



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

“ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE DISTINTA
PENDIENTE CON SUELO-CEMENTO ANTE LA ACCIÓN DE
LLUVIA EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CONSTRUCTOR

PROFESOR GUÍA: JORGE BRAVO GONZÁLEZ

ÁLVARO NICOLÁS LAGOS LAGOS

CURICÓ – CHILE

2020

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNIVERSIDAD DE TALCA' with a signature over it. The right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO' with a signature over it.

Curicó, 2022

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Página
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	3
1.1 Introducción	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Tipos de suelos	5
2.1.1 Suelos granulares	5
2.1.2 Suelos cohesivos	5
2.2 Sistema de clasificación de suelos	5
2.2.1 Sistema de clasificación de suelos AASHTO	6
2.2.2 Sistema de clasificación USCS	6
2.3 Erosión en suelo	6
2.3.1 Erosión hídrica	7
2.3.2 Erosión eólica	8

2.4	Taludes	9
2.4.1	Partes de un Talud.....	9
2.4.2	Técnicas de estabilización y mejoramiento de taludes.....	11
2.4.3	Pendientes de taludes	22
2.5	Suelo-cemento.....	24
2.5.1	Suelos aptos para suelo-cemento.....	25
CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO		27
3.1	Metodología	27
3.2	Material a utilizar	28
3.2.1	Zona de extracción	28
3.2.2	Granulometría	28
3.2.3	Límites de Atterberg	29
3.2.4	Clasificación por USCS	29
3.2.5	Clasificación por AASHTO	31
3.3	Caudal aportado por la lluvia	31
3.3.1	Cálculo de caudal	32
3.3.2	Periodo de retorno	33
3.3.3	Precipitación máxima diaria (PD^{10})	33
3.3.4	Coeficiente de duración (CD_D).....	33
3.3.5	Coeficiente de frecuencia (CF^T).....	34
3.3.6	Tiempo de concentración (T_c).....	34
3.3.7	Intensidad de la lluvia (I)	35
3.3.8	Caudal aportante.....	35
3.4	Confección de taludes a ensayar	36

3.4.1	Características de taludes a ensayar	36
3.3.2	Confección de moldajes	36
3.3.3	Preparación de mezcla de suelo cemento	37
3.3.4	Colocación de la mezcla en los taludes	38
3.3.5	Ensayo de erosión	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS		42
4.1	Resultados de ensayos	42
4.1.1	Parámetros de resultados	42
4.1.2	Ensayo mediante la acción de precipitaciones	42
4.1.3	Ensayo de medición por escurrimiento	43
4.1.4	Resumen nivel de daños producidos	45
4.2	Análisis nivel de daños entre pendientes y revestimiento	45
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		46
BIBLIOGRAFÍA		47
ANEXOS		48
Anexo 1: Precipitación máxima diaria (PD¹⁰)		48
Anexo 2: Coeficiente de duración (CD_D)		49
Anexo 3: Coeficiente de frecuencia (CF^T)		50

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1: Inclinaciones Normales de Taludes Correspondientes a Materiales.....	23
Tabla 2: Inclinaciones Normales de Taludes de Corte.....	24
Tabla 3: Distribución granulométrica de suelos aptos para suelo-cemento	26
Tabla 4: Análisis granulométrico	29
Tabla 5: Clasificación de suelos USCS.....	30
Tabla 6: Clasificación de suelo AASHTO	31
Tabla 7: Cálculo de intensidad de la lluvia.	35
Tabla 8: Cálculo de caudal aportado.....	35
Tabla 9: Cuadro resumen resultados obtenidos.....	45
Tabla 10: Precipitaciones máximas para 10 años.....	48
Tabla 11: Coeficientes de duración de varias ciudades para lluvias de igual período de retorno.....	49
Tabla 12: Coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración.	50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Contenido	Página
Ilustración 1: Etapas de la erosión hídrica	7
Ilustración 2:Proceso de erosión eólica.....	8
Ilustración 3: Talud	10
Ilustración 4: Ladera natural	10
Ilustración 5: Esquema de disminución de pendiente de un talud	11
Ilustración 6: Remoción cabeza del talud	12
Ilustración 7: Terrazas en un talud	13
Ilustración 8: Berma en pie de terraplén	13
Ilustración 9: Drenaje superficial.	14
Ilustración 10: Canal disipador rápido	15
Ilustración 11: Canal colector en gradería.	15
Ilustración 12: Cortina subterránea impermeable.	16
Ilustración 13: Subdren interceptor.	17
Ilustración 14: Muro con contrafuertes	18
Ilustración 15: Muro de gaviones.....	19
Ilustración 16: Pedraplén	19
Ilustración 17: Sistemas de anclajes.....	20
Ilustración 18: Colocación de hormigón proyectado	21
Ilustración 19: Subestación Cauquenes.....	28
Ilustración 20: Área de talud tipo.....	32
Ilustración 21: Confección de talud	36
Ilustración 22: Talud con ángulo de inclinación de 60°	37

Ilustración 23: Porcentaje de cemento según el tipo de suelo.....	37
Ilustración 24: Medición de tierra en balanza	38
Ilustración 25: Incorporación de cemento al suelo.....	38
Ilustración 26: Aplicación de mezcla de suelo cemento	39
Ilustración 27: Estado inicial de los taludes	39
Ilustración 28: Medición de caudal	40
Ilustración 29: Esquema de ensayo precipitaciones	41
Ilustración 30: Esquema de ensayo escurrimiento.	41
Ilustración 31: Comparación talud 30° primer ensayo.....	42
Ilustración 32: Comparación talud 60° primer ensayo.....	43
Ilustración 33: Comparación talud 90° primer ensayo.....	43
Ilustración 34: Comparación talud 30° segundo ensayo	44
Ilustración 35: Comparación talud 60° segundo ensayo.	44
Ilustración 36: Comparación talud 90° segundo ensayo.	45

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio de la memoria consistió en el análisis de la aplicabilidad de suelo cemento como alternativa de revestimiento para taludes de diferentes inclinaciones, con la finalidad de disminuir el efecto de la erosión producida por las lluvias.

Tuvo como objetivo determinar el análisis de daños producido por la lluvia en taludes de diferentes pendientes, generando la relación más óptima entre pendiente y revestimiento.

La metodología de ensayo que se utilizó corresponde a la preparación de taludes de suelo cohesivo con diferentes pendientes los cuales fueron confeccionados con una mezcla de suelo cemento al doce por ciento, luego se evaluó el daño que se produjo tanto por escurrimiento como por el impacto de las gotas de agua al caer, para esto se tomó en consideración un cálculo de caudal aportante de acuerdo a las características pluviales de la región del Maule específicamente en Talca.

Los resultados de este estudio fueron obtenidos de acuerdo a la aplicación de dos ensayos de erosión, por medio de precipitaciones y escurrimiento de acuerdo a una lluvia generada con un periodo de retorno de 10 años, luego se generó un análisis de acuerdo al nivel de daño que presenten producto de la aplicación de lluvia. Los cuales fueron bastantes óptimos, se puede inferir que la composición de la mezcla de suelo cemento presenta características muy aptas como revestimiento para taludes en diferentes tipos de inclinación, aun cuando sean pendientes bastantes elevadas. Esto ayudará a prolongar la vida útil de un talud evitando la erosión.

ABSTRACT

The study of memory consisted of the analysis of the applicability of cement soil as a coating alternative for slopes of different inclinations, in order to decrease the effect of erosion caused by rains.

It aimed to determine the analysis of damage caused by rain on slopes of different slopes, generating the most optimal ratio between slope and coating.

The test methodology used corresponds to the preparation of cohesive soil slopes with different slopes which were made with a mixture of cement soil at twelve percent, then the damage that occurred both by runoff and by the impact of the water droplets when falling was assessed, for this a calculation of contributing flow was taken into account according to the rainfall characteristics of the Maule region specifically in Talca.

The results of this study were obtained according to the application of two erosion tests, by means of precipitation and runoff according to a rain generated with a return period of 10 years, then an analysis was generated according to the level of damage presented by the result of the application of rain. Which were quite optimal, it can be inferred that the composition of the cement floor mixture has very suitable characteristics such as coating for slopes in different types of inclination, even if they are pending quite high. This will help extend the life of a slope by preventing erosion.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

A lo largo del tiempo, la construcción de caminos y carreteras ha sido un factor fundamental para el desarrollo social, permitiendo la conectividad, fomentando la actividad comercial y la optimización del tránsito para la obtención de servicios básicos. Al mismo tiempo sería imposible realizar una construcción efectiva de caminos y carreteras sin la existencia de un trabajo topográfico del terreno, siendo esto uno de los factores más importantes a la hora de construir, pues las obras viales deben adaptarse a las características topográficas del terreno en el que se emplazan.

Existen ocasiones donde la construcción de caminos y carreteras van de la mano con la necesidad de realizar cortes o rellenos que generan taludes, los cuales tienen como objetivo viabilizar la concreción de las distintas obras respondiendo de forma efectiva a las distintas naturalezas y formaciones de suelo. Estos taludes se pueden ver afectados principalmente por la erosión que produce la lluvia, aumentando el riesgo de un eventual deslizamiento de material, produciendo situaciones como: inhabilitación de rutas y caminos, desconexión entre localidades o sectores, peligro social, altos costos de infraestructura – privada y pública – y reparación.

En la actualidad realizar un revestimiento, mejoramiento o mantenimiento de talud lleva consigo un gran costo económico, clara representación de estos son las actividades relacionadas, por ejemplo, al momento de desarrollar un mejoramiento en la conformación del talud, ya que esto implica además de la inversión, el movimiento de un gran volumen de material.

Indagando alternativas que contribuyan a una disminución de los costos asociados es que se estudiará la utilización de suelo-cemento como revestimiento efectivo de taludes para suelos finos, con la finalidad de determinar el efecto de la erosión de acuerdo a la pendiente de los mismos, considerando que al estar en presencia de un suelo de este tipo se presenta una baja cohesión de las partículas de este y al ser afectado por la lluvia, pierde sus propiedades y posteriormente producirá su falla.

Para esta investigación se buscará apoyo en estudios realizados anteriormente, además, se construirán taludes a escala con distintas inclinaciones, los cuales se pretenden mejorar con mezclas de suelo cemento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un estudio de la aplicación de suelo cemento como revestimiento para taludes de suelos finos con diferentes pendientes, con la finalidad de comprobar la aplicabilidad ante la acción de lluvias en la región del Maule.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir caudal aportado por la lluvia en la localidad Talca, región del Maule.
- Determinar el nivel de daño producido por la lluvia en taludes de distintas pendientes con revestimiento de suelo cemento.
- Realizar un análisis del nivel de daños para establecer la relación óptima entre pendiente y el revestimiento para obtener mayor resistencia en el talud.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Hoy en día los métodos utilizados para la protección de taludes son altamente costosos. Es por este motivo se busca optar por métodos de mejoramiento de menor costo, pero que sean factibles para la ejecución de obras civiles. Uno de estos métodos es el suelo-cemento, que además de ser menos costoso, cumple con los requerimientos necesarios de protección, lo cual se ha demostrado en la estabilización de caminos.

