arenas distintas, tres repeticiones taludes con arena gruesa y tres con arena limosa, con la misma disposición de geosintéticos, para realizar el seguimiento y análisis del comportamiento y estabilidad del talud en condiciones de incendio.

Del trabajo se concluye que los taludes de arena limosa presentan un mejor comportamiento que los de arena gruesa, que la combustión de los refuerzos no se propaga debido a la carencia de un agente oxidante en el suelo y que el ángulo de derrame de la arena gruesa finalizado el ensayo es similar al ángulo de rozamiento interno.

Palabras Clave: Talud, geosintéticos, geogrillas, incendio.

5358 Palabras texto + 17 Figuras/Tabla*250 + 6 Figuras/Tabla*300=11408 Palabras totales

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FILLING SOIL MECHANICALLY STABILIZED WITH GEOSYNTHETICS IN FIRE CONDITION.

Author: Matias Miguel Cartes de la Fuente

Civil and Environmental Engineering Department, University of Bio-Bio

E-mail: matcarte@alumnos.ubiobio.cl

Advisor: Ricardo Riveros V.

Civil and Environmental Engineering Department, University of Bio-Bio

E-mail: rriveros@ubiobio.cl

ABSTRACT

The mechanically stabilized earth walls are retaining walls in which the ground is reinforced by external structural elements to improve its behavior. Currently, there is an increase in the use of these systems due to the advantages of their use, however, in many of the sectors in which these types of solutions are carried out, the possibility of fires and burning are usually high, affect the structural behavior of these systems and little is known about it.

This report shows the behavior of slopes of two types of sand mechanically stabilized with geosynthetic reinforcements before fire conditions through experimental tests. Three slopes with coarse sand and three with silty sand, with the same disposition of geosynthetics, were used to monitor and analyze the behavior and stability of the slope in fire conditions.

From the work it is concluded that the slopes of silty sand present a better behavior than those of coarse sand, that the combustion of the reinforcements does not propagate due to the lack of an oxidizing agent in the soil and that the angle of spillage of the coarse sand at the end of the test, it is like the internal friction angle.

Keywords: Slope, geosynthetics, geogrids, fire.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un material que resiste relativamente bien a la compresión, no así al esfuerzo de corte y tracción. Si se refuerza la resistencia al corte, se puede mejorar su comportamiento. Esta es la base de las contenciones de tierra armada o suelo reforzado; se construye un relleno de material granular en el que se colocan laminas horizontales de un material resistente a tracción que evita la rotura por corte.

Los muros de tierra estabilizada mecánicamente, más conocidos como TEM o tierra armada, consisten en muros de contención en los cuales el relleno tras el paramento es reforzado por elementos estructurales externos, normalmente pletinas o grillas de acero inoxidable, mallas de geotextiles o tiras de polímeros de alta densidad (HDPE). Geométricamente están constituidos por una zona de suelo reforzado, refuerzos primarios y secundarios, una protección superficial, un dren chimenea si se desea y una tubería de drenaje envuelta con geotextil. Estos rellenos son fundamentales en el desarrollo de carreteras, vías férreas, expansión de zonas urbanas y construcciones en general.

En la actualidad, existe un aumento en la utilización de materiales geosintéticos en obras de ingeniería civil debido a las ventajas que incluye su uso, tales como: facilidad de puesta en obra, economía de producto, ahorro de tiempo de ejecución y utilización de materiales de calidad verificables. Dentro de los materiales geosintéticos se encuentran las geogrillas, las cuales consisten en un conjunto de tiras conectadas y con aberturas, formadas principalmente por poliéster, polipropileno y/o polietileno de alta densidad. Estas permiten la trabazón del suelo, y su función principal es la de refuerzo interno y mejoramiento de suelos. Las geogrillas pueden clasificarse en: biaxiales, multiaxiales y uniaxiales.

Al ser una buena opción, los rellenos TEM para muros y taludes reforzados están siendo una alternativa cada vez más utilizada, existiendo variantes que proporcionan una terminación estética, con la posibilidad de implementar un paramento expuesto que favorece el crecimiento de plantas herbáceas y arbustivas. Sin embargo, en muchos sectores la posibilidad de incendios y quemaduras pueden afectar el comportamiento estructural de estos sistemas y poco se conoce al respecto.

A raíz de esto surge la idea de este proyecto de título que se basa en la importancia de los muros de tierra estabilizada mecánicamente en obras civiles, y la relevancia de realizar estudios sobre el comportamiento de éstos, cuyo propósito es estudiar y analizar el comportamiento de estos rellenos ante el fuego, mediante la realización de ensayos experimentales en laboratorio.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Analizar el comportamiento de taludes mecánicamente estabilizados con refuerzos geosintéticos, ante condiciones de incendio mediante ensayos experimentales.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros relevantes que influyen en la condición de incendio de un relleno mecánicamente estabilizado.
- Proponer un modelo experimental que permita evidenciar el comportamiento de la estructura de suelo reforzado con geosintéticos expuesto al fuego.
- Comparar el comportamiento de rellenos mecánicamente estabilizados en condición de incendio para distintos tipos de suelo.

2. CONCEPTOS GENERALES

Los rellenos son el acumulamiento de suelo compactado de una cierta calidad. La resistencia de dicho terreno varía de acuerdo con el tipo de suelo que se use y de acuerdo con el uso que se pretenda dar a tal obra.

En muchos casos las propiedades geomecánicas de los suelos no satisfacen las características deseables para diferentes aplicaciones, requiriendo de diferentes procesos y tratamientos especiales para modificar su comportamiento a las condiciones deseadas.

2.1. Taludes reforzados con geosintéticos

Los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener excelentes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros de suelo reforzado. El refuerzo le da la resistencia a la tensión al suelo y le permite al talud resistir ángulos más altos que el de reposo del material de relleno o alcanzar mayores alturas que las que permitiría dicho material sin refuerzo.

Los taludes más desarrollados son taludes artificiales que se encuentran sobre un suelo firme incompresible, lo cual impide las potenciales superficies de falla a presentarse por la base o por el pie del talud al revisarse por estabilidad global la estructura. Un ejemplo de esto, con sus principales componentes, se ilustra en la figura a continuación.

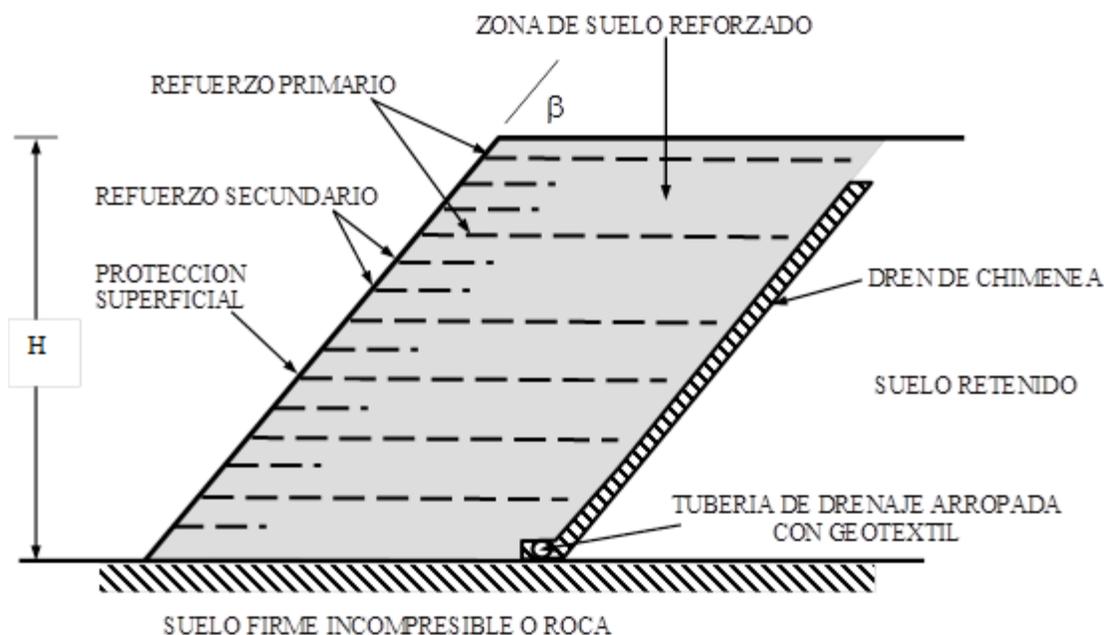


Figura N°1. Principales componentes de un talud de suelo reforzado sobre un suelo con adecuada capacidad de carga (Morales y Monroy, 2003).

Las principales componentes de un talud con pendiente pronunciada se ilustraron en la Figura N°1, donde H es la altura del pie hasta la cresta del talud y β es el ángulo que forma la cara del talud con respecto a la horizontal.

