

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Mg. Ricardo Riveros Velásquez

Profesor Comisión: Mg. Alexander Opazo Vega

Mg. Gilda Espinoza Valenzuela

Análisis de propuesta de sistema flexible de estabilización para deslizamiento superficiales en taludes de suelo residual.

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

CLAUDIO ANDRÉS MEDINA INOSTROZA

Concepción, Noviembre del 2015.

Dedicatoria:

*Con todo mi amor,
para quienes con sudor y lágrimas,
me apoyaron y guiaron para lograr mis metas y sueños.*

Papá y Mamá.

Agradecimientos:

A Dios por entregarme sabiduría, fuerza y perseverancia cada día.

*A mi padre Lorenzo, mi madre Rosa y mi hermana Rocio,
por apoyarme incondicionalmente en cada paso que doy,
con el amor, la confianza y el cariño que me entregan.*

*A mi polola,
por la paciencia, la comprensión y el amor
que me entregas en cada momento.*

*A cada uno de mis amigos y compañeros,
que formaron parte de este largo camino universitario,
por su compañía y amistad.*

*A cada uno de mis profesores,
por entregarme sus conocimientos,
en especial a la dedicación de mi profesor guía.*

A todos, “Gracias Totales”.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.- Justificación del proyecto de título.....	4
1.2.- Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1.- Objetivo general.....	4
1.2.2.- Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.....	5
2.1.- Conceptos generales de taludes y estabilidad.....	5
2.2.- Clasificación de movimientos.....	5
2.2.1.- Deslizamientos.....	6
2.3.- Estabilidad superficial.....	7
2.4.- Factores que influyen la estabilidad de un talud.....	8
2.4.1.- Geometría.....	9
2.4.2.- Presencia de agua.....	9
2.4.3.- Erosión.....	10
2.4.4.- Suelo.....	11
CAPÍTULO 3: SISTEMA FLEXIBLE DE ESTABILIZACIÓN SUPERFICIAL.....	12
3.1.- Descripción de sistema flexible de estabilización superficial con pernos de anclaje.....	13
3.1.1.- Anclaje de barra (bulón).....	14
3.1.2.- Malla de acero.....	14
3.2.- Cálculo del sistema flexible de estabilización superficial con pernos de anclaje.....	15
3.2.1.- Inestabilidades paralelas al talud.....	17
3.2.2.- Inestabilidades locales entre pernos de anclaje.....	18
3.3.- Cálculo del largo del perno de anclaje o bulón.....	19
3.4.- Verificación de resistencia de los elementos.....	20

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	20
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	22
5.1.- Análisis de la influencia de los parámetros.	23
5.1.1.- Influencia de la inclinación del talud.	23
5.1.2.- Influencia de la fricción del suelo.	23
5.1.3.- Influencia del peso unitario del suelo.	23
5.1.4.- Influencia de la inclinación del anclaje.....	23
5.1.5.- Influencia de la separación entre anclaje.	24
5.1.6.- Influencias de la pretensión y la cohesión.	24
5.2.- Relevancia de los parámetros dentro de la estabilidad superficial.	25
5.3.- Discusión en relación al análisis.....	26
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de deslizamiento.....	7
Figura 2 Esquema de un bloque sobre una pendiente	9
Figura 3. Mapa geológico de la región del Bío Bío.....	12
Fig. 4 Anclaje de barra, bulón provisional DSI de barra roscada y fijación mediante inyección de lechada de cemento.....	14
Fig. 5 Placa de fijación, pretensada, con cabeza de perno y malla.....	15
Fig. 6 Esquema en planta de la zona considerada en la inestabilidad paralela al talud.....	17
Fig. 7 Vista lateral y esquema en planta de la zona considerada en la inestabilidad local entre pernos de anclaje.	18
Fig. 8 Esquema de mecanismo de falla A y B, caso estático.....	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Profundidad de falla	8
------------------------------------	---

ANÁLISIS DE PROPUESTA DE SISTEMA FLEXIBLE DE ESTABILIZACIÓN PARA DESLIZAMIENTOS SUPERFICIALES EN TALUDES DE SUELO RESIDUAL.

Autor: Claudio Medina Inostroza

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

cmedinai@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

rriveros@ubiobio.cl

RESUMEN

La estabilidad de un talud no se puede considerar indefinidamente, pues a largo o corto plazo, los agentes naturales como el agua y la erosión, sumado a la geometría del talud y las características del suelo que lo conforma, suscitaran a la reducción de la resistencia del suelo y por ende a la falla de este. La tipología de falla posible en el talud, se asocia a la cinemática del movimiento, de modo que son diversas, centrándose este estudio principalmente en los deslizamientos superficiales.

Existen en la actualidad diversos sistemas de solución o mitigación, en algunos casos no totalmente efectivos, acarreado fallas o el sobredimensionamiento del sistema de estabilización. Se propone para la estabilización superficial del talud, el uso de un sistema flexible con pernos de anclaje, debido a su flexibilidad, permeabilidad e integración con el paisaje, investigando los factores que inciden en la falla, seleccionando una metodología para su cálculo y analizando la influencia de los parámetros en la generación de esfuerzos, asociado al suelo residual de la zona de Concepción.

Finalmente, se concluye que los parámetros asociados al sistema flexible, que son modificables como la separación entre anclajes y la inclinación de este mismo respecto a la horizontal, son los principales factores en la generación de esfuerzos. Seguido por la inclinación y en el peso unitario y en último lugar la fricción, sin considerar la cohesión debido a consideraciones de la metodología. Además se propone en base a lo existente en el mercado, la factibilidad de la propuesta.

Palabras clave: Talud, Sistema Flexible, Suelo Residual, Deslizamientos Superficiales, Pernos de Anclaje.

8111 Palabras Textos+9Figuras/Tablas*250=10361 Palabras Totales

ANALYSIS FOR PROPOSAL FLEXIBLE STABILIZATION SYSTEM FOR SLIDING SURFACE IN SLOPES OF RESIDUAL SOIL.

Author: Claudio Medina Inostroza

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.

cmedinai@alumnos.ubiobio.cl

Teacher Guide: Ricardo Riveros Velásquez

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.

rriveros@ubiobio.cl

ABSTRACT

The stability of a slope can not be held indefinitely, so long or short term, natural agents such as water and erosion, combined with the geometry of the slope and soil characteristics that shape it, will bring the drag reduction soil and hence the failure of this. The typology of possible slope failure is associated with the kinematics of the movement, so that they are different, this study focused primarily on superficial landslides.