2.1 Tipos de suelos

Los suelos desde el punto de vista de la mecánica de suelos se dividen en dos grandes categorías relacionadas con la composición granulométrica del material. Estos tipos son:

2.1.1 Suelos granulares

En este tipo de suelo las partículas no tienden a juntarse ni a adherirse, es decir que no poseen cohesión. En estos suelos se pueden encontrar gravas y arenas, estas tienen diversas cualidades como poseer granos grandes, una forma bastante regular, además de presentar alteraciones físico-mecánicas, el vínculo que existe entre partícula y agua es débil o nulo. (Sáez, 2010)

2.1.2 Suelos cohesivos

Un suelo cohesivo presenta una parte importante de partículas finas, las que ayudan a mantener el suelo unido, por otra parte, estas muestran formas irregulares y alteraciones de carácter físico-químico. Los granos generan un campo eléctrico que produce que sus partículas tengan una gran fuerza de atracción. Además, el vínculo que posee este con el agua es bastante fuerte, ya que a diferencia de un suelo granular el agua es absorbida. (Sáez, 2010)

2.2 Sistema de clasificación de suelos

La finalidad de la clasificación de suelos es separar los tipos de suelos que existen en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación nos permiten relacionarlos con un lenguaje común con el fin de entregar la información sobre el suelo clasificado sin una descripción detallada. Hoy en día, existen dos sistemas de clasificación que son utilizados para obtener la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos comúnmente utilizados en ingeniería. Los sistemas utilizados son el American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). (Das, 2015)

2.2.1 Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Este sistema de clasificación fue creado en el año 1929 como el sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. La actual versión es la propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carretera Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en el año 1945.

De acuerdo a la actual forma de este sistema, los suelos son clasificados en ocho grupos principales de A-1 al A-8 según su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. En los grupos A-1, A-2 y A-3 se encuentran materiales gruesos y en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son los finos. La turba, el lodo y otros altamente orgánicos son clasificados en el grupo A-8, este grupo es identificado visualmente. (Villalobos, 2016)

2.2.2 Sistema de clasificación USCS

El sistema USCS (*United Soil Classification System*) está normado por la ASTM (*American Society of Testing Materials*). Este sistema utiliza símbolos de dos letras para clasificar los suelos, la primera letra corresponde al tipo de suelo y la segunda letra caracteriza al suelo en más detalle:

- G= Grava
- S= Arena
- M= Limo
- C= Arcilla
- O= Limos orgánicos y arcillas
- H= Alta plasticidad
- L= Baja plasticidad
- W= Bien graduado
- P= Mal graduado. (Villalobos, 2016)

2.3 Erosión en suelo

La erosión del suelo es conocida como el fenómeno que se produce de forma natural cuando partes de suelo y roca se van desprendiendo de la superficie terrestre, siendo trasladadas a otro sitio. Este fenómeno es más común debido a la acción del agua y el viento. Estas son conocidas como la erosión hídrica y erosión eólica:

2.3.1 Erosión hídrica

Este tipo de erosión es producida por el agua lluvia. Afecta al suelo debido al impacto que producen las gotas al caer; el agua acumulada genera corriente con capacidad de mover el suelo y modelar el relieve. Estos fenómenos hídricos se pueden definir de cuatro maneras:

- a) Erosión por precipitaciones: Producida debido al impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo que no presenta vegetación, provocando una expulsión y movilización del suelo fino. Este impacto produce una compactación del suelo y así se genera una menor permeabilidad en este, ayudando a la erosión por escurrimiento.
- b) Escorrimento superficial difuso: Este escurrimiento se produce en áreas que no presentan vegetación y fueron afectadas por erosión provocada por precipitaciones, con velocidades de agua menores a $30 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$.
- c) Escorrimento superficial concentrado: Se produce en surcos de erosión como canales bien definidos de tamaños pequeños y en canales o zanjas de mayores dimensiones. Cuando se presenta un flujo turbulento, el agua posee la capacidad de generar cavidades en los canales movilizandando grandes volúmenes de material.
- d) Escorrimento superficial: Se genera cuando las aguas que se infiltran superan la resistencia del suelo, provocando conductos en el suelo que forman cavidades.



Ilustración 1: Etapas de la erosión hídrica

Fuente: www.rolf-derpsch.com

2.3.2 Erosión eólica

La erosión eólica, es un proceso natural que sufre el suelo producto de agentes atmosféricos, en este fenómeno el suelo es disgregado y degradado por un proceso de meteorización y transporte a otras zonas. Se produce así un desgaste físico y químico de rocas y suelo.

Este tipo de erosión es más común que ocurra en regiones planas de poca lluvia y donde existe una escasez de vegetación, la cual reduce la protección del suelo. Esta baja de protección permite que el viento alcance velocidades considerables.

En espacios amplios este tipo de erosión es producida en depresiones poco profundas, las cuales son llamadas hoyas, cuencas o depresiones de deflación. Las partículas finas, tales como arcillas y limos son levantadas por corrientes verticales que sobrepasan las velocidades de decantación, las partículas son elevadas por estas corrientes, las cuales pueden llegar desde pocos metros hasta grandes alturas, todo esto dependerá de la turbulencia del viento, de su duración y del tamaño de las partículas. Esta erosión queda demostrada en tres fases, las cuales son inicio del movimiento de las partículas, transporte de las partículas y depósito de las partículas. (López, 2012)

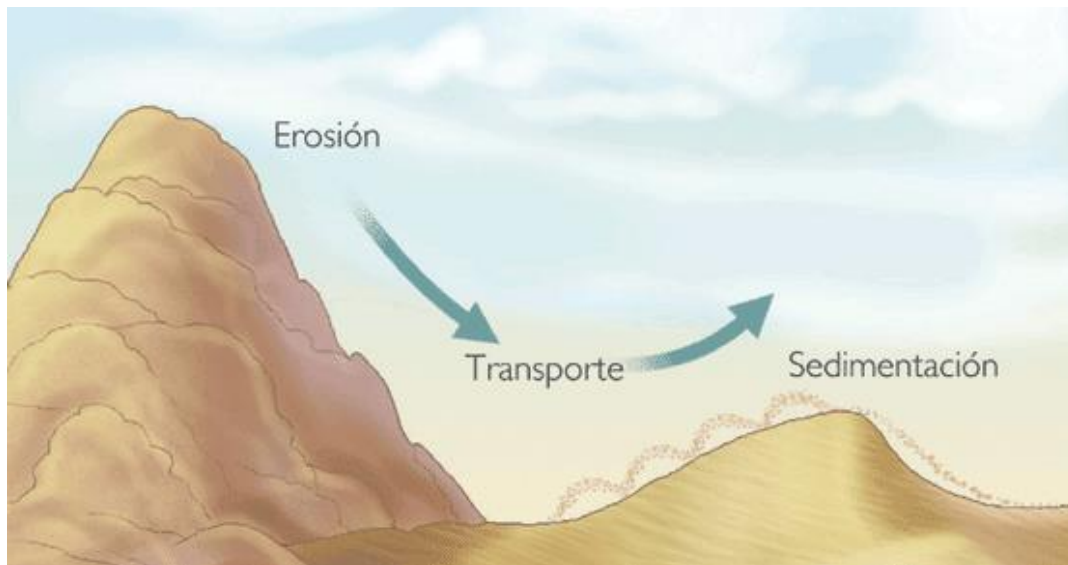


Ilustración 2: Proceso de erosión eólica

Fuente: www.g9abg4cde.blogspot.com/2014/01/erosion-eolica.html

2.4 Taludes

“Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural, y “talud” cuando se conformó artificialmente.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas”. (Suárez, 2009).

2.4.1 Partes de un Talud

Un talud está compuesto por una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o corona -todas estas partes presentan procesos de erosión-, posee una parte intermedia recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie. A continuación, se describen las partes pertenecientes a un talud.

Pie: Este corresponde al cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud o ladera, por lo general posee una forma cóncava.

Corona: En esta parte también se presenta un cambio brusco de pendiente, pero en la parte superior de este. Si la pendiente de este punto hacia la parte inferior es semi-vertical o de alta pendiente es denominada como escarpe. Por lo general la forma de la cabeza es convexa.

Altura: Es la distancia que existe entre el pie y la corona verticalmente, la cual en taludes artificiales está definida, a diferencia de las laderas, debido a que el pie y la cabeza generalmente no se encuentran bien marcados.

Altura de nivel freático: Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel del agua. Por lo general esta altura es medida bajo la cabeza del talud.

Pendiente: Se denomina pendiente a la inclinación del talud o ladera, esta puede ser medida en grados, porcentajes o en relaciones. (Suárez, 2009)

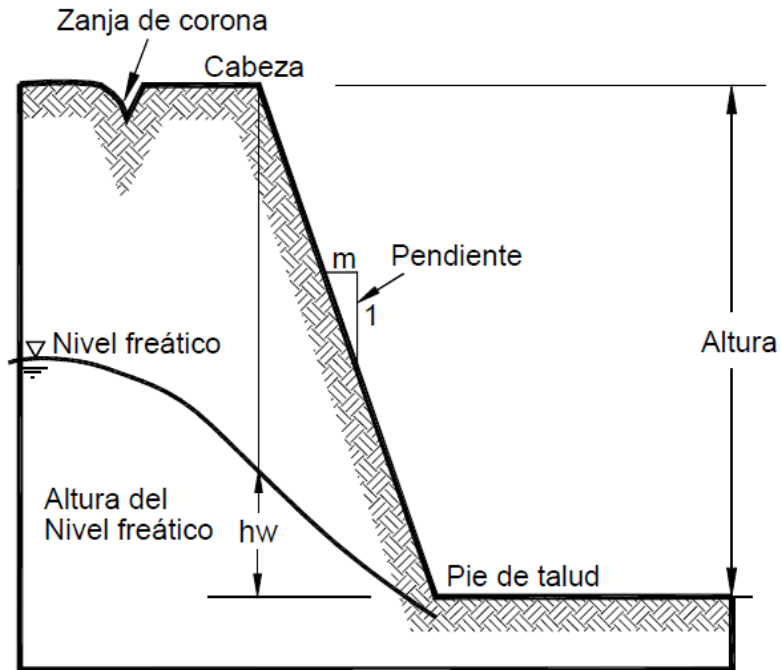


Ilustración 3: Talud

Fuente: www.estabilidad-de-taludes7.webnode.es

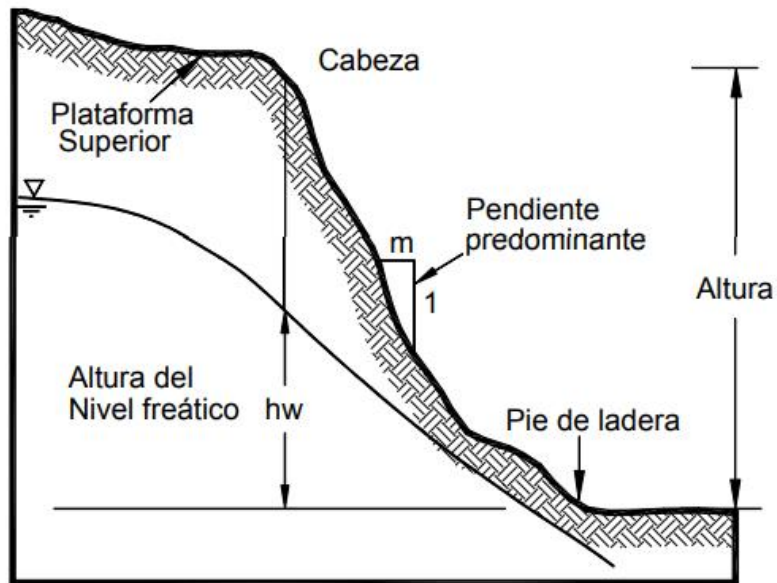


Ilustración 4: Ladera natural

Fuente: www.estabilidad-de-taludes7.webnode.es

2.4.2 Técnicas de estabilización y mejoramiento de taludes

En la ingeniería la estabilización de un talud se conoce como el estudio de la firmeza o posible inestabilidad de este, por lo tanto, existen métodos que pueden estar dirigidos a reducir las fuerzas actuantes, a incrementar las fuerzas resistentes o a una combinación de los dos efectos. Es por esto, que hay diferentes sistemas para estabilizar un talud, la elección del tipo de mejoramiento estará determinada tanto por su eficiencia como por el costo económico que implique.