- A. Zona de suelo reforzado:** Es la masa de suelo conformada por el relleno y las capas horizontales de refuerzo. La cara del suelo reforzado puede ser o no paralela la cara frontal del talud. Pueden o no existir también sobrecargas sobre la superficie del suelo reforzado.
- B. Suelo retenido:** Es el suelo natural o relleno localizado detrás de la zona de suelo reforzado. Puede, igualmente, soportar o no sobrecargas en su superficie.
- C. Dren de chimenea:** Generalmente se hace necesario, como medida de seguridad, el colocar un dren que elimine o intercepte las aguas subterráneas provenientes del respaldo, evitando que se establezca una red de flujo a través del talud, disminuyéndole de esta forma su factor de seguridad e incluso podría ponerlo en peligro al generarse presiones hidrostáticas en la

zona de suelo reforzado. Estos drenes pueden formarse por piedra partida, envuelta dentro de un geotextil, el cual funcionará como filtro, evitando el taponamiento del dren. Pueden igualmente usarse drenes prefabricados y una tubería de drenaje, forrada, igualmente, con un geotextil, para desalojar el agua que se colecte.

D. Suelo de cimentación: Es aquel suelo o roca localizado por debajo de la zona de suelo reforzado.

E. Refuerzo primario: Este refuerzo comprende a las capas horizontales, de alta resistencia que se colocan de manera horizontal desde la cara del talud hacia adentro del mismo, en la zona de suelo reforzado. El refuerzo primario le da la resistencia a la tensión a la zona de suelo reforzado y le permite al talud resistir un ángulo β más alto que el de reposo del material de relleno o alcanzar mayores alturas que las que permitiría dicho material sin refuerzo.

F. Refuerzo secundario: Está formado por capas de geosintéticos que permiten estabilizar de manera local la cara del talud, durante y después de su construcción. En algunos casos el refuerzo secundario se usa de manera conjunta con una capa delgada de material granular en la cara del talud, lo cual facilita su construcción y drenaje.

G. Protección superficial: De la cara del talud contra la erosión. Esto se logra de muchas maneras: revegetando el talud, colocando concreto lanzado o utilizando geomatrices, las cuales se fijan o se anclan a la cara del talud para prevenir la erosión sobre todo aquella debida a las lluvias y a las corrientes que se forman por encima de la superficie de la cara del talud.

2.2.Orientación del refuerzo

Los materiales que generalmente se usan para el refuerzo, son materiales con diferentes resistencias y rigideces, tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal. Cuando se usan en aplicaciones de refuerzo, en taludes o en terraplenes, la dirección más fuerte deberá de orientarse de manera perpendicular a la cara del talud. Este es el caso de las geogrillas uniaxiales en donde uno de sus lados es preferentemente fuerte.

En algunas otras ocasiones se han usado geogrillas biaxiales, las cuales, supuestamente, tienen la misma resistencia en ambos sentidos (no siempre es correcto, aunque no existe tanta anisotropía como en el caso de las redes uniaxiales), o bien geotextiles de alta o muy alta resistencia.

Los geotextiles y las geogrillas biaxiales, en taludes, se usan como refuerzo secundario. Los geotextiles de alta y muy alta resistencia se usan como refuerzo primario.

2.3. Tetraedro del fuego

El tetraedro del fuego o tetraedro de combustión es un modelo que describe los elementos necesarios para generar la mayor parte de los fuegos y lo necesario para que tenga continuidad, está constituido por un combustible, un comburente (un agente oxidante como el oxígeno), energía de activación y reacción en cadena. Cuando estos factores se combinan en la proporción adecuada, el fuego se desencadena. Por otra parte, es igualmente posible prevenir o atacar un fuego eliminando uno de ellos.

2.3.1. Combustible

Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable como energía térmica o energía mecánica, dejando como residuo calor, dióxido de carbono y algún otro compuesto.

Sin el combustible el fuego se detiene. Puede eliminarse naturalmente, consumido por las llamas, o artificialmente, mediante procesos químicos y físicos que impiden al fuego acceder al combustible. Este aspecto es muy importante en la extinción de incendios.

2.3.2. Comburente

Un agente oxidante o comburente es un compuesto químico que oxida a otra sustancia en reacciones electroquímicas o de reducción-oxidación. Es cualquier sustancia que en ciertas

condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando así una combustión. Actúa oxidando al combustible y por tanto siendo reducido por este último.

El comburente por excelencia es el oxígeno, que se encuentra normalmente en el aire con una concentración porcentual en volumen aproximada del 21%. La insuficiencia de oxígeno impide al fuego comenzar y propagarse.

2.3.3. Energía de activación

La energía de activación suele utilizarse para denominar la energía mínima necesaria para que se produzca una reacción química dada. En la combustión de una sustancia, por sí solos el combustible y comburente no producen fuego, es necesario un primer aporte de energía para iniciar la combustión, que luego es autosostenida. El aporte de una pequeña cantidad de calor puede bastar para que se desencadene una combustión, haciendo la energía calórica aportada el papel de energía de activación.

Sin el calor suficiente, el fuego no puede ni comenzar ni propagarse. Puede eliminarse introduciendo un compuesto que tome una parte del calor disponible para la reacción. Habitualmente se emplea agua, que toma la energía para pasar al estado gaseoso. También son efectivos polvos o gases con la misma función.

2.3.4. Reacción en cadena

Una reacción en cadena es una secuencia de reacciones en las que un producto o subproducto reactivo produce reacciones adicionales. Es el proceso que permite la continuidad y propagación del incendio, desprendiendo calor que es transmitido al combustible realimentándolo y continuando la combustión siempre que se mantenga el aporte de combustible y comburente.

3. METODOLOGÍA

Las fases preliminares de los experimentos se desarrollaron en el Laboratorio de Ingeniería Civil, donde se analizaron los suelos a utilizar para rellenar los módulos experimentales, que fueron arena gruesa limpia del río Biobío y arena limosa, además de crear los moldes necesarios para el estudio de los suelos en conjunto con geosintéticos, lo demás se lleva a cabo en una habitación cerrada, donde se realizaron ensayos experimentales en taludes de los dos tipos de arena, con la misma configuración de geosintéticos.

La disposición de los distintos geosintéticos dentro del módulo experimental junto con las dimensiones de éste se muestran en la figura N°2 a continuación.

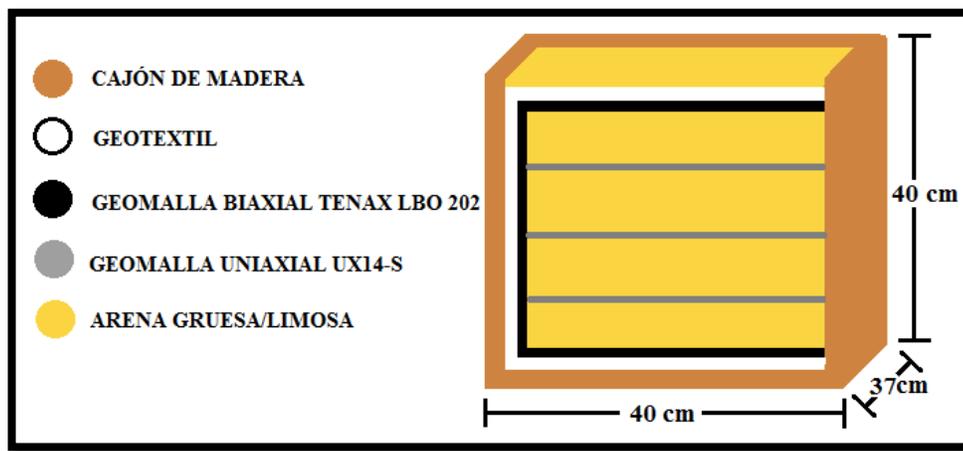


Figura N°2. Dimensiones y formas de uso de geogrilla y geotextil en taludes ensayados.

En el experimento el fuego se aplica a través de dos sopletes portátiles a gas en la cara frontal del talud, para su regulación se utiliza una válvula tipo llave. El triángulo de fuego estará constituido por un material susceptible a oxidarse, en este caso el gas y los geosintéticos, el oxígeno, el cual actúa como oxidante y el calor proporcionado a través de un mechero para encender el soplete, el cual representará la energía de activación.

Los parámetros a medir en el experimento serán duración del tiempo de ensayo, tiempo de falla del talud, material erodado, degradación de los refuerzos de retención de la estructura, temperatura, humedad, entre otros.

Los principales componentes de medición se ubican cercanos al talud o se disponen dentro de él, los cuales son: sensores de temperatura, sensores de humedad, cámaras fotográficas, cámaras de video y contenedores de material erodado. El ensayo es de carácter destructivo por lo que algunas de las variables solo podrán medirse de forma manual terminado el ensayo.