There are currently various systems of solution or mitigation, in some cases not fully effective, giving rise to failures or oversizing of the stabilization system. It proposed to stabilize the slope surface, using a flexible system with nails soil due to their flexibility, permeability and integration with the landscape, investigating the factors affecting failure, selecting a methodology for calculating and analyzing the influence of the parameters in generating efforts, associated with the residual soil in the area of Concepción.

Finally, it concluded that the parameters associated with the flexible system that can be modified as the separation between anchors and tilt the same to the horizontal, are the main factors in generating efforts. Followed by the inclination and the unit weight and last friction, regardless cohesion due to considerations of the methodology. It is also proposed based on what exists in the market, the feasibility of the proposal.

Keywords: Slope Stabilization System, Superficial Sliding, Soil Nail

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

La expansión territorial urbana y el diseño de nuevas rutas vehiculares, conlleva al estudio del suelo y el relieve, el cual en ocasiones se ve intervenido y modificado. En sentido, son necesarias acciones para mitigar o enlentecer los efectos generados por la intervención, tanto natural como humana, para la seguridad de las personas y el medio ambiente.

En un país como Chile con su abrupta y diversa geografía, su variada climatología y un creciente desarrollo territorial, la estabilización y contención de taludes, es una situación de gran relevancia. En un talud se pueden generar distintos tipos de fallas, que están directamente relacionadas con diversos factores que lo afectan, por lo que tarde o temprano la estabilidad se perderá o disminuirá. En la actualidad existen alternativas para su solución o mitigación, por lo cual es necesario un estudio para ver su efectividad y factibilidad dependerá de las condiciones del terreno.

Dentro de las fallas posibles en un talud, se encuentran locales o superficiales, que a pesar de no afectar directamente a la estabilidad global, si son elementos detonantes y peligrosos en el tiempo.

Fritz (2015), propone una solución teórica, la cual está enfocada en los deslizamientos superficiales, pero no cuenta con un análisis matemático del sistema flexible de estabilización (malla de acero y bulones de anclaje) que aporta a la resistencia de la falla.

Son pocos los estudios en Chile acerca del tema, y además no existe una normativa que los regule, en parte por la incertidumbre asociada al suelo.

El presente proyecto de título se centra en el análisis del sistema flexible para falla superficial, aplicado al suelo residual presente en la zona de Concepción, partiendo de una revisión de antecedentes, describiendo la tipología de deslizamientos y los factores que inciden en la generación de la falla. Se investiga acerca del sistema de estabilización superficial y la metodología existente para su cálculo.

Apuntando sus resultados a las limitantes, pertinencia y factibilidad de la propuesta. Además de analizar la influencia de los factores y parámetros, en la generación de esfuerzos.

1.1.- Justificación del proyecto de título.

El suelo de la zona de Concepción y en especial los taludes, se ven afectados por diversos factores, incluso donde existen métodos de estabilización, provocando deslizamientos y de este modo disminuyendo la seguridad de las personas. Algunos métodos de mitigación o disminución, pueden no ser tan efectivos dependiendo de la falla.

Fritz (2015), propone un método teórico, pero es necesario un mayor análisis a la propuesta de solución o mitigación de inestabilidad superficial, asociándola al suelo característico de la zona de Concepción. También se espera aportar al limitado conocimiento que se tiene del comportamiento del suelo y del uso del sistema flexible de estabilidad superficial, en especial en el área nacional.

1.2.- Objetivos de la investigación.

1.2.1.- Objetivo general.

- ❖ Analizar propuesta de sistema flexible para falla superficiales de deslizamiento en taludes de suelo residual.

1.2.2.- Objetivos específicos.

- ❖ Identificar factores relevantes para estabilización superficial, de taludes de suelo residual.
- ❖ Seleccionar metodología de cálculo, asociada a sistemas flexibles de estabilización de taludes para deslizamientos superficiales.
- ❖ Determinar influencia y relevancia de los parámetros en la generación de esfuerzos en los elementos del sistema de estabilización.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.

Para el desarrollo de esta investigación es necesario analizar y describir algunos conceptos fundamentales relacionados con taludes y deslizamientos poco profundo.

2.1.- Conceptos generales de taludes y estabilidad.

Según Braja (2001), un talud se entiende por cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que adopte de forma permanentemente una estructura de tierra. Del mismo modo Crespo (2004) acota que se clasifican según la génesis de su formación, si es natural denominados laderas y con la intervención humana se denomina cortes o taludes artificiales.

Se entiende por estabilidad, a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o el movimiento. Las masas de suelo que presentan una superficie inclinada y como consecuencia de la presencia de esfuerzos cortantes que superan la resistencia al corte del suelo, siempre tiene posibilidad de que se generen movimientos y el suelo de la frontera superior descienda.

2.2.- Clasificación de movimientos.

Chacón (2012) explica que el término deslizamiento de tierras, traducción literal del muy extendido en inglés “landslide”, es un término general que engloba diferentes tipos de movimientos de talud y no debe confundirse con el término deslizamiento, que define un particular tipo de movimiento, por lo tanto, se emplea el término movimiento de talud.

Se entiende como movimiento de talud, “slope movement” o “landslide”, a el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de un talud o ladera en sentido descendente (Cruden, 1991).

Además, Corominas (2004) plantea que gran parte de las clasificaciones de movimientos de talud establecen como base de los mecanismos de inestabilidad. No obstante, el tipo de movimiento se esclarece cuando la rotura ha ocurrido, por lo tanto, basándose en su cinemática (Corominas, 2004). Para efectos de operación, se distinguen dos fases principales en el movimiento de talud: La fase previa a la rotura, de larga duración, donde ocurren pequeñas deformaciones, imperceptibles o del orden métrico, pero donde la separación entre masa en movimiento y terreno no ha llegado a desarrollarse completamente. Y una fase de rotura, caracterizada por la formación de una superficie continúa en el terreno con movimientos desde muy lentos hasta extremadamente rápidos.