2.4.2.1 Mejoramientos en la conformación del talud

Estos sistemas buscan lograr el equilibrio de la masa, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento, modificando la geometría del talud para así obtener un soporte mecánico.

- a) Disminución de la pendiente del talud: Este método es de los más comunes al momento de estabilizar taludes, con este sistema se busca que el círculo crítico de la falla se haga más largo y más profundo, obteniendo un talud más estable y con factor de seguridad mayor. Esto se puede confeccionar por corte o relleno de material. Si bien es un buen sistema, es mayormente utilizado en taludes de bajas alturas, ya que para alturas mayores su costo económico se encarece en grandes cantidades; Otra desventaja que tiene este método es cuando se presenta el relleno en el pie del talud y no se tiene espacio suficiente para rellenar.

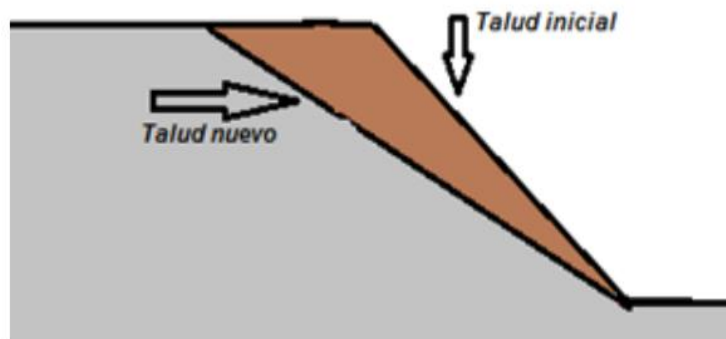


Ilustración 5: Esquema de disminución de pendiente de un talud

Fuente: www.upcommons.upc.edu

- b) Extracción de material de cabeza del talud: Este método es bastante similar al descrito anteriormente, con la diferencia que en este caso no existe un cambio de pendiente, pero sí un cambio de altura del talud retirando material de la cabeza de este, lo cual permite un equilibrio de fuerzas mejorando la estabilidad del talud. Para este proceso debe ser calculado

la cantidad de material a remover con base a un análisis de estabilidad para el factor de seguridad que se desea.

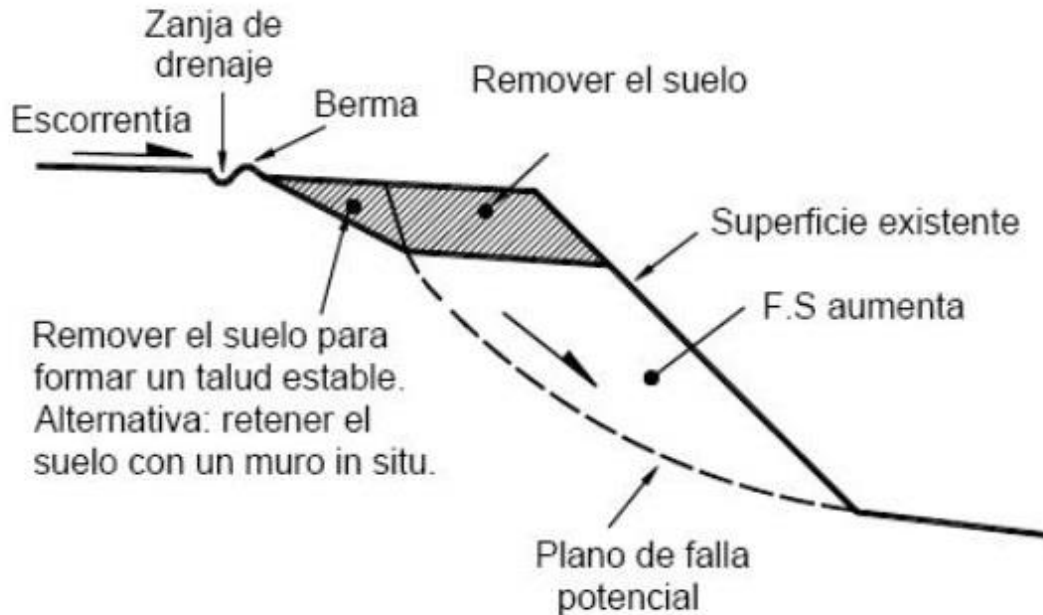


Ilustración 6: Remoción cabeza del talud

Fuente: www.slideplayer.es

- c) **Construcción de terrazas:** La construcción de terrazas en un talud permite reducir el momento actuante y controlar el movimiento. Este proceso debe ser realizado en la parte superior. Lo que se busca con la construcción de terrazas es dividir el talud para así generar que cada uno tenga un comportamiento independiente, este método es utilizado con el fin de disminuir la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación. Por lo general, estas terrazas poseen una altura entre 5 a 7 metros y con cunetas revestidas para lograr controlar el agua superficial.

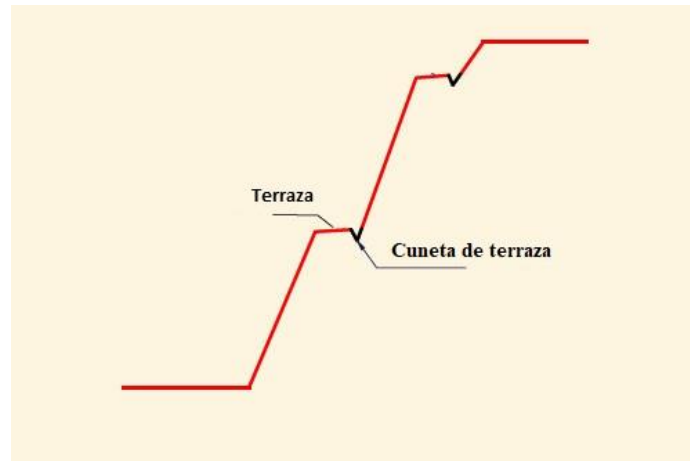


Ilustración 7: Terrazas en un talud

Fuente: Elaboración propia

- d) Bermas bajas en el pie de terraplenes: Este es un sistema de contrapeso que actúa sobre el manto de cimentación del terraplén, mejorando su resistencia y volviéndolo más estable; es utilizado en zonas donde se encuentran suelos blandos. Consiste en la construcción de un terraplén de menor tamaño junto al terraplén principal, esto permite aumentar la longitud de la superficie de falla. (Suárez, 2009)

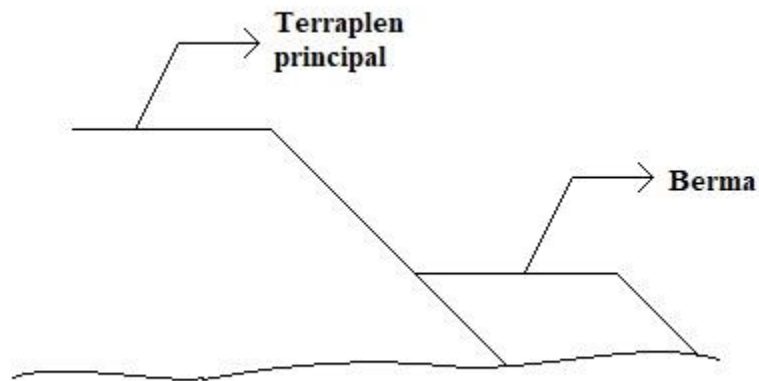


Ilustración 8: Berma en pie de terraplén

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2 Estabilización mediante control de agua superficial y subterránea

Al momento de llevar a cabo estos trabajos, se debe tener en cuenta la zona donde se encuentra, la topografía del lugar, características de la geología, infiltraciones y la erosionabilidad de los suelos. Es de suma importancia que el diseño de estas obras tenga las pendientes necesarias para impedir la concentración de agua.

- a) Drenajes superficiales: La finalidad de estos drenajes es mejorar la estabilidad del talud, reduciendo la infiltración y evitando la erosión. Este sistema es el encargado de evitar que el agua de cotas superiores llegue a la cabeza del talud, captando las aguas antes de llegar a la superficie de este y trasladándola a lugares lejanos; esto se puede lograr construyendo zanjas o canales interceptores en la parte alta del talud. También son conocidos como contrafosos y son utilizados cuando el volumen de agua es considerable.

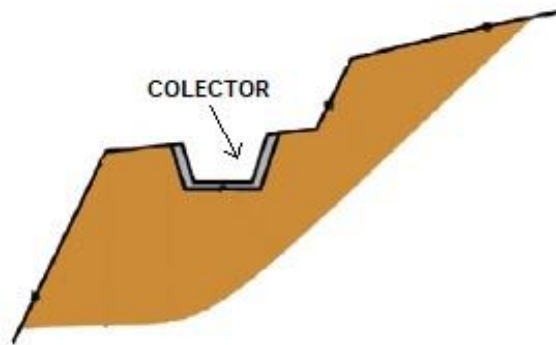


Ilustración 9: Drenaje superficial.

Fuente: <http://www.carreteros.org>.

- b) Canales colectores y disipadores: Estos canales son los encargados de captar el agua de los interceptores trasladándola a estos otros que son de alta velocidad, los cuales van en dirección al talud. Esta agua es conducida a un disipador de energía que conduzca el agua a un sitio seguro, existen dos tipos de canales, canales rápidos y en gradería:
 - a. Canal rápido: Es construido con la misma pendiente que posee el talud, en el fondo de este pueden ser colocados elementos que permitan disipar energía. Es un sistema muy común debido a que es económico, pero tiene el defecto de disipar poca cantidad de energía.

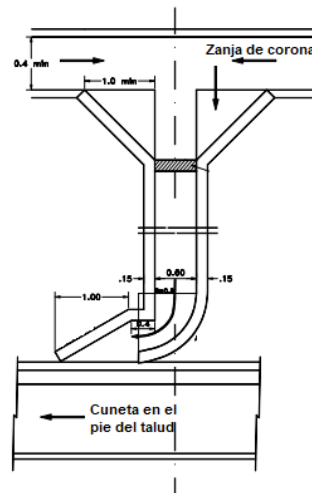


Ilustración 10: Canal disipador rápido

Fuente: <https://www.slideshare.net/JohanHernandez2/tipos-de-subdrenajes-95009128>.

- b. Canal de gradería: Este sistema es mucho más efectivo al momento de disipar energía, el agua posee un flujo turbulento y debe ser construido un muro lateral al borde evitando la salpicadura del flujo. Está conformado por una serie de gradas dentro del canal en la cuales se disipa energía escalón a escalón.