3.1.Materiales

Los dos tipos de arenas empleadas para la construcción de los taludes fueron tipos de suelos característicos de la región del Bío-Bío. La arena limosa fue extraída de unos lisímetros existentes en el Laboratorio de Geotecnia y Medioambiente (LAGEMA) perteneciente al departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío, la cual proviene de las canteras pertenecientes a la empresa Madesal Áridos que se encuentra ubicada en el camino hacia Penco (Ver figura N°3). Por otra parte, la arena gruesa corresponde a arena limpia del río Biobío comprada en una ferretería cercana a la universidad, la cual se ilustra en la figura N°4 a continuación.

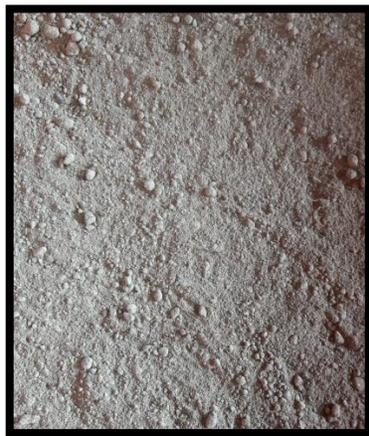


Figura N°3. Arena limosa.



Figura N°4. Arena gruesa.

Se procedió a obtener la distribución por tamaño de partículas presentes en los dos tipos de arenas mediante granulometría, para luego clasificarlas según los métodos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S) y de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Para la arena limosa se realizó el ensayo de Límites de Atterberg para conocer los límites de consistencia además del ensayo Proctor Modificado para obtener la relación humedad-densidad del suelo y para la arena gruesa se realizaron los ensayos de densidad máxima y mínima.

En las siguientes tablas N°1 y N°2, se ilustran los principales resultados, mayor detalle disponible en el anexo A.

Tabla N°1. Tabla caracterización arena limosa.

Tipo de suelo	Arena limosa
Clasificación USCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4
Límite Líquido (%)	34,2
Límite Plástico (%)	28,6
Índice Plasticidad (%)	5,6
Humedad Óptima (%)	9,19
DMCS (g/cm³)	2,004

Tabla N°2. Tabla caracterización arena gruesa.

Tipo de suelo	Arena gruesa
Clasificación USCS	SP
Clasificación AASHTO	A-2
Densidad Máxima (g/cm³)	1,757
Densidad Mínima (g/cm³)	1,494

La geogrilla empleada como refuerzo primario para dar resistencia a la tensión fue una geogrilla uniaxial de polietileno de alta densidad (UX14-S) la cual es resistente a la degradación a largo plazo y resistente a la degradación ultravioleta. Esta geogrilla utiliza un mecanismo de transferencia de carga que se basa en su resistencia mecánica a la tracción y su capacidad de trabazón del suelo. La UX14-S tiene una capacidad de carga o una fuerza máxima permitida de 25,6 kN/m. Su configuración uniaxial se muestra en la figura N°5 a continuación.

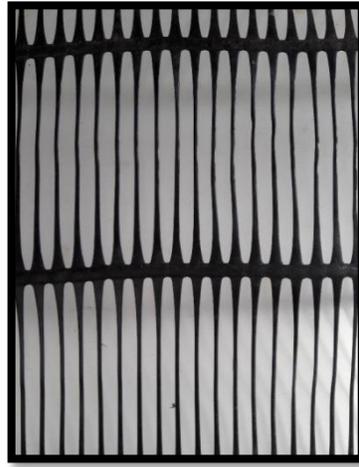


Figura N°5. Geogrilla uniaxial UX14-S.

La geogrilla utilizada como refuerzo secundario para estabilizar de manera local la cara del talud, durante y después de su construcción fue una geogrilla biaxial de polipropileno (TENAX LBO 202) la cual fue diseñada especialmente para la estabilización de suelos y aplicaciones de refuerzo. Esta malla posee alta resistencia mecánica a la tracción y excelente resistencia a daños de construcción y exposición ambiental, la cual se ilustra en la figura N°6.

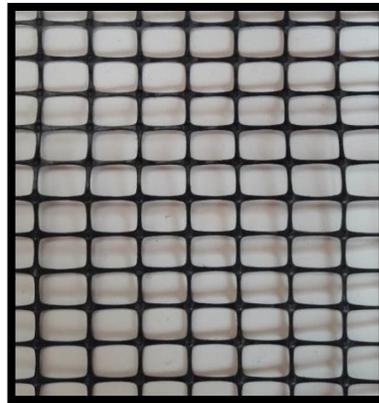


Figura N°6. Geogrilla biaxial TENAX LBO 202.

Para el confinamiento de la arena se utilizó un geotextil no tejido de polipropileno (NT-11), fabricado con fibras unidas mecánicamente por un proceso de agujado con una posterior termofusión, lo cual le otorga elevadas propiedades mecánicas e hidráulicas. Ver figura N°7.



Figura N°7. Geotextil NT-11.

3.2. Módulo experimental de relleno reforzado

Los taludes desarrollados en este proyecto se consideran taludes artificiales que se encuentran sobre un suelo firme incompresible, lo cual impide las potenciales superficies de falla a presentarse por la base o por el pie del talud.

Para realizar los ensayos se confeccionaron 6 moldes cúbicos de madera utilizando terciado estructural adquirido en el comercio en planchas de 15x1220x2440 mm, el cual fue dimensionado en placas más pequeñas. Para todos los cajones se adoptaron las mismas dimensiones, que fueron 40 cm de largo (L), 37 cm de ancho (A) y 40 cm de altura (H) resultando un volumen total de 59.2 litros. Las placas fueron fijadas con tornillos de acero para volcánita de rosca gruesa de 6x1.5/8". Lo descrito se ilustra en la figura N°8.



Figura N°8. Cajón de madera terciado estructural.

Para la preparación de los moldes, éstos se marcaron cada 9 centímetros en las caras interiores para tener una mejor señalización del nivel de arena al momento de compactar, además se ubicó el geotextil no tejido (NT-11) cubriendo el fondo, la cara principal y la superficie del cajón para confinar bien el material de relleno, al cual se le dejaron unas pestañas en las caras laterales para ser corcheteadas y conseguir la fijación que se requiere, a continuación, se ubicó la malla biaxial (TENAX LBO 202) en la misma posición que el geotextil a modo de refuerzo secundario para estabilizar de manera local la cara del talud, durante y después de su construcción.

Para el relleno de los cajones se colocaron las arenas en una serie de capas horizontales con un espesor de 4,5 centímetros, y cada una de ellas se compactó manualmente con un pisón de acero de 24 cm. x 20 cm. de base y con un peso de 9,3 kg. para lograr que el material se densificara (Ver figura N°9).



Figura N°9. Pisón de acero.

El control de la densificación del suelo de relleno en los taludes se realiza a través de una relación de la cantidad de material incorporado al interior del módulo y el volumen que posee este hasta ciertos puntos, los cuales están marcados en las caras interiores y que fueron medidos, dando como resultado 106,6 kg. por cajón aproximadamente para la arena limosa, lo cual entrega una densidad de 1,800 (gr/cm³), a diferencia de la arena gruesa en la cual se colocaron 99,5 kg. por módulo aproximadamente, resultando una densidad relativa (74%) de 1,680 (gr/cm³), como se muestra en la tabla N°3 a continuación.

Tabla N°3. Tabla de resumen densidad suelo.

Tipo de muestra de suelo	Valor (g/cm³)	Logrado en módulo
Densidad máxima arena gruesa	1,757	-
Densidad mínima arena gruesa	1,494	-
Densidad alcanzada arena gruesa	1,680	74 % DR
DMCS arena limosa	2,004	-
Densidad alcanzada arena limosa	1,8	90 % DMCS

La horizontalidad del terreno en los puntos marcados en las caras interiores del cajón fue medida con un nivel. A medida que se compactaron las capas de arena se ubicó cuidadosamente la geogrilla uniaxial en las marcas ya establecidas cada 9 cm en la posición predefinida, con el cuidado correspondiente que estas necesitan, tal y como se muestra en las figuras N°10 y N°11.



Figura N°10. Llenado módulos de arena gruesa.



Figura N°11. Llenado módulo arena limosa.

En la siguiente tabla se indica la cantidad de geosintéticos empleado como desarrollo longitudinal en cada módulo experimental ensayado.

Tabla N°4. Material empleado en cada talud ensayado.

Material	Desarrollo longitudinal (m)
Geotextil NT-11	1,16
Geogrilla Uniaxial UX14-S	1,2
Geogrilla Biaxial Tenax LBO 202	1,16

3.3 Componentes de medición

Los principales componentes de medición ubicados cercanos a los módulos experimentales se describen a continuación.

- *Distancias:* Al ser un ensayo de carácter destructivo las distancias a las que penetra el fuego son medidas de forma manual terminado el ensayo con una regla de acero inoxidable.
- *Cámara fotográfica:* Se utilizó una cámara fotográfica, esta es de 13 megapíxeles de un teléfono móvil Samsung Galaxy J7, estos archivos se guardaron en formato JPEG (.JPG).