De forma general, De Matteis (2003), clasifica la tipología de movimiento más común, como:

- Deslizamiento superficial.
- Movimiento del cuerpo del talud.
- Flujos.

Las clasificaciones coinciden, al menos, en cinco mecanismos principales de movimiento: desprendimiento, vuelcos, expansiones laterales, flujos y deslizamientos, fijándose principalmente en este último. En el anexo A se describen e ilustran, los movimientos mencionados anteriormente.

2.2.1.- Deslizamientos.

Según Corominas (2004), se define como un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. En relación a esto, es importante distinguir entre deslizamientos rotacionales y traslacionales, que se observan en la fig. 1, para efecto de análisis de estabilidad y diseño.

❖ Rotacionales.

La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. Un diagnóstico equivocado de la geometría puede llevar a la adopción de medidas de estabilización ineficaces e incluso contraproducentes.

❖ Traslacionales.

Tiene lugar a lo largo de una superficie de rotura plana u ondulada. La masa deslizada puede proseguir por la ladera, los componentes de la masa desplazada se mueven a la misma velocidad y siguen trayectorias paralelas. A medida que un deslizamiento traslacional progresa puede romperse, en particular si aumenta la velocidad.

Entre los deslizamientos traslacionales encontramos:

- Resbalamiento o deslizamiento planos, es el deslizamiento de bloques de suelo o roca sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos. Cuando la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa rocosa contenida a desplazarse según la línea de intersección, se forma un deslizamiento en cuña.

- Corrimientos, cuando la masa desplazada se trocea en su movimiento descendente y resulta una acumulación caótica de bloques al pie de la ladera.
- Deslizamientos de derrubios, cuando la rotura por cizalla tiene lugar en suelos no cohesivos constituidos por partículas gruesas.

Mientras que la rotación tiende a restablecer el equilibrio en la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede mantenerse indefinidamente si la superficie de rotura es lo suficientemente inclinada y continua.

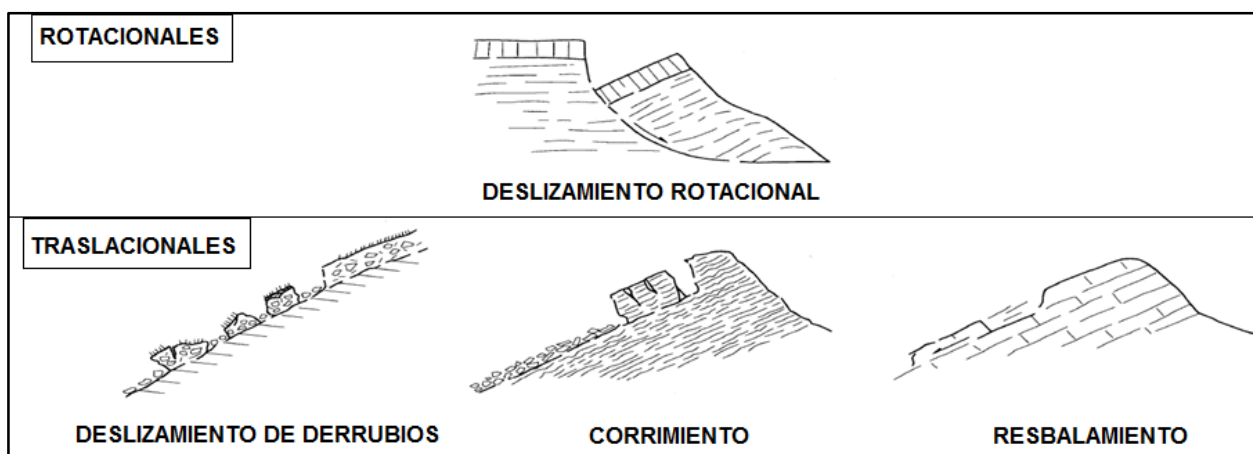


Figura 1. Tipos de deslizamiento (Fuente: Modificado de Corominas y García Yagüe, 1997)

Suarez (1998) concluye, que se debe tener claro los tipos de movimientos para obtener una buena idea de la causa de ocurrencia, además de los factores que afectan a su comportamiento, los cuales se mencionaran en el punto 2.4.

2.3.- Estabilidad superficial.

Al alterar la superficie natural del terreno, este se ve expuesto a diferentes factores que degradan y disminuyen su resistencia, originando desprendimientos, deslizamientos, pérdidas de material e inestabilidades locales.

Cuando se habla de falla superficial, gran parte de los autores difieren de la profundidad exacta, pero esta se estima no mayor a 3 metros. La profundidad de la falla según diferentes autores se muestra en la tabla 1, a continuación:

Tabla 1 Profundidad de falla (Fuente: Cruz Zelaya, 2012)

Investigadores	Profundidad
Meisina & Scarabelli, 2007	1.0 – 2.0
Kim, Jeong, Park, & Sharma, 2004	2.0 – 3.0
Xie, Esaki, & Cai, 2004	0.5 – 2.0
Tsaparas, Rahardjo, Toll, & Leong, 2002	< 2.0
Cho & Lee, 2002	2.0 – 3.0
Van Asch, Buma, & Van Beek, 1999	1.0 – 2.0
Crosta & Frattini, 2003	0.6 – 1.0
Terlien, 1998	2.0
Fourie, 1996	1.0 – 1.5

Fourie (1996) y Rahardjo (2009), mencionan que las fallas superficiales son uno de los tipos de deslizamientos más comunes en taludes compuestos por suelos residuales en zonas donde se experimentan precipitaciones intensas y prolongadas. Meisina & Scarabelli (2007) agregan que los taludes con pendientes muy altas son propensos a este tipo de deslizamiento y se caracterizan porque la superficie de falla se encuentra paralela a la cara original del talud.

2.4.- Factores que influyen en la estabilidad de un talud.

En el punto 2.2 se distinguieron dos fases de movimiento, previa y de rotura, por lo tanto las condiciones de estabilidad difieren para ambas. Corominas (2004), establece que para la fase previa se evalúa con la geometría inicial, resistencia de los materiales, condiciones de agua subterránea y efecto de fuerzas externas (sismos, sobrecargas, etc.), para la segunda fase, se debe evaluar las características del recorrido, la reducción de propiedades resistentes de masa deslizada, la presencia de agua y obstáculos.