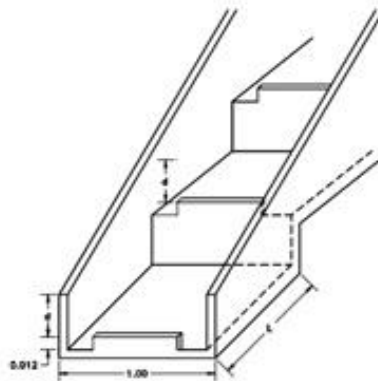


Ilustración 11: Canal colector en gradería.

Fuente: <https://www.slideshare.net/JohanHernandez2/tipos-de-subdrenajes-95009128>.

- c) Drenajes subterráneos: Este drenaje tiene como finalidad disminuir la presión de poros. Existen diferentes tipos de subdrenajes, tales como:
- a. Cortinas subterráneas impermeables: Impiden que el agua alcance la zona de inestabilidad. Las pantallas consisten en zanjas profundas, las cuales están rellenas

de hormigón, asfalto, tablestacados, cortinas de inyección o líneas de bombeo de agua, las cuales se encuentran en hileras de pozos verticales.

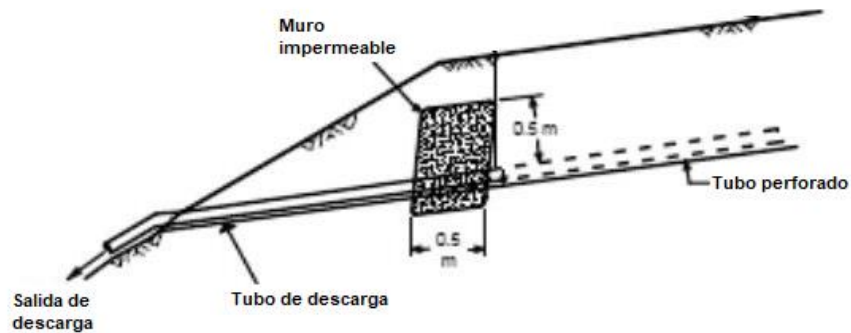


Ilustración 12: Cortina subterránea impermeable.

Fuente: Bromhead, 1984

- b. Subdrenes interceptores: Son zanjas excavadas rellenas de materiales filtrantes y elementos de captación; poseen una profundidad máxima de 6 metros y existen diversas formas de confeccionarlas:
- i. Con material de filtro y tubo colector.
 - ii. Con material grueso permeable sin tubo (filtro francés).
 - iii. Con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector.
 - iv. Con geotextil, material grueso y sin tubo.
 - v. Tubo colector con capa gruesa de geotextil en su contorno.
 - vi. Dren sintético con geomalla, geotextil y tubo colector. (John, 2011)

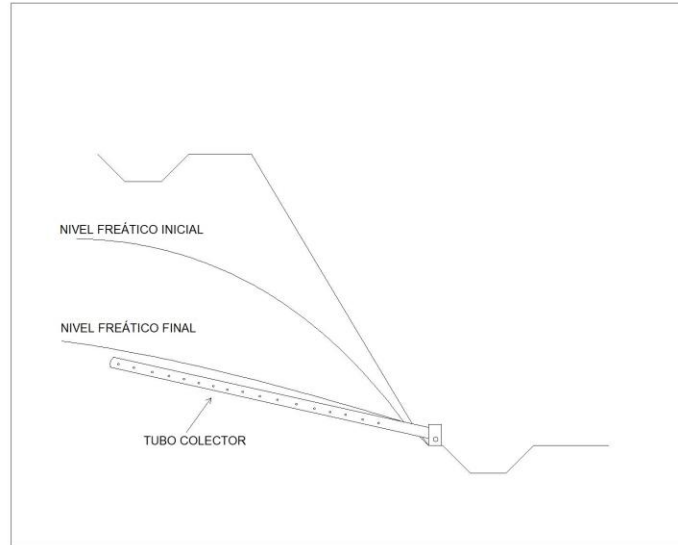


Ilustración 13: Subdren interceptor.

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.3 Mejoramientos mediante contención

Toda estructura de contención rígida es denominada como un muro de contención, los usos de estos son con la finalidad de contener el material de este, comúnmente tierra. Este sistema busca resistir las fuerzas que ejerce el material contenido, para luego ser transmitidas a las fundaciones o a otro sitio lejano a la masa que podría tener movimiento. Esta estructura debe ser diseñada con el fin de evitar deformaciones excesivas o su movimiento y así garantizar la estabilidad.

Existen diferentes tipos de estructura de contención, las cuales serán definidas a continuación, su uso estará dado según las condiciones que se presenten, tales como taludes estables o con condiciones de deslizamiento.

- a) **Muros rígidos:** Esta medida es una forma más simple de manejar cortes y terraplenes. Estos actúan como una masa relativamente concentrada para contener una masa inestable. Existen distintos tipos de muros rígidos tales como:
 - a. **Muros de hormigón reforzado:** Estos muros con contrafuerte son construidos de hormigón armado, su forma de actuar no solo depende de su propio peso, sino también de la masa de suelo sobre ellos; pueden llegar a ser de grandes alturas. Se presentan tres tipos de muros de hormigón reforzado.
 - Muros empotrados; estos pueden ser en forma de L o T invertida, según las condiciones que presente el terreno a contener.

- Muros con contrafuertes; poseen una estructura vertical que se encuentra soportada por contrafuertes monolíticos los que entregan rigidez y ayudan a transmitir las fuerzas a la cimentación.
- Muros con estribos; estos tienen bastante semejanza con los descritos anteriormente, pero a diferencia de estos, presentan una placa horizontal en su parte superior, la cual aumenta la rigidez y capacidad de soportar momentos.

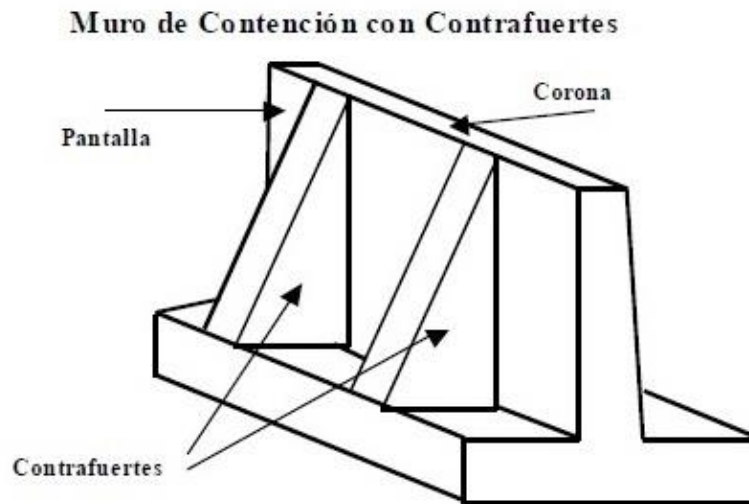


Ilustración 14: Muro con contrafuertes

Fuente: www.ingeverso.blogspot.es

- b. Muros de hormigón sin refuerzo: Son estructuras de refuerzo bastante grandes, las cuales pueden ser solo de hormigón o de hormigón con un porcentaje de roca, los que trabajan como una estructura rígida. Es recomendado que el uso de estos muros se restrinja hasta los cuatro metros de altura, esto debido al mal comportamiento que presenta el hormigón a flexión, provocando fallas en la estructura.
- b) Muros Flexibles: Los muros flexibles generalmente se diseñan cuando está presente la función de resistir masas activas de acuerdo a su estabilidad, funcionando como contrapeso, ayudando a la estabilización del talud. En estos tipos de muros existen diversos tipos; a continuación, se presentan las siguientes estructuras:
 - a. Muros de gaviones: Este tipo de estructura está conformada por mallas de alambre galvanizado las cuales se llenan de bolones, formando cajones unidos mediante alambre. Tiene la ventaja de ser una construcción simple y además no da gran trabajo

de mantenimiento. Pueden ser construidos con mallas hexagonales, electrosoldadas y eslabonadas.

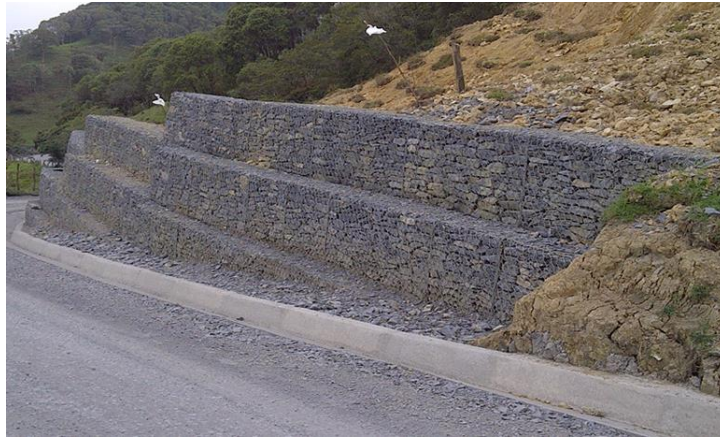


Ilustración 15: Muro de gaviones

Fuente: www.excavacionescatalunya.com

- b. Muros de piedra o pedraplenes: Estas estructuras son construidas con bloques de roca o rocas grandes, los cuales son colocadas una encima de otra; los bloques por lo general tienen un tamaño superior a las tres pulgadas. La base del pedraplén generalmente es superior a su altura o igual, teniendo como ancho mínimo un metro en la parte superior del muro.



Ilustración 16: Pedraplén

Fuente: www.geotexan.com

- c) **Estructuras ancladas:** Este tipo de estructura soporta las presiones laterales del suelo mediante elementos sometidos a tensión unidos a anclas, las cuales son parte de su sistema estructural. Estas anclas pueden ser con bulbo, micropilotes, entre otros. A continuación, se describen algunos tipos de anclajes utilizados:
- Anclajes y pernos individuales:** Este sistema se compone por pernos individuales no tensionados, los cuales tienen una varilla de acero, la cual es colocada en una perforación y posteriormente se le inyecta cemento con la finalidad de permitir la unión del suelo y la varilla. Esto evita el deslizamiento de la roca fracturada; se recomienda realizar este proceso antes de realizar la excavación.
 - Anclajes individuales tensionados:** En este método se colocan una serie de tirantes de acero en el suelo macizo para posteriormente ser tensados desde la superficie. Los anclajes generan fuerzas de compresión contra el suelo evitando así la desestabilización del mismo; estos anclajes son colocados en lo posible atravesando en su totalidad la falla y así anclando la roca sana que pueda existir tras la superficie.