Los registros fotográficos se tomaron a una distancia de 40 cm aproximadamente del talud.

- *Cámara de video:* Se utilizó una cámara de video de alta definición incorporada en un teléfono móvil Samsung Galaxy J7, ubicada en la parte frontal del talud que registró archivos de videos que posteriormente fueron guardados en la computadora en formato (.mp4). Los registros de video se tomaron a una distancia que varió entre los 40 a 50 cm del talud.
- *Contenedor:* Se utilizó un contenedor para poder almacenar el material erodado y medir el volumen de suelo que se desprende del talud.
- *Temperatura y humedad:* Se utilizaron 2 termohigrómetros los cuales miden temperatura y humedad, uno dispuesto en el ambiente y otro en el suelo al interior del talud, ambos previamente calibrados.
- *Cronómetro:* Se utilizó un cronómetro que posee un error menor a 30 centésimas de segundo, con el cual se midió el tiempo de realización de cada ensayo.

3.4 Ensayos experimentales

El ensayo experimental propuesto consistió en la realización de seis ensayos de taludes de dos tipos de arenas distintas con la misma tipología de geosintéticos de refuerzo a fuego constante, con el propósito de realizar un seguimiento al comportamiento del talud con la estructura de retención a base de geogrillas.

El suelo fue secado anteriormente en una habitación calefaccionada. El propósito de esto fue para corroborar que el secado del material estuviera correcto para idealizar las condiciones de verano.

3.4.1 Protocolo de ensayo

- ✓ Tener los taludes de arena con los geosintéticos habilitados 24 horas antes del ensayo.
- ✓ Encender equipos de medición y verificar que estos funcionen adecuadamente por un lapso de cinco minutos.
- ✓ Verificar que el contenedor de material erodado se encuentra en una correcta posición.

- ✓ Tener dispuestas y funcionando de manera correcta las cámaras del registro fotográfico y de video.
- ✓ Tener dispuestos y funcionando de manera correcta los extintores de fuego.
- ✓ Registrar temperatura y humedad ambiental.
- ✓ Iniciar el ensayo experimental abriendo la válvula de alimentación de gas para encender la mecha.
- ✓ Conservar la carga de fuego constante, regulando la válvula de alimentación de gas.
- ✓ Se toma registro continuo del talud durante el ensayo en formato de video y esporádicamente en formato fotográfico.
- ✓ Registrar el tiempo en que ocurre la falla del talud, si es que ocurre.
- ✓ Registrar la temperatura final que alcanza el suelo.
- ✓ Terminar el ensayo cuando ocurra el colapso del talud.
- ✓ Utilizar el extintor para corroborar el exterminio del fuego.
- ✓ Medir el ángulo de inclinación del material dentro del talud.
- ✓ Registrar el comportamiento de los geosintéticos en condición de incendio.
- ✓ Medir la cantidad de material erodado ubicada en el contenedor.
- ✓ Guardar el registro de los videos en formato (.mp4) y el de fotografías en formato (.JPG)
- ✓ Apagar los equipos de medición.
- ✓ Limpiar el lugar donde se realizó el ensayo.

3.5 Comportamiento de taludes propuestos

Para evaluar el comportamiento de los taludes de arenas con la misma tipología de geosintéticos, se realiza un análisis de los resultados obtenidos durante cada ensayo, para los diferentes parámetros medidos, considerando la estabilidad del talud, la carga de fuego constante en el medio, la distancia de penetración del fuego, el tiempo de falla y un análisis temporal entre las variables empleadas. Posteriormente se realiza una comparación de dichos parámetros medidos entre taludes para obtener una referencia.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de los ensayos de los módulos experimentales de relleno reforzados con la misma tipología de geostintéticos a fuego constante obtenidos para cada prueba se resumen en este capítulo.

4.1.Sistema de medición

La tabla N°5 muestra las variables medidas con los elementos del sistema de medición propuestos. En esta tabla se presentan los valores medidos durante los ensayos experimentales.

Tabla N°5. Resultados registrados durante ensayos experimentales.

Variable	Arena gruesa			Arena limosa		
	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
Hora Ensayo (hrs)	11:00	12:30	15:30	11:30	16:30	17:10
T° Ambiente (°C)	12,7	17,1	18,9	11,8	20,8	20,6
H° Ambiente (%)	60	37	39	69	28	26
T° Suelo Inicial (°C)	12,1	15,8	17,5	11,1	21,1	22,8
T° Suelo Final (°C)	69	72	74	73	67	69
Duración Ensayo (min)	4:30	3:50	4:50	6:40	6:10	6:30
Cantidad Material por Talud (kg)	99,5	99,5	99,5	106,6	106,6	106,6
Material Erodado (kg)	56	59	62	3,53	3,41	3,2
Ángulo Inclinación Falla Final (°)	35	36	35	-	-	-

Las horas mostradas en la tabla N°5 indican la hora exacta a la que se comenzó con cada ensayo, además de mostrar la temperatura y humedad correspondiente a ese momento, la cual, por no ser ensayos de larga duración, no sufrió mayores variaciones.

La tabla N°5 muestra la variación de temperatura del suelo a lo largo de cada ensayo realizado, esta fue medida a través de un termohigrómetro. Se logra apreciar que la temperatura en el medio varió desde los 12,1 °C a los 74 °C para la arena gruesa y desde los 11,1 °C a los 73°C para la arena limosa. Cabe señalar que los ensayos se llevaron a cabo en tiempo de invierno, al correspondiente mes de agosto del año 2018.

El ensayo experimental de taludes culmina con el fallo de los taludes de arena gruesa debido a la pérdida de confinamiento, quedando al descubierto los refuerzos que posteriormente son corroídos por el fuego. Los taludes de arena limosa no presentaron fallas en su estructura ya que el fuego no alcanzó a penetrar en gran cantidad probablemente debido a la adherencia de las partículas que posee este material, en comparación con la arena gruesa, cuyas partículas no presentan adherencia alguna.

El ángulo de inclinación al cual queda la arena gruesa luego del colapso del talud no varía en gran cantidad, siendo este un ángulo bastante parecido al ángulo de fricción de la arena gruesa en condición seca, lo que coincide con la teoría de derrame de un suelo granular seco y sin cohesión.

4.2. Ensayos experimentales

La figura N°12 muestra la evolución del material erodado en los distintos taludes utilizados en los ensayos experimentales.

En relación con el material erodado registrado en los taludes se puede apreciar que los de arena gruesa presentan un comportamiento semejante, en los cuales encontramos el valor más alto de erodabilidad correspondiente a un 62,3% del material total debido a que en este tipo de taludes ocurre la falla por la falta de adherencia entre sus partículas.