Referido a la estabilidad superficial de un talud, Da Costa (2004), puntualiza que la zona superficial puede ser inestable o llegar a serlo, debido a una menor resistencia del terreno con respecto a la resistencia en el resto del talud, donde las razones pueden ser diversas como:

- a) Deficiente compactación del extremo lateral en terraplenes.
- b) Degradación superficial, tanto en terraplenes como en desmontes, por los agentes atmosféricos (humedad, temperatura, etc.).
- c) Erosión superficial por el agua.
- d) Infiltración del agua de lluvia, cuyo efecto es más intenso y requiere menos tiempo en la zona superficial.
- e) Afloramiento de filtraciones de agua al paramento del talud.

Tomando en cuenta lo anterior, y corroborándolo con Castro (2000) y Suarez (2009a), se establece que es necesario un enfoque en los efectos del deterioro, la geometría, resistencia de los materiales, fuerzas externas y el agua, para el estudio de deslizamiento superficial o local. Los cuales se examinarán con mayor profundidad a continuación.

2.4.1.- Geometría.

Suarez (2009a) propone que al aumentar la pendiente, generalmente se aumentan las fuerzas que tratan de desestabilizar el talud y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento. Los taludes de alta pendiente son muy susceptibles a la ocurrencia de inclinaciones, caídos y flujos de residuos. Además de la pendiente, es muy importante la curvatura de la superficie, ya que con ella es posible obtener una idea de la tipología de falla a ocurrir. Pese que la geometría es un factor, que con aspectos constructivos tiene gran mitigación, se limita por espacio y presupuesto.

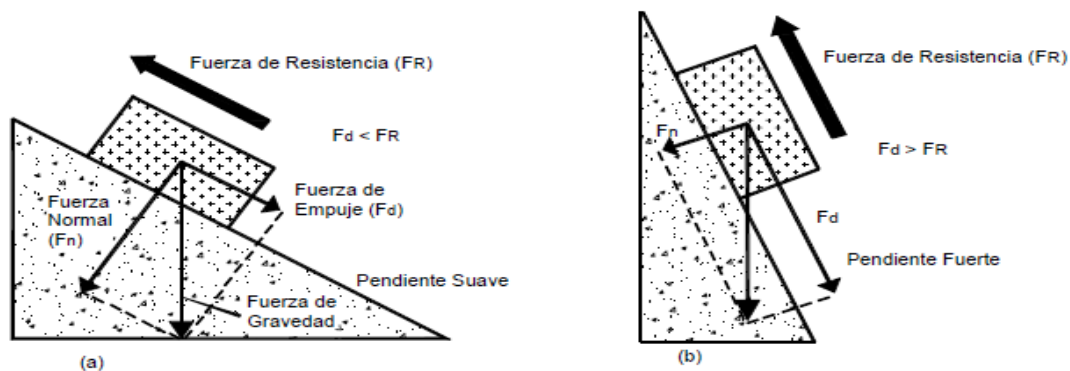


Figura 2 Esquema de un bloque sobre una pendiente. (Fuente: Suarez, 2009)

En la figura 2 se representa, un bloque de peso W que descansa sobre una superficie paralela a la pendiente del terreno y genera una fuerza que hace deslizar el bloque (F_d). Al aumentar la pendiente el esfuerzo es mayor. El bloque permanecerá estable hasta que las fuerzas actuantes (F_d) no excedan las fuerzas resistentes (Fr).

2.4.2.- Presencia de agua.

Suarez (2009a), establece que uno de los factores más importantes para evaluar en estabilidad de taludes es la presencia de agua, ya que hace variar sus parámetros resistentes. En esta misma dirección, Castro (2000), expone que el agua es el factor más común con el que se asocia la falla de un talud, debido a que los deslizamientos suelen suceder después de lluvias fuertes o periodos lluviosos. Debido a esto, es necesario un control de agua subterránea para una efectiva estabilización.

La interpretación del efecto del agua, según Castro (2000), es que las lluvias por infiltración, saturan el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual a su vez, puede activar un deslizamiento. Sin embargo acota, que el proceso no es siempre tan simple y la activación de un deslizamiento por acción del agua, es un fenómeno complejo con una gran cantidad de variables.

Suarez (2009a), agrega los efectos del aumento del peso del suelo, la disolución (agua fluye a través de los poros, disolviendo materiales que unen partículas) y erosión interna (se generan pequeñas cavernas).

El agua sigue un ciclo hidrológico, donde parte de la lluvia se infiltra y parcialmente corre por la superficie como escorrentía, además de la presencia de agua subterránea que se presenta en el nivel freático, las cuales se profundizan a continuación.

❖ Nivel freático.

Corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, equivalente a que la presión neta en esa línea es igual a la atmosférica. El nivel de agua determina los niveles de presiones hidrostáticas sobre una superficie localizada por debajo de ese nivel o los valores de presión negativa o de succión para el suelo por encima del nivel freático.

El nivel de agua puede tener como base el pie del talud o puede estar suspendido por un manto impermeable dentro del mismo. La presencia de un nivel de agua a una altura definida dentro del talud produce fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y es necesario su diagnóstico, previamente a los análisis de estabilidad.

❖ Frente húmedo.

El agua precipitada se infiltra formando una franja que avanza paralela a la superficie del terreno similar a un estrato de suelo saturado, a una velocidad que varía según la permeabilidad, del grado de saturación y la porosidad del material, como consecuencia desaparecen la succión y la cohesión aparente que produce el estado no saturado. El frente húmedo desciende verticalmente por efecto de la gravedad, incluso terminada la lluvia, hasta tener contacto con el nivel freático o un manto impermeable.

2.4.3.- Erosión.

Según Morgan (2005), la erosión superficial se define como un proceso de dos fases independientes, el desprendimiento de partículas individuales de suelo desde la masa total, y otra en el transporte de dichas partículas por parte de agentes erosivos como el agua o el viento. Cuando

la energía aportada por el agente erosivo no es suficiente para mantener el transporte de partículas, ocurre un tercer fenómeno, la depositación.

Verdugo (2007), agrega que la erosión normalmente se incrementa con la pendiente y la longitud del talud, como resultado del respectivo aumento en la velocidad y el volumen del escurrimiento superficial.