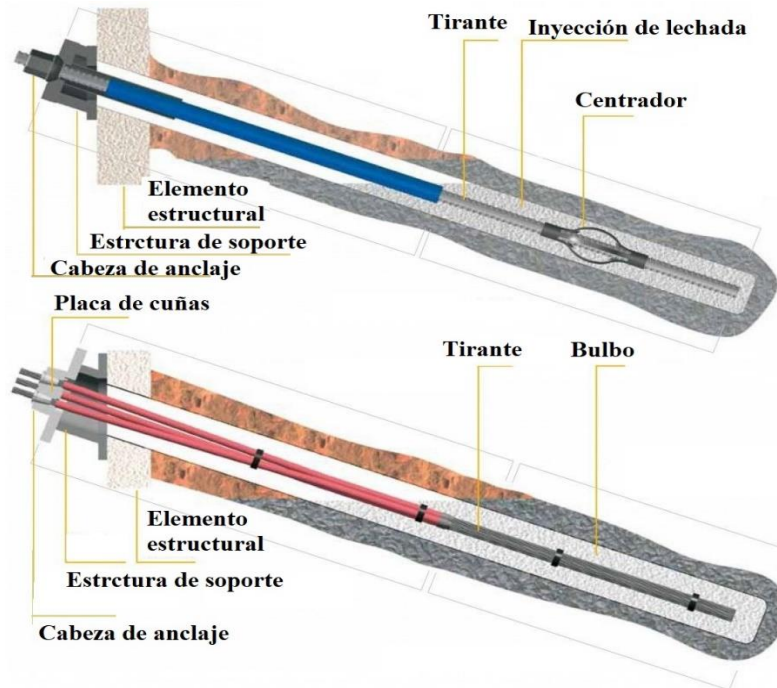


Ilustración 17: Sistemas de anclajes

Fuente: www.estructurando.net

- c. Micropilotes: Este sistema es un método de refuerzo conformado de micropilotes vacíos, los cuales son capaces de generar resistencia en el caso de que existiese movimiento. A diferencia de los pilotes, los micropilotes no resisten fuerzas o cargas laterales a flexión. Pueden estar conformados por varillas de acero, tubos o cables que son introducidos en el suelo natural o roca blanda dentro de huecos perforados; estos son dispersados en distancias pequeñas, puesto que no funcionan de forma tensionada a diferencia de los anclajes.
- d. Hormigón proyectado: Más conocido como Shotcrete, se produce por un proceso en el cual el hormigón comprimido es proyectado a una alta velocidad por medio de un sistema de bombeo sobre una superficie, la mezcla utilizada debe ser relativamente seca y es consolidada por la fuerza de impacto que se ejerce. Este tipo de hormigón tiene características de resistencia muy similares al tradicional, pero a diferencia del otro posee la capacidad de ser más impermeable y resistir de mejor manera las heladas, además de su notable característica de adherencia a la superficie de aplicación, permitiendo tener la forma deseada sin necesidad de moldajes.



Ilustración 18: Colocación de hormigón proyectado

Fuente: www.bestsupportunderground.com

- d) Estructuras enterradas: Son sistemas que tienen la capacidad de resistir esfuerzos a flexión. Son elementos colocados dentro del suelo, los cuales deben en lo posible, atravesar la falla en su totalidad. Existen diferentes tipos de estructuras enterradas, se mencionan las más relevantes:

- a. Tablaestacas: Son estructuras de contención hincadas, delgadas y esbeltas, están diseñadas para trabajar a flexión; estas pueden ser de acero, hormigón o de madera. Un muro de tablaestaca se conforma por una serie de pilotes unidos entre sí que forman una pared continua, este sistema no es muy común de ver, es más utilizado en la contención de muelles, su altura puede variar de los cuatro a doce metros.
- b. Pilotes: Este sistema puede ser utilizado en la estabilización de suelos activos, se recomienda que el uso de este método sea en lugares poco profundos, debido a que un suelo más profundo ejerce fuerzas laterales provocando fracturas por flexión. La ventaja que presenta, es su rápida ejecución, lo que es ideal para zonas que tengan una emergencia en fallas con riesgo de deslizamiento.
- c. Pilas o Caissons: Este sistema es muy similar a lo mencionado anteriormente, pero en dimensiones más grandes, estas pilas deben tener un diámetro de más de un metro y un espaciamiento similar a su diámetro y requieren quedar muy por debajo del pie del talud. No es un sistema muy utilizado debido al gran costo que implica su construcción. (John, 2011)

2.4.3 Pendientes de taludes

Cuando se debe confeccionar un talud, ya sea por corte o por relleno siempre se busca tener la menor pendiente posible con el fin de disminuir la probabilidad de deslizamiento. Para determinar el diseño de la pendiente de un talud, se debe analizar en detalle las condiciones de litología, estructura y meteorización de los materiales constitutivos del talud.

El suelo y las rocas son materiales totalmente heterogéneos y tienden a deteriorarse con el tiempo, es por esto que, para decidir el valor de la pendiente de un talud, se debe tener en cuenta todos los factores que puedan afectar a este. Para llegar a un valor adecuado deben realizarse análisis de laboratorio y de estabilidad utilizando modelamientos matemáticos.

Para determinar una pendiente que garantice una estabilidad óptima existen diferentes métodos:

- a) Determinación de la pendiente de acuerdo al análisis de equilibrio límite del talud, de manera que cumpla con su factor de seguridad
- b) Utilizar las pendientes típicas en relación al material que compone el talud. Existen una amplia cantidad de tablas en cuanto a la geotecnia. La desventaja del sistema es que los valores de la tabla se limitan a los resultados para el suelo en que fue analizado; esto no es del todo confiable, ya que, cada suelo posee una topografía distinta, las condiciones climáticas y geotécnicas, es por esto que poseen valores bastantes conservadores.

Materiales de relleno	Altura de relleno (m)	Relación de talud
Arena bien graduada (SW), grava y arena con grava (GM) (GC) (GW) (GP)	Menor que 5 m	1:1.5 a 1:1.8
	5 a 15 m	1:1.8 a 1:2.0
Arena mal graduada (SP)	Menor que 10 m	1:1.8 a 1:2.0
Masas de roca (incluyendo estéril)	Menor que 10 m	1:1.5 a 1:1.8
	10 a 20 m	1:1.8 a 1:2.0
Suelo arenoso (SM) (SC), suelos arcillosos duros y arcilla dura (arcilla aluvial, greda, etc.)	Menor que 5 m	1: 1.5 a 1:1.8
	5 a 10 m	1:1.8 a 1:2.0
Suelos arcillosos blandos (VH2)	Menor que 5 m	1:1.8 a 1:2.0

Tabla 1: Inclinaciones Normales de Taludes Correspondientes a Materiales

Fuente: Adaptada de Japan Road Association, 1984

Clasificación del suelo		Prof. de corte	Inclinación V:H
Roca dura			1:0.3 a 1:0.8
Roca blanda			1:0.5 a 1:1.2
Arena	No densa y pobremente graduada		1:1.5 a
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5 m	1:0.8 a 1:1.0
		5 a 10 m	1:1.0 a 1:1.2
	No denso	Menos de 5 m	1:1.0 a 1:1.2
		5 a 10 m	1:1.2 a 1:1.5
Suelo arenoso mezclado con grava	Denso o bien graduado	Menos de 10 m	1:0.8 a 1:1.0
		10 a 15 m	1:1.0 a 1:1.2
	No denso o pobremente graduado	Menos de 10 m	1:1.0 a 1:1.2
		10 a 15 m	1:1.2 a 1:1.5
Suelo cohesivo		0 a 10 m	1:0.8 a 1:1.2
Suelo cohesivo mezclado con masas de roca o botonería		Menos de 5 m	1:1.0 a 1:1.2
		5 a 10 m	1:1.2 a 1:1.5

Tabla 2: Inclinaciones Normales de Taludes de Corte

Fuente: Adaptada de Japan Road Association, 1984

2.5 Suelo-cemento

El suelo-cemento es un material producto de la mezcla de suelo pulverizado con una determinada cantidad de cemento y agua, siguiendo su proceso de compactación y curado al igual que el hormigón; puede obtener altas densidades lo que permite un endurecimiento efectivo. De esto se obtiene como

resultado un material que puede resistir la compresión, además de tener características de impermeabilidad.

Este producto es utilizado hace más de 60 años, en diversas partes del mundo, pero no de forma masiva y generalizada. Es utilizado en la construcción de base y sub-base de carreteras, caminos, aeropuertos, calles, ejecución de viviendas, etc. A medida que pasa el tiempo este material se ha empezado a implementar en la construcción de canales y otras obras hidráulicas.

2.5.1 Suelos aptos para suelo-cemento

En general, todo tipo de suelo al que se le extraiga la capa vegetal puede ser empleado para producir suelo-cemento.

El cemento a utilizar en mezclas de este tipo debe ser el menor posible, de esta manera se obtendrá una mezcla de mejor calidad. En vista de esto los suelos que se consideran aptos se reducen a aquellos que pretendan utilizar un consumo de cemento no superior al 5 % y 12 % con respecto al peso del suelo.

En presencia de un suelo apto, se espera que pueda tener una absorción adecuada de agua y alcanzar resistencias necesarias en menor tiempo.

Aquellos suelos que presenten proporciones de suelo grueso y fino produciendo una granulometría abierta sin un predominio excesivo de un determinado tamaño serán adecuados para su utilización. Por otra parte, se debe tener en cuenta la plasticidad de este, ya que esta debe otorgar una determinada cohesión a la mezcla.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente:

- a) Suelos eficientes:
 - a. Suelos arenosos y suelos con grava
 - b. Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas
 - c. Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad
- b) Suelos deficientes:
 - a. Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad
 - b. Suelos orgánicos
- c) El suelo ideal para una mezcla suelo-cemento debe cumplir con las siguientes características para que dicha mezcla sea de buen funcionamiento y posea cantidades mínimas de cemento:
 - a. Máximo agregado de arena 80 % (óptimo del 55 % al 75 %)

- b. Máximo agregado de limo 30 % (óptimo 0 % al 28 %)
- c. Máximo agregado de arcilla 50 % (óptimo 15 % al 18 %)
- d. Máximo agregado de materia orgánica 3 %
- e. Debe pasar por un tamiz de 4,8 mm (#4)

A continuación, se presenta en la **Tabla 3** los rangos granulométricos que garantiza tener una buena mezcla de suelo-cemento:

Tamiz	% que pasa
3 pulgada	100
No. 4	100 – 50
No. 40	100 – 15
No. 200	50 - 10

Tabla 3: Distribución granulométrica de suelos aptos para suelo-cemento

Fuente: Adaptada de revista Ciencia y Sociedad, Vol. XXXIII, núm. 4, 2008

En cuanto a la cohesión de la mezcla, se debe tener un suelo con una plasticidad adecuada, estos límites de plasticidad son fijados de acuerdo al límite líquido y plástico del suelo, estos límites están dados por un cierto porcentaje de humedad. Se pueden definir de la siguiente forma:

- a) Límite líquido: Es un porcentaje de humedad del suelo que pasa de un estado plástico a uno líquido. Cuando el suelo alcanza este punto, comienza a fluir como un líquido. Teniendo un porcentaje de humedad menor al 45%.
- b) Límite plástico: Es un porcentaje de humedad del suelo que pasa de un estado rígido a un estado plástico. Teniendo un porcentaje de humedad menor al 18%.

CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Metodología

Inicialmente el proyecto se desarrollaría en la facultad de ingeniería de la universidad de Talca, pero dada la contingencia del país se tuvo que buscar nuevas alternativas llegando así a la decisión de desarrollar el estudio en la localidad de Talca, sector San Valentín. Este proyecto será desarrollado durante el segundo semestre del año 2019 y primer semestre del año 2020.