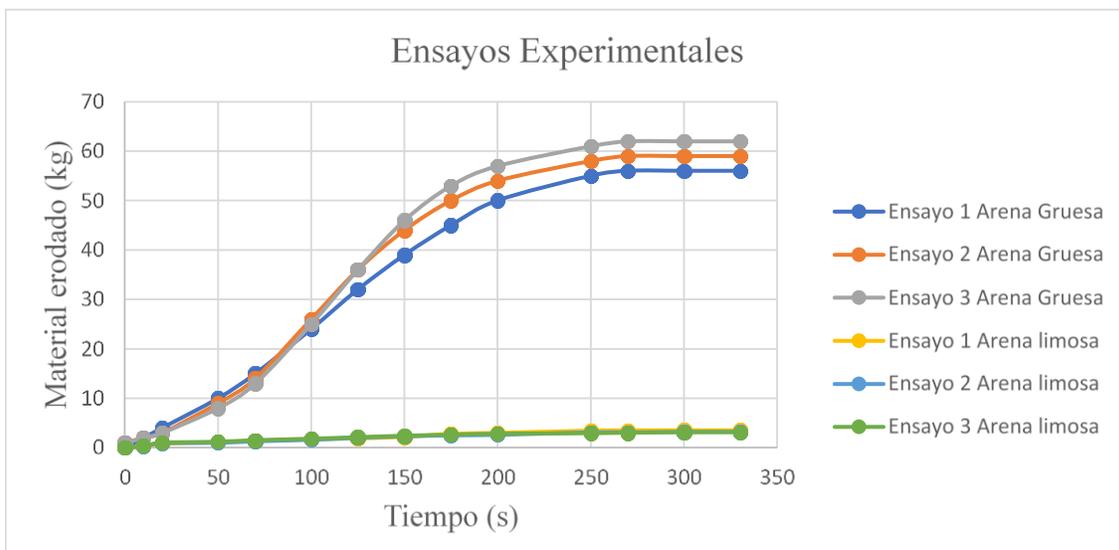
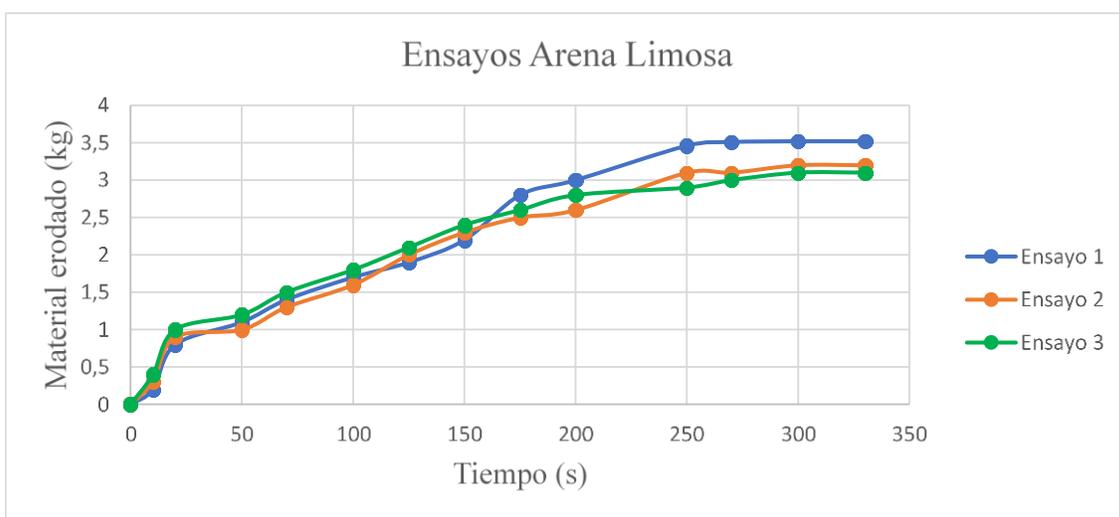
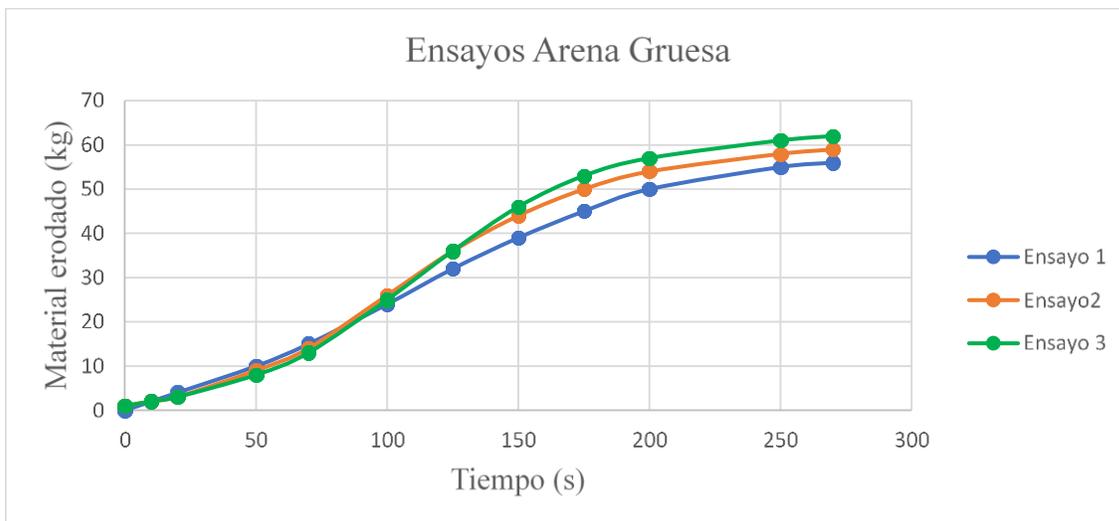


Figura N°12. Evolución material erodado en ensayos experimentales.

En los ensayos experimentales de arena limosa hay pequeñas variaciones en las cantidades de material desprendido de la cara frontal del talud, siendo la suma despreciable ya que el valor máximo corresponde a un 3% del material total, esto se explica por la cohesión que las partículas del material poseen.

4.3. Análisis de la falla de taludes de arena

En los ensayos de taludes de distintos tipos de arenas con la misma colocación de geosintéticos se apreció solo un tipo de falla, debido a que solo en los taludes de arena gruesa se vio afectada la estabilidad, en los ensayos experimentales de arena limosa existió un leve desprendimiento de material, pero no ocurrió un colapso de la estructura, obteniendo un buen resultado de estos como puede verse ilustrado en la figura N°13 a continuación.



Figura N°13. Deterioro de taludes finalizado el ensayo.

En los ensayos de arena gruesa, la estabilidad se ve afectada directamente por la acción del fuego que causa una falla en el talud, la cual provoca un arrastre del material que lo constituye, la arena gruesa posee una baja adhesión entre sus partículas, por lo que es el escenario ideal para la manifestación de flujos al interior del talud. Aún con el geotextil cubriendo todo el talud por su exterior, se pudo observar la falla del talud, en el momento en que se le aplicó fuego a la cara frontal del talud y el geotextil junto con las geogrillas empezaron a quemarse, inmediatamente empezó el desprendimiento de material ubicado en el frente y en la corona del talud, y la quema de los refuerzos interiores, llegando a un punto donde el nivel de fuego era tal, que toda la estructura empezó a desmoronarse siendo la arena arrastrada y desplazada del pie del talud depositándose en los contenedores a medida que la falla se generalizaba, hasta que la estructura cedió completamente.

Para los ensayos de arena limosa con la misma disposición de geosintéticos no se logra apreciar una falla, al aplicarse fuego a la cara frontal del talud, cuando el geotextil y la malla biaxial empezaron a quemarse, produjeron un leve desprendimiento de material en la corona y material suelto en el frente del talud, además de un leve deterioro de la estructura de refuerzos interiores, el cual no generó pérdida en la estabilidad de la estructura.

En el anexo C se encuentran disponibles las fotografías registradas de los ensayos descritos anteriormente.

4.4.Deterioro estructura de retención.

La tabla N°6 muestra los valores del deterioro de las estructuras de retención ubicadas en los taludes de ensayo, esta tiene una amplia relación con el material erodado en los distintos taludes utilizados en los experimentos. En la tabla se muestran 3 refuerzos, los que corresponden a las mallas uniaxiales dispuestas de manera horizontal entre las capas de suelo al interior del talud, siendo el número tres el superior y el más afectado, el número dos el central y el número uno el refuerzo del fondo. En las siguientes figuras N°14 y N°15 pueden verse los valores promedios del desarrollo de la estructura posterior a las realizaciones de los ensayos en los módulos de arena gruesa y arena limosa respectivamente, evidenciando que el refuerzo ubicado en la parte superior es el más afectado.

Tabla N°6. Registro de deterioro de estructura de retención.

		Arena gruesa			Arena limosa		
		Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
Deterioro (cm)	Refuerz o 3	33,5	35	34	4	3,5	3,6
	Refuerz o 2	22	20,5	22,5	3,2	2,8	3,1
	Refuerz o 1	10	9,5	10	1,2	1	1,1

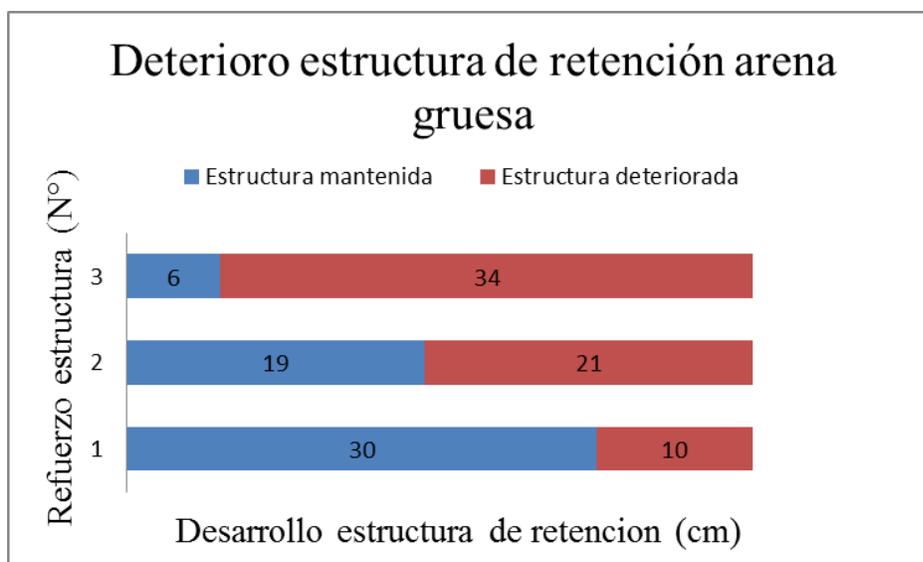


Figura N°14. Deterioro estructura retención arena gruesa.