Castro (2000), señala que el factor tiempo es relevante y distingue dos tipos de rotura, progresiva y retardada. La primera, referida a la movilización no uniforme de la resistencia al corte a lo largo de una superficie potencial de deslizamiento. Por otro lado, la rotura retardada, engloba mecanismos de rotura que abarcan todos los procesos que contribuyen a reducir los parámetros resistentes a lo largo del tiempo.

Ejemplo de ello, agrega, puede ser la desaparición de la cubierta vegetal, acelerando la erosión superficial, dando lugar a que el perfil sea desfavorable e inestable. En general, engloba fenómenos, que conducen a un incremento de esfuerzos cortantes o que reducen la resistencia al corte con el tiempo, como sobrecargas de los taludes o meteorización del pie de los frentes.

2.4.4.- Suelo.

El suelo es el elemento principal de estudio, debido que es el elemento que forma el talud, como también donde los otros factores tendrán efecto. Por lo tanto, es necesario el conocimiento de las características intrínsecas del propio suelo que lo forma y que definen su resistencia.

Este proyecto de título, se basa en el suelo residual característico de la zona de Concepción.

Toro (2007), explica que los maicillos cubren amplias extensiones de la Cordillera de la Costa (Batolito Costero), como en la Cordillera de los Andes. El Batolito Costero, al contrario del Andino, muestra corrientemente fracturamiento de preferencia en la zona más contigua a la costa, el que permite una pequeña circulación de agua subterránea. Las rocas graníticas, atacadas por procesos de meteorización, originan materiales de textura arenosa (maicillo). Se habla de suelos residuales cuando el producto de la descomposición de la roca permanece en el lugar de origen.

Según Valenzuela (2004), en la zona de Concepción, los suelos residuales más comunes son el Maicillo granítico y Arcillas. En este sentido, Toro (2007) agrega que el maicillo es generado por la meteorización creciente en profundidad de la roca “madre” y que clasifica como arena arcillosa en superficie. Se observa figura 3, la extensión del denominado Batolito costero, la zona de tono rosa más claro.

solución debe estar enfocada según la tipología de falla a presentar en el talud, mencionada en el punto 2.2.

Considerando, que este proyecto de título se enfoca en la estabilidad superficial del talud, además de tomar en consideración la propuesta teórica señalada por Fritz (2015), se adopta la solución de estructura flexible, específicamente con malla de acero y pernos de anclaje o bulones. La razón principal como menciona Cabezas (2013), este tipo de estructura son flexibles adaptándose al terreno y al tipo de movimiento, son permeables disminuyendo así las presiones hidrostáticas y se integra con gran facilidad dentro del paisaje, permitiendo el desarrollo de vegetación que disminuye el impacto ambiental y la erosión.

3.1.- Descripción de sistema flexible de estabilización superficial con pernos de anclaje.

Torres (1997), define que un sistema de sostenimiento flexible como un conjunto de elementos, constituido por una membrana con una elevada resistencia a la tracción, capaz de recibir o aplicar empujes a la masa de suelo continuamente y transmitir los esfuerzos a la cabeza del conjunto de anclaje y este a la parte del macizo estable.

Da Costa (2004), explica que la función de un refuerzo es transmitir una presión al talud con objeto de aumentar su coeficiente de seguridad frente a inestabilidades superficiales. Existen dos sistemas: Activo, donde la presión se mantiene desde un primer momento, ya que cuando se instalan se pretensan aplicando presión desde antes que el suelo se degrade. Y un sistema pasivo, el que dicha presión aparece cuando se desarrolla la inestabilidad.

En efecto, la masa de suelo ejerce esfuerzo sobre la membrana o malla de acero, la cual se deforma, debido a la tensión de tracción sobre la misma. Para lo cual, es necesario una fuerza opuesta que aporte resistencia al sistema, esto se logra por pernos de anclajes que tensan la malla o membrana, los cuales atraviesan el estrato inestable y se anclan en uno estable. Esto finalmente permitirá aumentar el coeficiente de seguridad frente posibles inestabilidades superficiales.

Por otro lado, Uriel y Asociados (2010) agrega, que desde el punto de vista material consiste de un elemento longitudinal (tirante) que funciona a tracción, generalmente una armadura de acero, ya sea una barra (bulones) o un conjunto de cables. Este elemento se introduce en el terreno a través de una perforación de pequeño diámetro y mediante un sistema se fija al terreno (anclado).

La zona donde el tirante se fija se denomina longitud de bulbo, de anclaje o adherente. El elemento que sirve para fijarlo a la superficie exterior se denomina cabeza. Se puede disponer de una longitud entre ambos sin fijar y que puede alargarse libremente por la tracción recibida, esta zona se denomina longitud libre. También se considera una fijación en el interior del terreno por medio de una lechada de cemento inyectada.

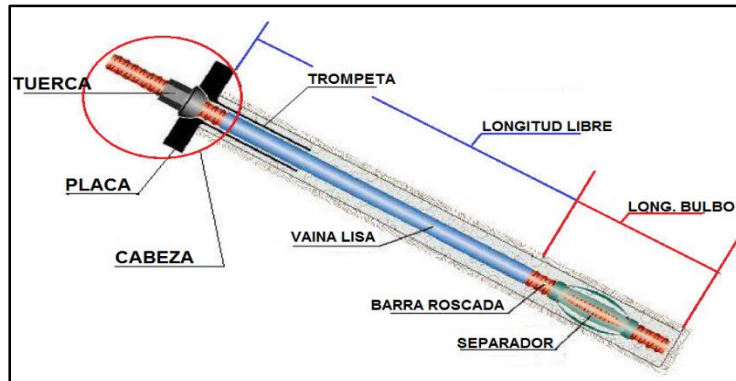


Fig. 4 Anclaje de barra, bulbo provisional DSI de barra roscada y fijación mediante inyección de lechada de cemento. (Fuente: Uriel y Asociados)

3.1.1- Anclaje de barra (bulón).

El esquema básico de un bulón se muestra en la figura 4, en la que se pueden observar las tres partes principales del mismo: longitud adherente o de bulbo, longitud libre o cabeza.

La cabeza está compuesta básicamente por una placa y una tuerca, que permite la fijación exterior del anclaje a la superficie del terreno y como resultado cumple con la función de transmitir las fuerzas de tracción generadas.