Para interiorizarse con el tema se comienza con la búsqueda de bibliografía sobre estabilidad de taludes, analizando las dificultades que lleva la confección de estos, teniendo en cuenta lo anterior son propuestos los objetivos a desarrollar y el tema de la memoria.

Inicialmente se analizaron los datos obtenidos por el ingeniero Mauricio Lucero en cuanto al porcentaje de cemento adecuado para tener un suelo cemento óptimo. Para llevar a cabo el análisis de los taludes con diferentes pendientes.

Previo a realizar los ensayos se deberá analizar la granulometría del suelo con la finalidad de comprobar que este sea adecuado para los ensayos; además, se deberá determinar el caudal aportado por las precipitaciones para la localidad de Talca. Una vez realizado lo anterior se dará inicio a la confección de los bancos de prueba; estos serán cajones de madera los cuales se rellenarán con pasta y se confeccionarán dos por cada ángulo de inclinación a analizar, esto con el fin de tener mejores resultados.

Una vez que los bancos de prueba con el material hayan fraguado se procederá a realizar el análisis, para determinar cuál es el daño que podría causar la lluvia en un periodo de retorno de 10 años.

La metodología a utilizar es bastante similar a la utilizada para este ensayo anteriormente, pero a diferencia se buscará generar una lluvia lo más similar posible a la realidad, ya que de esta manera el agua afectará al talud de manera más homogénea y no en un solo punto como fue realizado anteriormente.

Ya concluido el proceso de ensayo se analizarán los resultados obtenidos, comparando el nivel de daño producido por la lluvia según la pendiente que posee cada talud, y así determinar qué tan factible puede ser este sistema de revestimiento de talud.

3.2 Material a utilizar

Para la realización de este estudio se utilizará material extraído de la Universidad de Talca sede Los Niches, para esto el Ingeniero en Construcción Mauricio Lucero realizó un estudio de la dosificación necesaria de cemento para evitar el efecto de la erosión producida por la lluvia. Dada la condición país en el año 2020, no es posible la extracción de este material, es por esto que será utilizado material proveniente de la localidad de Cauquenes, región del Maule, el que luego de pasar por el estudio de mecánica de suelos arrojó que posee características bastante similares al descrito anteriormente, es por eso que será posible utilizarlo.

3.2.1 Zona de extracción

El material se extrajo de la subestación eléctrica Cauquenes, se encuentra ubicada en calle la Higuera número 50, provincia de Cauquenes, región del Maule, como muestra la **Ilustración 19**.

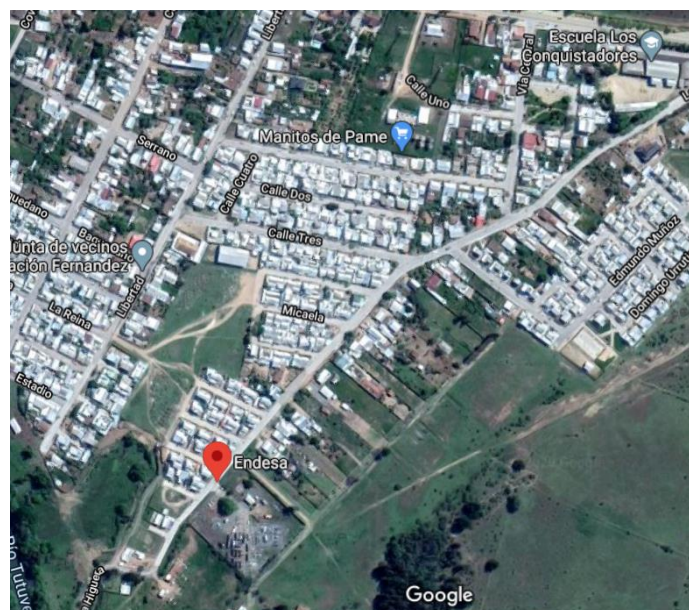


Ilustración 19: Subestación Cauquenes

Fuente: <https://www.google.com>

3.2.2 Granulometría

La granulometría del suelo fue desarrollada por el laboratorio Labvial, la cual fue desarrollada de acuerdo al método 8.102.1 del Manual de Carreteras Volumen 8 del 2015. A continuación, en **Tabla 4** se presenta los resultados obtenidos por el laboratorio.

US	(mm)	% que pasa
3/8	10	100
4	5	97
10	2	96
40	0.5	65
200	0.08	28

Tabla 4: Análisis granulométrico

Fuente: LAB-VIAL asociados Ltda.

3.2.3 Límites de Atterberg

De los ensayos realizados por el laboratorio se tiene los límites de Atterberg, los cuales fueron determinados de acuerdo a la NCh 1517 parte 1 y 2 del año 1979, para el límite líquido se tiene como resultado un valor de 17,8%. En el caso del límite plástico se tiene como resultado un 10,5 %. Dado esto se presenta un índice de plasticidad del 7,3 %

3.2.4 Clasificación por USCS

La clasificación por este método se encuentra normada por la ASTM D 2487-06; para llevar a cabo el proceso se puede acudir a la Tabla 5 extraída de la norma mencionada anteriormente. Se debe verificar el porcentaje que pasa por el tamiz n°200 para determinar si se encuentra en presencia de suelo fino o grueso. En este caso, el porcentaje que pasa es menor al 50%, por lo tanto, se encuentra presente un suelo grueso, posteriormente se verifica la porción que pasa por el tamiz n°4 el cual es mayor al 50% entrando en la clasificación de arenas. Luego, para entrar en una definición más concreta, se vuelve a verificar el porcentaje que pasa por el tamiz n°200 el cual es mayor al 12%, además de tener un índice de plasticidad mayor al 7% y ser graficado sobre la línea A en la carta de plasticidad. Se establece que el suelo es una arena arcillosa.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487					
Criterios para la asignación de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelo		
			Símbolo de grupo	Nombre del grupo	
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		$Cu \leq 4$ y $1 \geq Cc \geq 4$	GP	Grava mal graduada	
	Gravas con finos más del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	Gravas más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
		Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
		$Cu \leq 6$ y $1 \geq Cc \geq 4$	SP	Arena mal graduada	
	Arenas con finos más del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
Arenas El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo		
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla		
	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo		
	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla		
Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite líquido menos que 50	Inorgánicos	IP < 4 y se graficado en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
			IP > 7 y se graficado en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
	Orgánicos	Limite líquido - secado al horno	<0.75	OL	Arcilla orgánica
		Limite líquido - no secado		Limo orgánico	
	Limos y arcillas Limite líquido mayor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
			IP < 4 y se graficado en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
	Orgánicos	Limite líquido - secado al horno	<0.75	OH	Arcilla orgánica
		Limite líquido - no secado		Limo orgánica	
altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro		PT	Turba	

Tabla 5: Clasificación de suelos USCS

Fuente: Iván Matus Lazo y Marvin Blanco (ASTM D 2487, 2006)

3.2.5 Clasificación por AASHTO

Para llevar a cabo la clasificación por medio del sistema AASHTO, es utilizada la Tabla 6 que se presenta a continuación, esta es extraída de esta norma. Para la clasificación será necesario utilizar la granulometría y los límites Atterberg. Se verifica el porcentaje por el tamiz N°200 este posee un valor menor al 35%, por lo tanto, clasifica como un suelo granular. La muestra presenta un límite líquido menor a 40 y un índice de plasticidad menor al 10, por lo que es un suelo del tipo A-2-4, con un índice de grupo 0. A continuación se presenta el cálculo de este.

$$IG = (\%_{200} - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(\%_{200} - 15)(IP - 10)$$

$$IG = (28 - 35)[0,2 + 0,005(17,8 - 40)] + 0,01(28 - 15)(7,3 - 10)$$

$$IG = 0$$

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasif. General	Suelos Granulares (≤ 35% pasa 0,08 mm)						Suelos Finos (> 35% Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A - 7 - 5 : IP ≤ (WL - 30)						** A - 7 - 6 : IP > (WL - 30)				
	$IG = (B / 0,08 - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + (B / 0,08 - 15)(IP - 10) \times 0,01$										
	* Para A - 2-6 y A - 2-7 : $IG = (B / 0,08 - 15)(IP - 10) \times 0,01$ Si el suelo es NP → $IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Tabla 6: Clasificación de suelo AASHTO

Fuente: AASHTO M-145-91, 2017

3.3 Caudal aportado por la lluvia

Para llevar a cabo el estudio se utilizará como localidad la ciudad de Talca, específicamente el sector de San Valentín, parcela 150.

Se hará un cálculo de caudal, que tiene como objetivo conocer la cantidad aportante para un talud producto de la lluvia. Para dicho cálculo será utilizada la guía de diseño y especificaciones de

elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del año 2005. (Cvjetkovic et al., 2005)

3.3.1 Cálculo de caudal

Para la estimación de caudales se aplica el método racional, el cual es válido para cuencas menores a 50 hectáreas.

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

Q: Es el caudal aportante calculado, medido en litros por segundo.

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Es la intensidad de la lluvia mm/hr.

A: Área de la cuenca medida en m².

Para este caso en estudio será despreciado el coeficiente de escorrentía, con la finalidad de realizar un mejor estudio de cómo afecta la lluvia al talud y no el caudal que escurre por estos, dada la condición que presenta cada talud.

El área a utilizar está dada por talud tipo que será estudiado el cual posee las siguientes medidas:

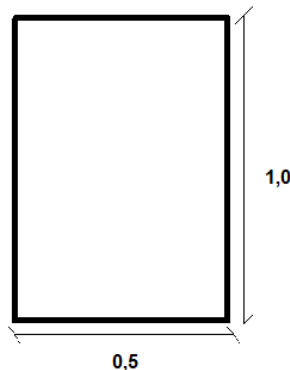


Ilustración 20: Área de talud tipo

Fuente: Elaboración propia

$$A = 0,5 \times 1$$

$$A = 0,5 \text{ m}^2$$

Para determinar la intensidad de la lluvia se utiliza la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P_d^t}{T_c}$$

Donde:

I: Es la intensidad de la lluvia con un periodo de retorno t y una duración d en mm/hr.

P_d^t : Precipitación total de una lluvia de periodo de retorno t , en años, y duración total d , en horas.

T_c : Tiempo de concentración.

Para determinar la precipitación total de una lluvia se utiliza la siguiente fórmula.

$$P_d^t = 1.1 * CF^T * CD_D * PD^{10}$$

Donde:

P_d^t : Precipitación total de una lluvia de periodo de retorno T , en años, y duración total D , en horas.

CF^T : Es el coeficiente de frecuencia. Con un periodo de retorno T .

CD_D : Es un coeficiente de duración. Con una duración D .

PD^{10} : Es la precipitación diaria en milímetros de 10 años de período de retorno.

3.3.2 Periodo de retorno

Se considera tres periodos de retorno (T): 2 años, 10 años y 100 años.

3.3.3 Precipitación máxima diaria (PD^{10})

Como el caso a estudiar será realizado en la ciudad de Talca, donde se presenta una precipitación máxima diaria es de 93,2 mm en un periodo de 24 horas, esta cifra es obtenida de la **Tabla 10** de los anexos.

3.3.4 Coeficiente de duración (CD_D)

Se considera una duración de la lluvia de 1 una hora con un valor de 0,12; valor extraído de la **Tabla 11** de los anexos.