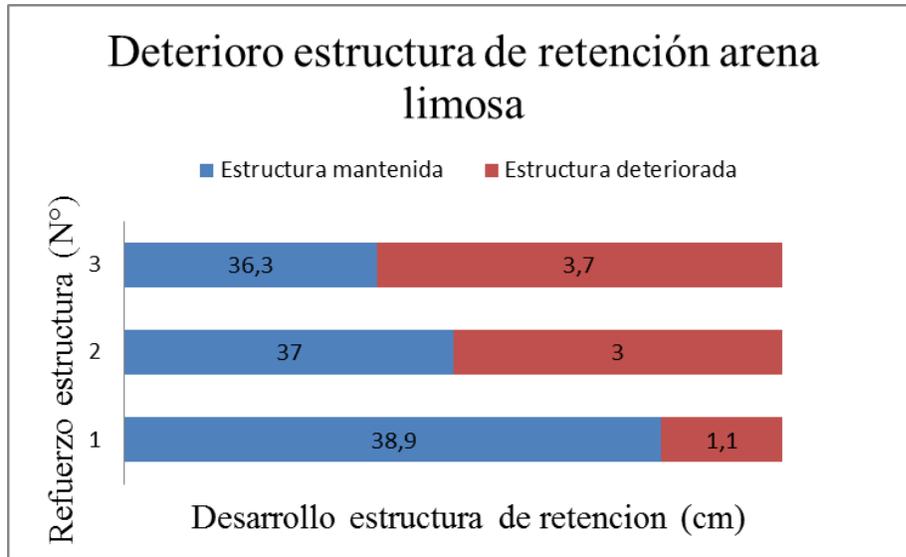


Figura N°15. Deterioro estructura retención arena limosa.

En las siguientes figuras N°16 y N°17 puede verse el deterioro de los refuerzos posterior a la realización de los ensayos de arena gruesa y arena limosa respectivamente.

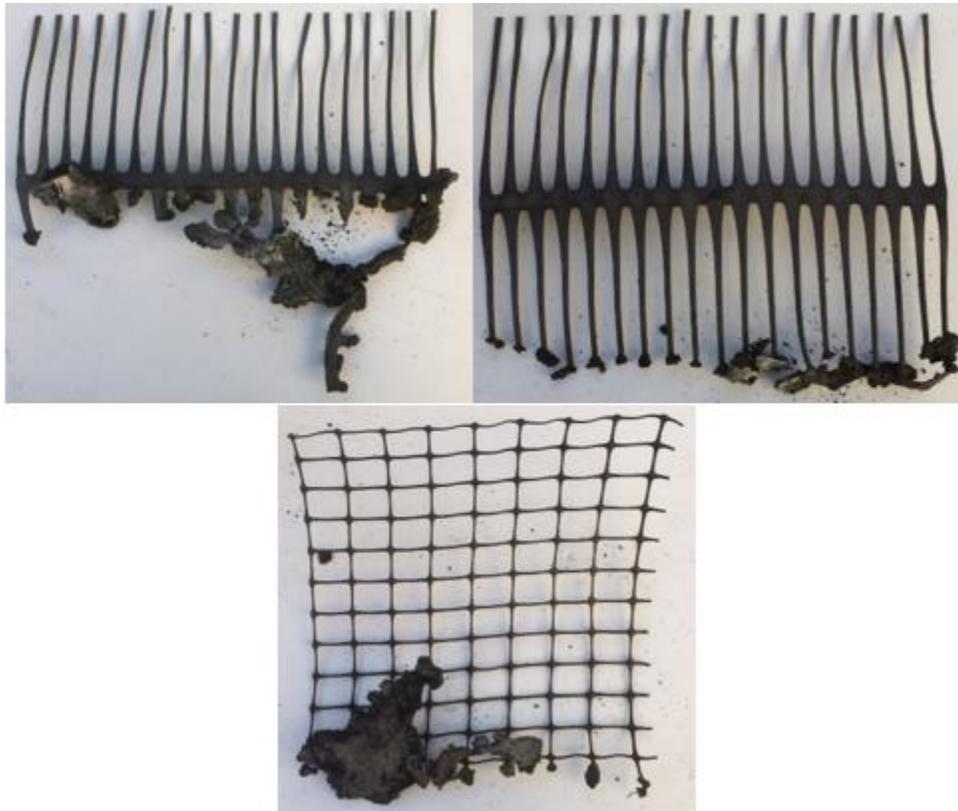


Figura N°16. Deterioro estructura de retención taludes de arena gruesa.



Figura N°17. Deterioro estructura de retención taludes de arena limosa.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Por último, luego de realizar el análisis del comportamiento de los taludes mecánicamente estabilizados con refuerzos geosintéticos, se concluye que:

- Ya que la falla ocurre en los taludes de arena gruesa se concluye que el tipo de arena utilizado para la creación de taludes mecánicamente estabilizados con refuerzos geosintéticos incide directamente en la estabilidad del talud en condiciones de incendio, obteniendo resultados de material erodado de un 62,3% para la arena gruesa y de un 3% para la arena limosa.
- Por la inspección realizada a los refuerzos posterior a la calcinación del terreno, es posible concluir que la combustión de los refuerzos no se propaga en el suelo debido a la carencia de un agente oxidante en el suelo, no basta con la oxigenación debido a la porosidad del terreno, y esta ocurre porque el derrame lo deja expuesto a una mayor cantidad de comburente.
- El ángulo de derrame de la arena gruesa finalizado el ensayo experimental en condición de incendio es similar al ángulo de rozamiento interno (35° - 38°), lo que es coincidente con la teoría de ángulo de reposo para un suelo granular seco sin cohesión.
- El uso de un material con cohesión en el inicio de los taludes de tierra estabilizada mecánicamente puede mejorar su comportamiento ante una condición de incendio ya que logra sofocar de mejor manera la propagación de la combustión, situación que no esta valorada en la teoría de diseño de este tipo de taludes.
- No es recomendable el uso de este tipo de sistemas confeccionados con arena gruesa en zonas habitacionales propensas a incendios, debido a la falta de adherencia en las partículas que posee este material y por la posible propagación del fuego.

5.2. Recomendaciones

En los taludes ensayados se utilizaron solo dos tipos de suelos y solo un tipo de geogrilla entre capas para su construcción. Por ello se hacen las siguientes recomendaciones para posteriores estudios en este ámbito:

- Utilizar otros tipos de suelo de alta disponibilidad en zonas de construcción, con el fin de observar los diferentes comportamientos en cada uno de estos.
- Confeccionar disposiciones de taludes a partir del ángulo de fricción del tipo de suelo del cual se construye el talud.
- Utilizar otro tipo de geosintéticos, con el fin de observar cómo cambian los datos que se registraron en este estudio.
- Implementar un sistema automatizado de sensores y cámaras con el fin de obtener un registro más detallado de los sucesos que ocurren en el talud durante todo el ensayo.

REFERENCIAS

1. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C., 2002, Manual de Diseño Geotécnico, Capítulo 8, Geosintéticos, R. Morales y Monroy., México.
2. AASHTO, Design Guidelines for use of extensible reinforcements for mechanically stabilized earth walls in permanent applications, 1990. Task Force 27, AGC-ARTBA, Joint Committee.
3. Bathurst, R.J., et al., 1992. Design Manual and Methodology for MIRAFI Reinforced Soil Slopes and Embankments.
4. Bonaparte R., & Christopher, B.R., 1987. Design and Construction of reinforced embankments over weak foundations, Transportation Research Record 1153, pp 25-39.
5. Jewell, R.A., 1988, The Mechanics of Reinforced Embankments on soft soils, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 7, pp 237-273.
6. FHWA, Reinforced soil structures: Vol. 1, Design and Construction Guidelines, 1989 b, Report N° FHWA-RD-89-043.
7. Morales y Monroy, R. (2003). Muros, taludes y terraplenes de suelo reforzado: Control de erosión. México.

ANEXO A
Mecánica de suelos

1. ENSAYOS ARENA LIMOSA

1.1 Granulometría

La finalidad de la granulometría es obtener la distribución por tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo, así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

- **Cantidad total de material utilizado:** 522,7 g.

Tabla A°2. Granulometría de arena limosa.

Tamiz (N°)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4 "	0	0	0	100
3/8"	6,77	1,3	1,3	98,7
4	4,5	0,9	2,2	97,8
10	85,6	16,4	18,6	81,4
20	61,7	11,8	30,4	69,6
40	38,9	7,4	37,8	62,2
60	33,2	6,4	44,2	55,8
200	101,4	19,4	63,6	36,4
Residuo Fondo	190,7	36,4	100	

- **Clasificación USCS:** SM
- **Clasificación AASHTO:** A-2-4

1.2 Límites de Atterberg

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semisólido, plástico o semilíquido.

El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro. El método utilizado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o de humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterberg. Se realizó el ensayo según las normas NCh 1517/1 y NCh 1517/2 of. 1979.