La barra se introduce en el terreno con la ayuda de separadores o centradores, a lo largo del eje del taladro, permitiendo que la lechada de inyección la envuelva completamente. A lo largo de su longitud libre, la barra se encuentra protegida mediante una vaina lisa, sin riesgo de que se fije al terreno en esta zona. En la zona de longitud adherente, la barra se encuentra en contacto directo con la lechada de inyección, que la envuelve y fija al terreno circundante. La barra puede ser barra rosca como corrugada. Su vida útil puede diferenciarlos en provisionales (máx. 2 años, según la mayoría de las normas) y permanentes. La diferencia de ambos deriva, de que los anclajes permanentes, deben dotarse con sistemas anticorrosión, que suelen encarecerlos. Además, por razones de seguridad, estos deben diseñarse con mayores coeficientes de seguridad.

3.1.2.- Malla de acero.

Destinadas a ser usadas en taludes y laderas que han perdido sus características del suelo, las mallas de alambre de acero de alto límite elástico difieren de las convencionales, en su alta resistencia a

la tracción y al punzonamiento, con lo que son capaces absorber fuerzas mayores y transferirlas a los anclajes. Como se visualiza en la figura 5, al instalar la malla, se pretensa tal que esta logre su función de aplicar una fuerza o empuje a la masa de suelo y la trasmite a los anclajes.

Son suficientemente resistentes y no se comportan como un material frágil, evitando deformaciones al comparálas con mallas de menor límite elástico. Se desarrollan en base a conceptos especiales para el dimensionamiento de sistemas flexibles. Además, poseen un revestimiento anticorrosivo de aluminio y zinc.

Sus características geométricas y de resistencia varían según el distribuidor, pero sus funciones son las mismas: generar estabilidad y sostenimiento activo y pasivo en el talud, como también el control de desprendimientos locales.



Fig. 5 Placa de fijación, pretensada, con cabeza de perno y malla (Fuente: Geobrugg, 2012)

3.2.- Cálculo del sistema flexible de estabilización superficial con pernos de anclaje.

Los problemas de estabilidad de taludes son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos. Al indagar en el cálculo y funcionamiento de los sistemas, son pocas las referencias, debido a la falta de estudios referidos a la falla superficial, la dificultad y la incertidumbre referida al estudio del suelo. Algunos de los métodos existentes se presentan en el anexo B.

Cala et al. (2012), presentan una metodología REVOLUM® para sistema flexible TECCO®, basados en el análisis de equilibrio límite, en el cual se basa la propuesta de solución planteada por Fritz (2015).

Esta metodología, toma varios puntos que consideran otros autores y varios casos posibles. Además, el diseño para sistemas de estabilización superficial, no solo considera un cuerpo de

deslizamiento en forma de cuña sino también dos mecanismos de falla (deslizamiento), considerados en las inestabilidades locales. Este sistema permite cualquier distancia entre pernos de anclaje, tanto vertical como horizontal.

Los mecanismos a trabajar, simulan el desplazamiento de la masa de suelo que genera una tracción paralela a la pendiente, la cual es transferida a los pernos de anclaje, de este modo los pernos pretensados presionan la malla y el suelo del talud, permitiendo aumentar la fricción adicional en toda la superficie de deslizamiento, mejorando la estabilidad.

Para su análisis es necesario el conocimiento del análisis de equilibrio límite y el criterio de falla de Coulomb, las cuales se describen brevemente:

- ❖ **Análisis de equilibrio límite:** Se basa exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Sirve para la evaluación del fenómeno de estabilidad de taludes, sumando fuerzas y momentos en relación a una superficie de falla asumida que desliza con respecto al resto de la masa de suelo. Su formulación asume lo siguiente: (1) El factor de seguridad de la componente cohesiva y la parte friccional de la resistencia al corte de un suelo es la misma para todos los suelos involucrados. (2) El factor de seguridad es el mismo para todas las rebanadas.
- ❖ **Criterio de falla de Coulomb:** El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por primera vez por Coulomb en el año 1773. Se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano. La expresión matemática de dicha ecuación es:

$$\tau = c + \sigma_n \tan\varphi \quad \text{Ec. (1)}$$
 Donde, c es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada, φ es el ángulo de fricción, τ es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura y σ_n es la tensión normal que actúa en el plano de rotura.
- ❖ **Coefficiente de reducción de la resistencia al corte (γ_{mod}):** Para el análisis, es necesario considerar la incertidumbre del modelo asociado a los factores de riesgo que en taludes suele ser más compleja de lo que se supone y no está representada en los métodos de cálculo existentes. Por lo tanto, se aplica este coeficiente, que se obtiene mediante variaciones estadísticas, el cual suele variar entre 1,1 y 1,7.

Según la metodología estudiada, en talud se pueden presentar inestabilidades paralelas al talud, a asociadas a los esfuerzos que se transmiten al anclaje y locales entre pernos de anclaje, que se asocian a lo que debe resistir la malla flexible.

Para su cálculo es necesario establecer las distintas fuerzas participantes, para cada caso se asocia un diagrama de cuerpo libre y se aplican las ecuaciones de la estática para calcular la fuerza de corte en los planos de deslizamiento necesario para equilibrar el mecanismo de rotura, los que se explican con mayor claridad en el anexo C.

3.2.1.- Inestabilidades paralelas al talud.

Este tipo de inestabilidad, abarca la cubierta superficial con tendencia a deslizarse respecto al subsuelo estable, la cual debe ser retenida por el conjunto de anclajes, estabilizándolo. Considerando el anclaje y la capa de suelo inestable como un todo. Así cada anclaje, como se ve en la figura 6, con cierto grado de seguridad debe poder estabilizar el volumen de suelo de ancho (a), longitud (b) y espesor (t).