3.3.5 Coeficiente de frecuencia (CF^T)

Para el coeficiente de frecuencia serán utilizados los valores para los periodos de retorno nombrados anteriormente, teniendo como resultado los valores 0,62 para un periodo de 2 años, 1 para 10 años y 1,48 para un periodo de 100 años. Estos valores fueron extraídos de la **Tabla 12** de los anexos.

Con los datos planteados anteriormente se procede a calcular la precipitación total de una lluvia de periodo de retorno T:

$$P_{d=1 \text{ hora}}^{t=2 \text{ años}} = 1.1 * 0,62 * 0,12 * 93,2 = 7,63 \text{ mm}$$

$$P_{d=1 \text{ hora}}^{t=10 \text{ años}} = 1.1 * 1,0 * 0,12 * 93,2 = 13,30 \text{ mm}$$

$$P_{d=1 \text{ hora}}^{t=100 \text{ años}} = 1.1 * 1,48 * 0,12 * 93,2 = 18,21 \text{ mm}$$

3.3.6 Tiempo de concentración (T_c)

Para determinar el tiempo de concentración se utiliza la fórmula de la Federal Aviation Agency. Se toma la decisión de utilizar esta dado que las otras fórmulas no arrojan valores aplicables para el estudio.

$$T = 3,26(1,1 - C) \frac{L^{0,5}}{S_1^{0,333}}$$

Donde:

T: Tiempo de concentración en minutos.

C: Coeficiente de escorrentía (despreciado como se explica anteriormente).

L: Longitud de escurrimiento superficial en metros.

S₁: Pendiente en porcentaje (pendientes a utilizar 58%, 173,2% y 1000%)

Las pendientes fueron calculadas para cada ángulo de inclinación, pero al momento de realizar el cálculo del talud que posee 90 grados esta da como resultado una pendiente infinita, impidiendo el desarrollo de la fórmula, por lo tanto, se considera una del 1000%.

De la fórmula planteada anteriormente se obtienen los siguientes tiempos de concentración:

$$T = 3,26(1,1 - 0) \frac{1^{0,5}}{58^{0,333}} = 0,93 \text{ min.}$$

$$T = 3,26(1,1 - 0) \frac{1^{0,5}}{173,2^{0,333}} = 0,64 \text{ min.}$$

$$T = 3,26(1,1 - 0) \frac{1^{0,5}}{1000^{0,333}} = 0,36 \text{ min.}$$

3.3.7 Intensidad de la lluvia (I)

Como ya se conoce las precipitaciones totales de lluvia y el tiempo de concentración, se realiza el cálculo de intensidad de la lluvia con la siguiente fórmula como se muestra en la **Tabla 7**:

$$I = \frac{P_d^t}{T_c}$$

Período de retorno (años)	Intensidad (mm/hrs.)		
	Inclinación a 30°	Inclinación a 60°	Inclinación a 90°
2	493.3	710.2	1273.3
10	795.7	1145.4	3039.4
100	1177.6	1695.2	3039.4

Tabla 7: Cálculo de intensidad de la lluvia.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.8 Caudal aportante

Obtenida la intensidad de la lluvia se calcula el caudal aportante dada la siguiente fórmula, como se muestra en la **Tabla 8**:

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

Período de retorno (años)	Caudal (l/min)		
	Inclinación a 30°	Inclinación a 60°	Inclinación a 90°
2	4.1	5.9	10.6
10	6.6	9.5	25.3
100	9.8	14.1	25.3

Tabla 8: Cálculo de caudal aportado

Fuente: Elaboración propia

3.4 Confección de taludes a ensayar

3.4.1 Características de taludes a ensayar

Para el estudio serán utilizados diversos taludes, los cuales tendrá tres ángulos de inclinación diferente: 30°, 60° y 90°. De esta manera se analizará hasta qué pendiente es recomendable utilizar este sistema de mejoramiento. Por otra parte, para tener un resultado más representativo se confeccionarán dos muestras por cada ángulo de inclinación.

3.3.2 Confección de moldajes

Se confeccionaron en cajones de madera cepillada de 1 por 4 pulgadas de largo de un metro, de ancho de 50 centímetros y 10 centímetros de espesor, en su parte posterior se utilizó tabla tapa la cual es más rugosa, para mejorar así la adherencia de la mezcla.



Ilustración 21: Confección de talud

Fuente: Elaboración propia

Para tener la altura necesaria para la inclinación del talud se calculó la altura con trigonometría de acuerdo al ángulo de inclinación según sea necesario, una vez determinada la altura son apoyados en una estructura como se muestra en la **Ilustración 22**.



Ilustración 22: Talud con ángulo de inclinación de 60°

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Preparación de mezcla de suelo cemento

De acuerdo al estudio realizado por el ingeniero Mauricio Lucero para suelos del tipo A-2-6, se es requerido entre un 5% a 9% de adición de cemento para generar la mezcla de acuerdo a la Asociación de Cemento Portland. Dicha proporción también es aplicable a suelos del tipo A-2-4, como lo muestra la tabla a continuación. Dado el estudio que realizó, llegó al resultado que el porcentaje que realmente se debe utilizar para resistir el efecto de la erosión es de un 12%. (Lucero, 2018)

AASHTO Grupo de suelo	Cemento, porcentaje en peso de suelo	Cemento, libras por pie cúbico de suelo-cemento compactado	Cemento, kilogramos por metro cúbico de suelo-cemento compactado
A-1-a	3-5	5-7	80-110
A-1-b	5-8	7-8	110-130
A-2-4			
A-2-5	5-9	7-9	110-140
A-2-6			
A-2-7			
A-3	7-11	8-11	130-180
A-4	7-12	8-12	130-180
A-5	8-13	8-13	130-180
A-6	9-15	9-13	140-210
A-7	10-16	9-14	140-210

Ilustración 23: Porcentaje de cemento según el tipo de suelo

Fuente: Asociación de Cemento Portland, 2001.

Para determinar cuánto corresponde al 12% de cemento que se debía agregar, se llenó en su totalidad el moldaje solo con tierra para conocer su peso y así calcular los kilos necesarios de cemento. El peso del material fue de 61 kg, por lo tanto, fueron utilizados 7.32 kg de cemento.



Ilustración 24: Medición de tierra en balanza

Fuente: Elaboración propia

Luego, una vez obtenida la cantidad necesaria de los materiales estos fueron mezclados, solo tierra y cemento hasta generar una mezcla completamente homogénea, para posteriormente ir agregando agua hasta que la pasta tuviese la consistencia adecuada para ser aplicada como un estuco.



Ilustración 25: Incorporación de cemento al suelo

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Colocación de la mezcla en los taludes

Al momento de ser aplicada en los moldajes construidos, se presentan diferentes dificultades dependiendo del ángulo de inclinación, ya que en los de una inclinación de 30 y 60 grados no se

presenta gran dificultad al llenar a diferencia del que se encuentra en ángulo recto. Para ser confeccionado este se tuvo que ir llenando por pequeñas capas, puesto que al aplicar mucho material este colapsa.



Ilustración 26: Aplicación de mezcla de suelo cemento

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observa el estado inicial de los taludes luego de 15 días de haber sido confeccionados, de izquierda a derecha se encuentra el de 30°, luego los de 60° y por último los de 90° de inclinación, como se muestra en la **Ilustración 27**.



Ilustración 27: Estado inicial de los taludes

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Ensayo de erosión

El ensayo de erosión consiste en aplicar agua al talud con la finalidad que simule una lluvia; para esto el agua será aplicada de dos formas, una que genere el efecto de precipitaciones y otro escurrimiento. Se aplica durante un periodo de una hora, el caudal aportado al talud es determinado según lo descrito anteriormente.

El caudal aportado será por medio de una llave, la medición de este se realizará por el método volumétrico el cual consiste en tomar el tiempo que tarda en llenar un recipiente graduado, es recomendable como mínimo 5 mediciones, luego se realiza la división del volumen por el tiempo promedio. (Juan et al., 2014)



Ilustración 28: Medición de caudal

Fuente: Elaboración propia

Para el primer ensayo, el agua será aplicada al talud con un sistema de malla construida con tuberías de media pulgada y pequeños rociadores con la finalidad de simular la lluvia, estos permitirán regular el caudal necesario para cada talud. Para realizar la medición con respecto al escurrimiento, será colocada una manguera en la parte superior con el caudal específico, de esta manera se logrará que el agua afecte a la mayor área posible, como se muestra en la **Ilustración 29** y la **Ilustración 30**.



Ilustración 29: Esquema de ensayo precipitaciones

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 30: Esquema de ensayo escurrimiento.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados de ensayos

4.1.1 Parámetros de resultados

De manera de determinar las características de los resultados se han definido los siguientes parámetros, con la finalidad de conocer el nivel de daño que tengan las muestras analizadas.

Cuando se presenten grietas de gran tamaño con pérdida de material, entonces se clasificará como daños graves, si la muestra presenta grietas de pequeño tamaño y fisuras será considerado como daños leves. Si no existen grietas, pero cambios en la rugosidad de la superficie de la muestra ensayada se considerará como daños mínimos y finalmente cuando no exista ningún tipo de daño tales como grietas o cambios en la rugosidad del material serán considerado como óptimo.

4.1.2 Ensayo mediante la acción de precipitaciones

Los resultados obtenidos para el talud que posee 30° de inclinación respecto a la superficie, luego de generar una lluvia de una hora con un periodo de retorno de 10 años son prácticamente nulos, ya que no se presenta fisuras ni grietas. Lo único que presenta es un cambio en la rugosidad de su superficie, afectando a una capa diminuta, este resultado es igual tanto para la muestra “A” como la muestra “B”. A continuación, en la **Ilustración 31** se muestra la condición inicial y la condición luego del ensayo.



Ilustración 31: Comparación talud 30° primer ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

En los taludes de 60° y 90° de inclinación a diferencia del otro no se presenta un cambio en la rugosidad de estos. Como resultado no se presentan daños al aplicar lluvia para un periodo de retorno

de 10 años. A continuación, se presentan las ilustraciones mostrando la condición inicial y final de los taludes tanto para la muestra “A” como la muestra “B”.



Ilustración 32: Comparación talud 60° primer ensayo.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 33: Comparación talud 90° primer ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Ensayo de medición por escurrimiento

Dado que ningún talud sufrió daño en el ensayo realizado anteriormente se decide aplicar el agua de otra forma de manera de obtener un mejor resultado ante la acción de las lluvias.

Los resultados que se obtienen luego de aplicar agua para un periodo de retorno de 10 años, con una lluvia de una hora son nulos, ningún talud se ve afectado por el escurrimiento de agua por la superficie de estos, ya que no se presentan fisuras, grietas ni una pérdida del endurecimiento del material. A

continuación, se presenta la comparación tanto de la muestra “A” como la muestra “B”, antes de realizar el ensayo y posterior al ensayo, para cada uno de los taludes.



Ilustración 34: Comparación talud 30° segundo ensayo

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 35: Comparación talud 60° segundo ensayo.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 36: Comparación talud 90° segundo ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Resumen nivel de daños producidos

De acuerdo a los resultados obtenidos descritos anteriormente a continuación, se presenta un cuadro resumen de acuerdo al nivel de daño para cada talud en los dos ensayos:

Ensayo	Inclinación 30°		Inclinación 60°		Inclinación 90°	
	Talud A	Talud B	Talud A	Talud B	Talud A	Talud B
Precipitaciones	DM	DM	OP	OP	OP	OP
Escurrimiento	OP	OP	OP	OP	OP	OP

DG = Daños graves.