- **Límite Líquido (%)**: 34,2
- **Límite Plástico (%)**: 28,6
- **Índice Plasticidad (%)**: 5,6

1.3 Proctor Modificado

El propósito de un ensayo de compactación en laboratorio es determinar la curva de compactación para una determinada energía de compactación. Esta curva considera en abscisas el contenido de humedad y en ordenadas la densidad seca. A partir de ella, se podrá obtener la humedad óptima que es la que corresponde a la densidad máxima del suelo para ese nivel de energía aplicado. Se realizó el ensayo según la norma NCh 1534-2 of. 2008.

Tabla A°2. Ensayo Proctor modificado.

Ensa yo N°	Agua agregada (%)	Molde + Material (g)	Peso molde (g)	Materia l solo (g)	Volumen molde (cc)	D.C.H (gr/cm 3)	Humeda d real (%)	D.C.S. (gr/cm 3)
1	2	3831	1958	1873	931	2,011	3,95	1,934
2	4	3996	1958	2038	931	2,189	9,19	2,0047
3	6	4029	1958	2071	931	2,224	11,45	1,9955
4	8	4017	1958	2059	931	2,211	13,02	1,956
5	10	3962	1958	2004	931	2,152	16,07	1,854

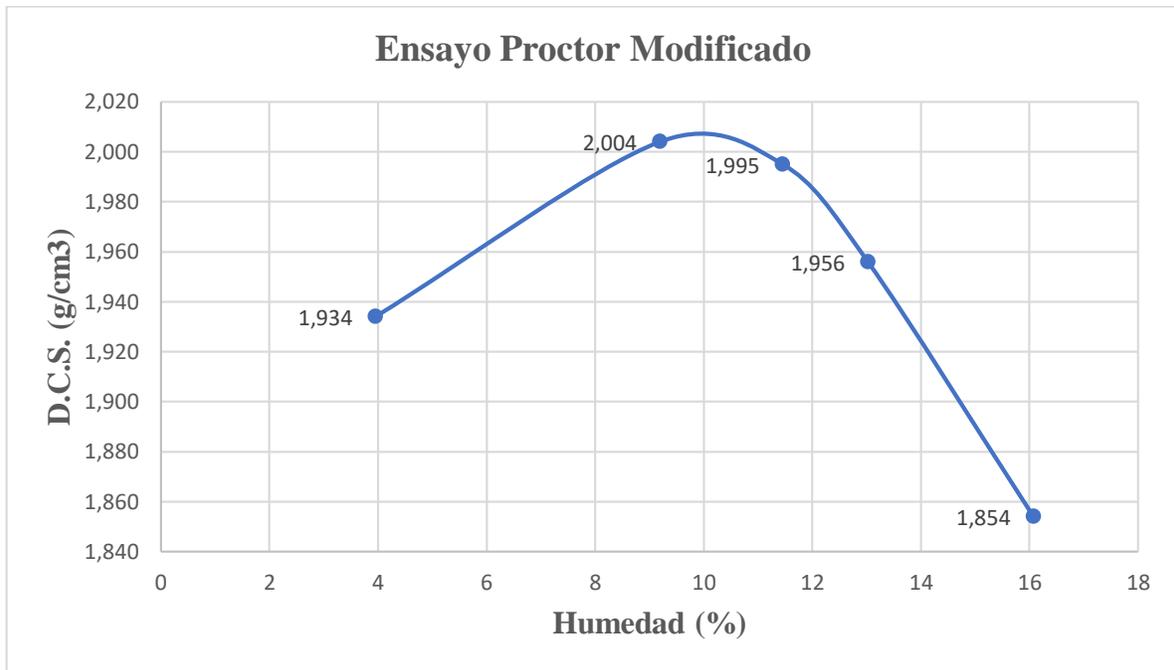


Figura A°1. Curva de compactación Proctor modificado.

- Se obtiene que la D.M.C.S tiene un valor de 2,004 g/cm³, la cual es alcanzada con una humedad óptima del 9,19 %.

2. ENSAYOS ARENA GRUESA

2.1 Granulometría:

La finalidad de la granulometría es obtener la distribución por tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo, así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

- **Cantidad total de material utilizado:** 774 g.

Tabla A°3. Granulometría de arena gruesa.

Tamiz (N°)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4 "	0	0	0	100
3/8"	0	0	0	100
4	1,1	0,1	0,1	99,9
10	18,6	2,4	2,5	97,5
20	187,1	24,2	26,7	73,3
40	366,5	47,4	74,1	25,9
60	138,1	17,8	91,9	8,1
200	44,4	5,7	97,6	2,4
Residuo Fondo	18,2	2,4	100	

- **Cc:** 1,088
- **Cu:** 2,617
- **Clasificación USCS:** SP
- **Clasificación AASHTO:** A-2

2.2 Densidad relativa:

Se utiliza la norma NCh 1726 of. 1980 que establece un procedimiento para determinar las densidades secas máxima y mínima de suelos no cohesivos, no cementados, de flujo libre, con un tamaño máximo nominal hasta 80 mm y que contienen hasta un 12% en masa de partículas menos que 0,080 mm.

Esta norma es aplicable a suelos para los cuales la compactación por impacto no produce una curva bien definida de relación humedad densidad y en los cuales la densidad máxima por impacto resulta generalmente menor que la obtenida por métodos vibratorios. Determina la densidad máxima mediante compactación por vibrado y la densidad mínima mediante vaciado.

Densidad mínima: Corresponde al índice de huecos máximo. Se ha definido como aquella que se logra en el suelo granular al dejarlo caer libremente desde una cierta altura a un recipiente de volumen y masa conocidos. Luego se enrasa y se pesa. Por diferencia de peso se conoce el peso seco de material que llena el molde.

- De la realización de tres ensayos diferentes se concluye que el valor obtenido de densidad mínima corresponde a un valor de **1,494 g/cm³**.

Densidad máxima: Corresponde al índice de huecos mínimo. Se determina mediante un proceso de compactación por vibrado, a través de una mesa de amplitud de onda regulable. Se coloca una placa circular de espesor conocido sobre el molde con capacidad de moverse dentro de éste. El molde se aperna sobre una placa vibradora para así producir un acomodo de las partículas, y se procede a una vibración por un periodo de 8 minutos en este caso. Luego se mide, en cuatro puntos distintos, el descenso que ha sufrido la placa.

- De la realización del ensayo se obtiene que el valor obtenido de densidad máxima corresponde a un valor de **1,757 g/cm³**.

ANEXO B
Especificaciones técnicas materiales

En esta sección se muestran las especificaciones técnicas de los materiales utilizados, la geogrilla uniaxial de polietileno de alta densidad (UX14-S), la malla biaxial de polipropileno (TENAX LBO 202) y el geotextil no tejido de polipropileno (NT-11).

1. Geogrilla Estructural UX14-S.

Tipo de producto: Geogrilla estructural integralmente formada

Polímero: Polietileno de alta densidad

Mecanismo de transferencia de carga: Enclavamiento mecánico positivo

Aplicaciones recomendadas: Taludes reforzados, terraplenes, muros temporales

Propiedades del producto:

Tabla B°4. Especificaciones técnicas geogrilla UX14-S. (Fuente: synteccorp.com)

Propiedades Índice	Unidades	Valores
Resistencia a la tracción @5% Tensión	kN/m (lb/ft)	31 (2,130)
Resistencia a la tracción máxima	kN/m (lb/ft)	70 (4,800)
Resistencia a la unión	kN/m (lb/ft)	66 (4,520)
Rigidez a flexión	mg-cm	730
Durabilidad	Unidades	Valores
Resistencia a la degradación a largo plazo	%	100
Resistencia a la degradación UV	%	95
Capacidad de carga	Unidades	Valores
Máximo admisible (Diseño)	kN/m (lb/ft)	25,6 (1,760)
Factores de reducción de fuerza recomendados	Unidades	Valores
Factor de reducción mínimo para daño de instalación	-	1.05
Factor de reducción para creep	-	2.60
Factor de reducción mínimo para la durabilidad	-	1.00

2. Geogrilla Estructural TENAX LBO 202.

TENAX LBO SAMP son geogrillas de polipropileno especialmente diseñadas para aplicaciones de estabilización y refuerzo de suelos. Las geogrillas se fabrican a partir de un proceso único de extrusión y orientación biaxial para mejorar sus propiedades de tracción. Las geogrillas TENAX LBO SAMP tienen una resistencia y un módulo de alta resistencia, excelente resistencia a los daños de la construcción y a la exposición ambiental. Además, la geometría de las geogrillas permite un fuerte enclavamiento mecánico con el suelo reforzado.

Aplicaciones típicas:

Refuerzo de base; reducción del relleno estructural requerido; distribución de la carga; reducción del bombeo de lodo; estabilización de la subrasante; estabilización del terraplén; refuerzo de pendiente, colchones de control de erosión.