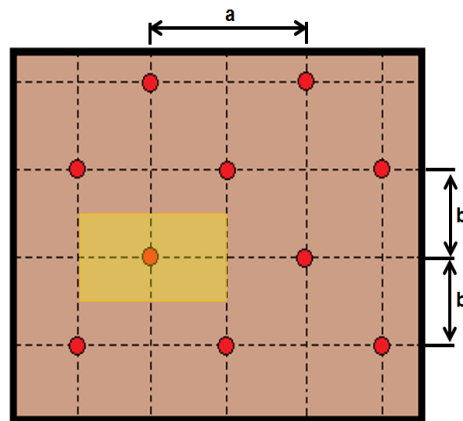


Fig. 6 Esquema en planta de la zona considerada en la inestabilidad paralela al talud.
(Fuente: Geobrugg, 2011)

Los casos estudiados para inestabilidades paralelas al talud, son los siguientes:

- ❖ Estático.
- ❖ Para un sismo.
- ❖ Con un flujo paralelo al talud.

3.2.2.- Inestabilidades locales entre pernos de anclaje.

Se analiza los cuerpos de suelo susceptible a deslizamientos, entre pernos de anclaje, considerando su combinación con la cubierta de malla. Pese que colocado los pernos, no deberían existir deslizamientos de la superficie de falla, es posible la ocurrencia de inestabilidades entre los pernos de anclaje, que llevarían a deslizamientos. La figura 7 muestra, el diagrama de masa a deslizar y su distribución en el manto del talud.

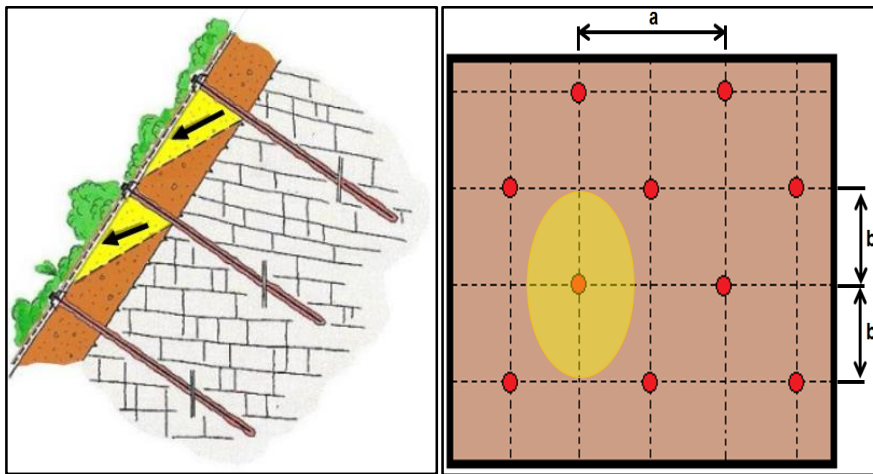


Fig. 7 Vista lateral y esquema en planta de la zona considerada en la inestabilidad local entre pernos de anclaje. (Fuente: Geobrugg, 2011)

Los pernos están separados a un ancho (a) y un largo (b), por lo que la falla que se puede generar tiene un ancho máximo de a y un largo máximo de $2b$, donde la fractura máxima transversal es influenciada por el tipo de protección que se esté ocupando. Además, es necesario considerar una pretensión, de la cual se explica en el anexo C.

En la investigación de las inestabilidades locales se deben diferenciar dos tipos de mecanismos de falla A y B, como se visualiza en la figura 9. El mecanismo de falla A, se basa en un cuerpo deslizante, que se mueve por la parte inferior del perno y que se extiende en línea recta hasta la parte superior del perno de anclaje, con un ángulo β . El mecanismo de falla B, se basa en dos cuerpos deslizante. El primer cuerpo, tiene una sección transversal trapezoidal que empuja contra el segundo cuerpo que tiene una sección en forma de cuña.

Es necesario considerar del mismo modo que en inestabilidades paralelas al talud, para ambos mecanismos de falla.

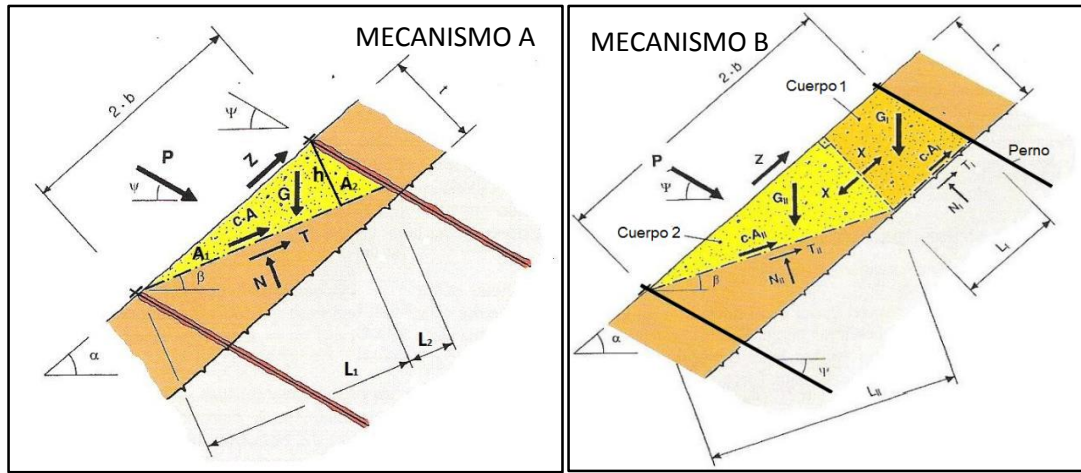


Fig. 9 Esquema de mecanismo de falla A y B, caso estático. (Fuente: Geobruigg, 2011)

3.3.- Cálculo del largo del perno de anclaje o bulón.

Una vez determinada las cargas de anclaje necesarias, es necesario conocer la longitud del anclaje a aplicar, según Murillo y Ortuño (2010), la dimensión del bulbo ha de garantizar una superficie lechada-terreno, suficiente para transmitir las cargas desde el anclaje al terreno con un adecuado coeficiente de seguridad. Por lo tanto, la dimensión del bulbo se determina para que se verifique el estado límite de último arrancamiento.

El método más extendido consiste en suponer una adherencia uniforme en toda la superficie de contacto bulbo-terreno, que se opone al arrancamiento del anclaje. Con este criterio y en base a la guía de la D.G.C. de España, el método es el siguiente:

$$\frac{P_{Nd}}{\pi \times D_N \times L_b} \leq a_{adm} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

P_{Nd} : Carga nominal mayorada.

D_N : Diámetro nominal o de perforación del bulbo.