DL = Daños leves.

DM = Daños mínimos.

OP = Resultado óptimo.

Tabla 9: Cuadro resumen resultados obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis nivel de daños entre pendientes y revestimiento

De acuerdo a los ensayos realizados se puede inferir que la composición de la mezcla de suelo cemento presenta características muy aptas como revestimiento para taludes en diferentes tipos de inclinación, lo cual ayudará a prolongar la vida útil de un talud evitando la erosión.

Para el ensayo de erosión realizado por medio de precipitaciones con un periodo de retorno de 10 años, se puede determinar que la mezcla de suelo cemento tiene un comportamiento adecuado para ser utilizado como revestimiento de taludes, pero si, estos deben tener una inclinación mayor a 30°, ya que en este se presenta un deterioro superficial, lo que a mayor tiempo podría provocar una falla.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de suelo cemento como revestimiento a través de los ensayos presento resultados bastante favorables aún en pendiente bastante elevadas. Lo que ayuda a comprobar su aplicabilidad ante la acción de lluvias.

Para la colocación en pendientes de 30 grados se presenta un sistema de aplicación muy efectivo, el cual puede ser de forma bastante rápida. Por otra parte, al momento de la confección de taludes de pendientes altas como lo es el caso de una superficie en 90° de inclinación se dificulta la aplicación continua del material, ya que se presentan desprendimientos es por esto el material debe ser aplicado por capas con la finalidad de no aplicar más agua a la mezcla los cual afectaría sus propiedades.

Se puede determinar que la aplicación de suelo cemento como revestimiento de taludes puede llegar a ser apta hasta en las condiciones más desfavorables que puede presentar un talud (en relación con la pendiente) ya que se pueden alcanzar relaciones de V:H superiores a lo establecido según lo que establece la norma para la confección de estos.

Para futuros estudios a realizar se recomienda analizar la resistencia mecánica que presenta este material de manera de ser utilizado en taludes de gran envergadura.

Para lograr un producto más homogéneo se recomienda realizar mezcla de manera mecánica y no manual.

De acuerdo a los agentes que afectan al talud tanto las precipitaciones como el escurrimiento se podría considerar el efecto que podría generar el viento y analizar si ayuda a provocar una mayor erosión en el talud.

BIBLIOGRAFÍA

- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimientos*. México: Limusa.
- Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: International Thompson Editores.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: CENGAGE Learning.
- John, J. (2011). *Protección y estabilización de taludes para evitar deslizamientos (Tesis de pregrado)*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- López, E. (2012). *Trabajo practico presentado a la cátedra de manejo sostenible de suelos*. Universidad Nacional de Asunción.
- Peck, R., & Terzaghi, K. (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería practica*. Barcelona: EL ATENEO.
- Sáez, E. (2010). *Fundamentos de geotecnia*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos (2 tomos)*. Santander: Universidad Industrial de Santander.
- Taylor, R., & Zienkiewicz, O. (1994). *El método de los elementos finitos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Villalobos, F. (2016). *Mecánica de suelos*. Concepción: USCS.
- Cvjetkovic, R. T., Carvajal, E. H., & Joel. (2005). *Guía De Diseño Y Especificaciones De Elementos Urbanos De Infraestructura De Aguas Lluvias. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 78*.
- Juan, E., Benítez, M., Luis, I., & Cornejo, A. (2014). *Manual N° 5 Medición de agua*. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO.
- Lucero, M. (2018). *Estudio de estabilidad de taludes de suelo cohesivo con suelo-cemento ante la acción de lluvias en la zona central de Chile*.

ANEXOS

Anexo 1: Precipitación máxima diaria (PD¹⁰)

Precipitaciones Máximas para 10 años de periodo de retorno,
según D.G.A. (1994), Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días.

Zona Climática y región	Ciudad	Código BNA	Nombre Estación	Precipitaciones (mm)		
				24 hrs	48 hrs	72 hrs
Desierto Arido						
I. Tarapacá	Arica	1310098	Arica Chacalluta DMC	1,9	2,2	2,3
	Iquique	1820098	Iquique Cavancha	1,5	1,5	1,5
II. Antofagasta	Antofagasta	2760098	Antofagasta U.Norte	6,5	7,0	7,0
	Calama	2111098	Calama DMC	10,0	10,0	10,0
III. Copiapó	Copiapó	3450098	Copiapó DMC-DGA	25,1	25,4	25,4
	Vallenar	3823051	Vallenar DMC	32,7	39,0	40,5
Semiárida						
IV. Coquimbo	La Serena	4335050	La Serena DMC	60,3	76,7	81,9
	Ovalle	4551096	Ovalle Aeródromo	70,3	88,5	95,4
	Illapel	4726050	Illapel DOS DMC	78,2	99,9	110,9
V. Valparaíso	Valparaíso	5510097	Valparaíso Pta. Angeles	83,3	117,3	134,4
	Los Andes	5410051	Los Andes DMC	82,9	114,6	138,9
	San Antonio			87,4	119,2	136,4
Mediterránea						
R. Metropolitana	Santiago	5730097	Stgo. Quinta Normal	71,0	98,4	118,6
VI. de B.O'Higgins	Rancagua	6010051	Rancagua DMC	68,5	99,5	131,1
VII. Maule	Talca	7378096	San Luis Talca	93,2	135,0	165,8
	Curicó	7118050	Curicó Gral. Freire	113,6	153,0	189,6
	Linares	7358051	Linares DOS	123,1	176,9	215,3
	Constitución	7384098	Constitución	119,6	166,5	204,0
VIII. Bio Bio	Concepción	8220098	Concepción	105,1	143,0	172,8
	Chillán	8117051	Chillán	107,3	149,7	185,8
IX. Araucanía	Temuco	9129098	Temuco Maquehue	82,3	105,2	118,5
Templada Húmeda						
X. de los Lagos	Pto. Montt	10425050	Pto. Montt	81,9	118,2	138,9
	Valdivia	10123052	Valdivia-Pichoy	102,9	159,3	191,1
Templada H. Oceánica	Castro	10901098	Castro	89,3	123,1	151,6
XI. Gral. Carlos Ibáñez	Coyhaique	11316050	Coyhaique Tte. Vidal	67,8	101,3	118,6
	Pto. Aysén	11342050	Pto. Aysén DGA	173,4	242,6	291,5
Fría H. Oceánica						
XII. Magallanes	Pta. Arenas	12586050	Pta. Arenas Naval	54,0	74,5	80,1

Tabla 10: Precipitaciones máximas para 10 años.

Fuente: Dirección General de Aguas, 1994.

Anexo 2: Coeficiente de duración (CD_D)

Ciudad	Duración (horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Arica	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Iquique	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Antofagasta	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Calama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
San Pedro de Atacama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Copiapó	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Vallenar	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
La Serena	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Ovalle	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Illapel	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Valparaíso	0.14	0.23	0.33	0.46	0.55	0.64	0.70	0.78	0.90	1.0
Los Andes	0.16	0.26	0.42	0.55	0.64	0.71	0.77	0.84	0.94	1.0
San Antonio	0.14	0.23	0.33	0.42	0.55	0.64	0.70	0.78	0.90	1.0
Santiago	0.16	0.26	0.42	0.55	0.64	0.71	0.77	0.84	0.94	1.0
Rancagua	0.12	0.21	0.34	0.42	0.51	0.58	0.65	0.73	0.83	1.0
Talca	0.12	0.19	0.29	0.40	0.52	0.59	0.68	0.72	0.82	1.0
Curicó	0.12	0.19	0.29	0.40	0.52	0.59	0.68	0.72	0.82	1.0
Linares	0.12	0.19	0.29	0.40	0.52	0.59	0.68	0.72	0.82	1.0
Constitución	0.19	0.30	0.38	0.47	0.56	0.64	0.70	0.77	0.89	1.0
Concepción	0.19	0.30	0.38	0.47	0.56	0.64	0.70	0.77	0.89	1.0
Chillán	0.17	0.24	0.36	0.44	0.52	0.60	0.67	0.72	0.89	1.0
Temuco	0.19	0.31	0.47	0.58	0.65	0.71	0.79	0.82	0.91	1.0
Pto. Montt	0.16	0.23	0.34	0.46	0.54	0.61	0.67	0.73	0.86	1.0
Valdivia	0.16	0.23	0.34	0.46	0.54	0.61	0.67	0.73	0.86	1.0
Ancud**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Castro**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Pto. Cisnes**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Coyhaique**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Pto. Aysén**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Chile Chico**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Pta. Arenas**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Pto. Williams**	0.19	0.31	0.47	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0

*Tabla 11: Coeficientes de duración de varias ciudades para lluvias de igual período de retorno.**Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.*

Anexo 3: Coeficiente de frecuencia (CF^T)

Ciudad	Periodo de Retorno (Años)						
	2	5	10	20	50	100	200
Arica	0.55	0.82	1.00	1.17	1.14	1.56	1.81
Iquique	0.53	0.83	1.00	1.14	1.31	1.42	1.53
Antofagasta	0.53	0.83	1.00	1.18	1.42	1.60	1.78
Calama	0.58	0.85	1.00	1.12	1.22	1.36	1.50
San Pedro de Atacama	0.36	0.73	1.00	1.26	1.61	1.88	2.15
Copiapó	0.27	0.69	1.00	1.30	1.71	2.01	2.31
Vallenar	0.38	0.75	1.00	1.24	1.55	1.78	2.01
La Serena	0.49	0.80	1.00	1.19	1.44	1.62	1.80
Ovalle	0.42	0.75	1.00	1.28	1.69	2.03	2.37
Illapel	0.53	0.80	1.00	1.20	1.47	1.69	1.91
Valparaíso	0.58	0.83	1.00	1.17	1.39	1.56	1.73
Los Andes	0.56	0.82	1.00	1.18	1.43	1.61	1.79
San Antonio	0.58	0.83	1.00	1.17	1.39	1.56	1.73
Santiago	0.55	0.82	1.00	1.18	1.43	1.63	1.83
Rancagua (Rengo)	0.64	0.86	1.00	1.13	1.31	1.43	1.55
Talca (San Luis)	0.62	0.85	1.00	1.14	1.33	1.48	1.63
Curicó	0.62	0.85	1.00	1.14	1.33	1.48	1.63
Linares	0.62	0.85	1.00	1.14	1.33	1.48	1.63
Constitución	0.62	0.85	1.00	1.14	1.33	1.48	1.63
Concepción	0.63	0.85	1.00	1.14	1.32	1.46	1.60
Chillán	0.69	0.88	1.00	1.11	1.25	1.35	1.45
Temuco	0.67	0.87	1.00	1.12	1.27	1.39	1.51
Pto. Montt	0.72	0.89	1.00	1.10	1.22	1.31	1.40
Valdivia	0.70	0.89	1.00	1.11	1.24	1.34	1.44
Ancud (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Castro (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Pto. Cisnes (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Coyhaique (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Pto. Aysén (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Chile Chico (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Pta. Arenas (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57
Pto. Williams (2)	0.65	0.86	1.00	1.14	1.31	1.44	1.57

Tabla 12: Coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración.

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.