Tabla B°2. Especificaciones técnicas geogrilla TENAX LBO 202. (Fuente: geosistemas.cl)

Características físicas	Método de prueba	Unidad	Datos	Notas	
Estructura	-	-	Geogrillas bi-orientadas	-	
Tipo de malla	-	-	Apertura rectangular	-	
Color standard	-	-	Negro	-	
Tipo de polímero	-	-	Polipropileno	-	
Contenido de carbón	ASTM D4218	-	2.0%	-	
Características dimensionales	Método de prueba	Unidad	LBO 202 SAMP		Notas
Tamaño de apertura MD	-	mm	27		b, d
Tamaño de apertura TD	-	mm	37		b, d
Masa por unidad de área	ISO 9864	g/m ²	210		b
Ancho de rollo	-	m	4.0		b
Largo de rollo	-	m	100.0		b
Diámetro de rollo	-	m	0.35		b
Volumen de rollo	-	m ³	0.50		b
Peso bruto del rollo	-	kg	91.5		b
Características técnicas	Método de prueba	Unidad	LBO 202 SAMP		Notas
			MD	TD	
Fuerza al 2% de tensión	ISO 10319	kN/m	4.5	6.6	b, c, d
Fuerza al 5% de tensión	ISO 10319	kN/m	9.5	13.5	b, c, d
Pico de resistencia a la tracción	ISO 10319	kN/m	13.0	20.5	a, c, d
Alargamiento del punto de fluencia	ISO 10319	%	16.0	13.0	b, c, d

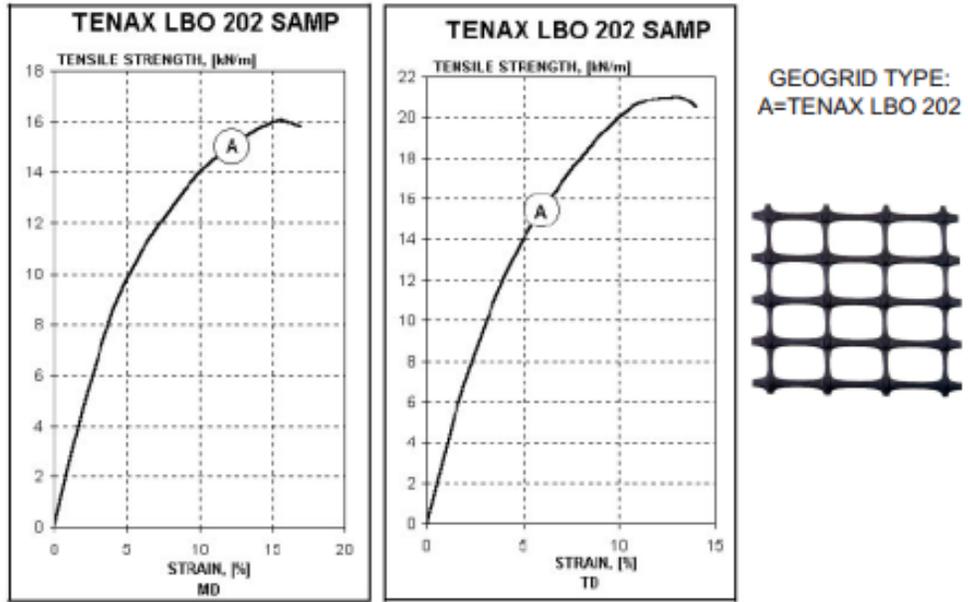


Figura B°5. Características típicas de tracción geogrilla TENAX LBO 202. (Fuente: *geosistemas.cl*)

3. Geotextil no tejido NT-11.

Geotextil no tejido formado por fibras vírgenes 100% de polipropileno, unidas mecánicamente por un proceso de agujado con posterior termofusión.

Campo de aplicación: En carreteras y otras zonas de tráfico, construcciones ferroviarias, movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención, sistemas de drenaje, control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes).

Usos previstos: Drenaje, filtración, refuerzo y separación.

Tabla B°3. Especificaciones técnicas geotextil no tejido NT-11. (Fuente: composan.com)

Característica	Método de ensayo	Unidad	Valor
Resistencia a la tracción DM/DT	EN ISO 10319	kN/m	6'46 (- 1'24) /6'48 (- 1'12)
Alargamiento DM/DT	EN ISO 10319	%	55'25 (± 7'32) /61'49 (± 6'36)
Resistencia a la perforación dinámica (caída de cono)	EN ISO 13433	mm	33'07 (+ 1'90)
Resistencia al punzonado estático (CBR a perforación)	EN ISO 12236	kN	1'11 (- 0'05)
Medida de abertura (porometría 090)	EN ISO 12956	mm	0'071(± 0'021)
Permeabilidad al agua	EN ISO 11058	l/m ² /s	117'37(- 5'22)
Gradiente de flujo de agua en el plano gradiente q ₂₀ /1'0	EN ISO 12958	m ² /s	3'45.10 1'09.10-6 -6
Durabilidad	A recubrir en el día de la instalación para refuerzos Durabilidad prevista para un mínimo de 25 años		

Tabla B°4. Otras características adicionales geotextil no tejido NT-11. (Fuente: composan.com)

Característica	Método de ensayo	Unidad	Valor
Gramaje	EN ISO 9864	g/m ²	90 (± 1'97 %)
Espesor bajo 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	1'05 (± 23'8 %)
Ancho de rollo	-	m	5'5
Largo de rollo	-	m	100
Diámetro del rollo	-	cm	33
Peso del rollo	-	kg	49'50

ANEXO C
Registro de fotografías

1. Materiales



Figura C°1. Planchas terciado estructural.

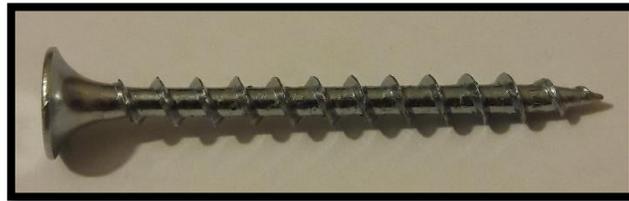


Figura C°2. Tornillos rosca gruesa.

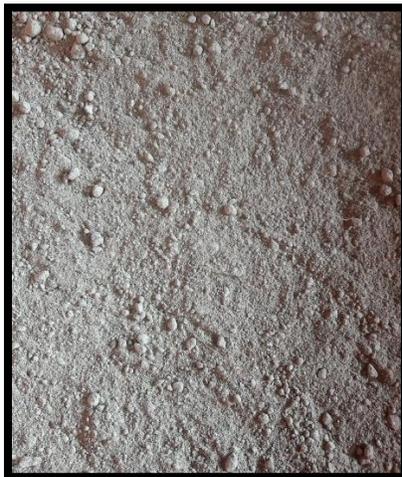


Figura C°3. Arena limosa.



Figura C°4. Arena gruesa.

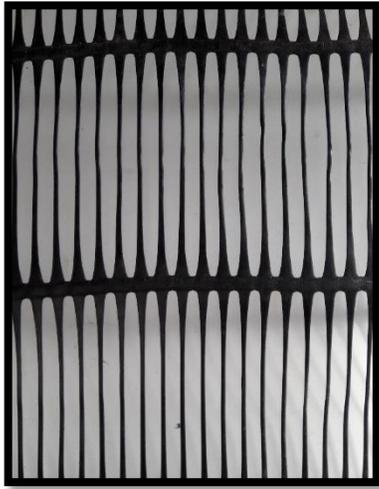


Figura C°5. Geogrida uniaxial UX14-S.

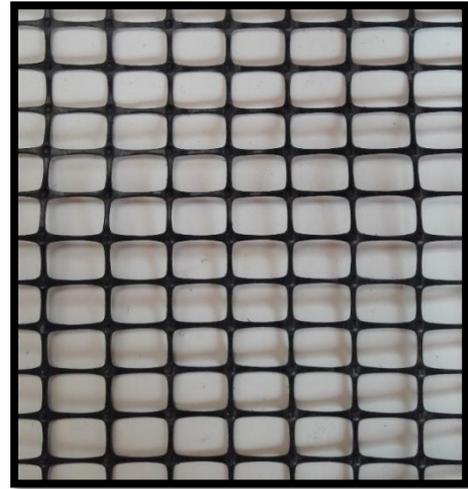


Figura C°6. Geogrida biaxial TENAX LBO 202.



Figura C°7. Geotextil NT-11.



Figura C°8. Pisón de acero.



Figura C°9. Termohigrómetro.



Figura C°10. Sopletes.

2. Taludes de arena



Figura C°11. Cajones de madera.



Figura C°12. Llenado cajones arena limosa.



Figura C°13. Llenado cajones arena gruesa.



Figura C°14. Ensayo taludes arena gruesa.



Figura C°15. Ensayo taludes arena limosa.