L_b : Longitud del bulbo.

a_{adm} : Adherencia o tensión de transferencia admisible en el contacto lechada-terreno.

La carga nominal mayorada, se calcula con la carga nominal del anclaje por un factor de seguridad que para anclajes permanentes es igual a 1,5.

3.4.- Verificación de resistencia de los elementos.

De modo, de establecer y garantizar que los distintos elementos constituyentes del sistema resistan las cargas, es necesaria la consideración de las siguientes verificaciones:

- ❖ Verificación de la resistencia del anclaje debido al deslizamiento superficial y paralelo al talud.
- ❖ Verificación de la resistencia de la malla contra el punzonamiento.
- ❖ Verificación de la resistencia del anclaje ante la combinación de otras fuerzas.
- ❖ Verificación de la resistencia de la malla al corte en el borde superior de la placa de fijación.
- ❖ Verificación de la resistencia de la malla a la transmisión selectiva de la fuerza Z paralela al talud sobre el perno de anclaje superior

En el anexo E, se definen las ecuaciones correspondientes para cada verificación.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.

Para analizar la propuesta de sistema flexible de estabilización para deslizamientos superficiales en taludes de suelo residual, se propone identificar los parámetros relevantes que afectan al sistema y seleccionar una metodología de cálculo que permita determinar la influencia y relevancia de estos parámetros en la generación de esfuerzos.

En primer lugar es necesario, tener en consideración de que pese a que el sistema flexible de anclaje aporta resistencia a la estabilidad global, este proyecto de título se enfoca en la estabilidad superficial del talud. Por lo tanto, el talud debe ser estable globalmente.

Se planteó la utilización de bulones de anclaje, de la empresa DSI (Dywidag-Systems International) y se tomó como hipótesis la aplicación de las metodologías propuestas por Cabezas (2013), aplicada para un distribuidor específico (TECCO®). Debido a que presenta mayor información disponible, para llevar a cabo el análisis.

Para la metodología de cálculo, se investigará las máximas tensiones que se generan en la contención de falla superficial, estableciendo del mismo modo los factores que afectan principalmente a la variación de esfuerzos.

Tomando en cuenta lo anterior, la metodología a realizar es la siguiente:

- i. En base a las fórmulas de los diferentes modos y casos, se ha creado una plantilla Excel, para su resolución.
- ii. Se genera una tabla para análisis de esfuerzos, de los diferentes modos y casos, en relación los factores en estudio, que generan mayor parte de las variaciones de resistencia. Estos son: inclinación, peso unitario, cohesión y ángulo de fricción del suelo, ángulo de inclinación del anclaje y separación entre anclajes.

Considerando como constantes:

- ❖ La profundidad de la falla, según los autores no supera los 3 metros, por lo tanto se consideró una profundidad de 1 metro, tomando en cuenta el ejemplo de Cabezas (2013) y el de Cala et al. (2012).
- ❖ La fuerza paralela al talud Z, se considerara de 15 (kN), en base a los ejemplos de Cabezas (2013), Cala et al. (2012) y proyectos como el de Ground Engineering, (2014).
- ❖ Para la pretensión, el valor generalmente varía según diferentes autores entre 30-50 (kN), pero se considera 30 (kN) como el valor más común y conservador.

Y variables:

- ❖ Para la inclinación de los taludes a utilizar, se ha considerado perfiles mayores a 45° , según lo mencionado por Fritz (2015), hasta una inclinación considerable de 60° .
- ❖ Para los parámetros relacionados al suelo, se establecen a partir de los antecedentes geotécnicos recopilados del estudio realizado por Valenzuela (2004), en relación al suelo residual de la zona de concepción.
- ❖ Para la distancia a entre anclajes, se variará desde el mínimo (1,5 m.) hasta los 3,5 m., para lo cual se estudiará su variación tanto vertical como horizontal. Además, con una distribución a tresbolillo, como plantea Fritz (2015).
- ❖ Para la inclinación de los anclajes, el valor generalmente varía entre 15° y 30° . El diámetro de la placa de sujeción se considerara de 300 (mm), y valorando el cono de presión que este genera respecto a la horizontal de 45° .

De este modo, la tabla se construirá variando los factores, con valores mínimos, máximos y promedios, para parámetros del suelo. Para los factores controlados como geometría del

talud y de anclajes, se utilizara mayor cantidad de valores, debido a que es posible modificarlos.

- v. Para el cálculo del largo del bulón, es necesario el valor de adherencia en el contacto lechada-terreno, que a través de pruebas de arranque se estima según ensayos en la zona de 0,2 MPa.
- vi. Para el cálculo, de cada factor a estudiar, se utilizará el valor promedio de cada uno de los otros factores (utilizados en este análisis), para que el análisis no quede afectado, a modo de estudio de sensibilidad.
 - ❖ Caso especial I, la cohesión por recomendación del método de análisis (Cała, Flum, Roduner, Rüeegger & Wartmann, 2012) se considerara cero, para el cálculo de los otros factores.
 - ❖ Caso especial II, la inclinación del anclaje depende de la inclinación del talud, por lo que se mantendrá la misma relación para los cálculos (90° respecto a la inclinación del talud).
- vii. Se generará además, con los datos anteriores gráficos que muestran de manera más clara su efecto en los esfuerzos.
- viii. Con lo anterior, se establecerán los esfuerzos mínimos y máximos que son necesarios para la selección del anclaje, su largo y la factibilidad de la malla.
- ix. Finalmente, se analizará los datos obtenidos, de modo de establecer la pertinencia de la metodología y el grado de influencia de los factores.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base a la metodología propuesta en el punto 5, se generaron las tablas para el análisis de datos y se procedió con la etapa de inserción de datos, las tablas de resultados se muestran en el anexo E. Además, en el anexo se adjuntan los gráficos correspondientes, para una mayor análisis. Primero, se lleva a cabo un análisis puntual de la influencia de cada parámetro y posteriormente se analiza de forma general, se establecen los parámetros límites para la propuesta de Fritz (2015) y discutirá sobre algunos puntos generales.

5.1.- Análisis de la influencia de los parámetros.

A continuación se analizarán la influencia de los factores en los esfuerzos del anclaje y la malla, según las dos inestabilidades explicadas en los puntos 3.3.1 y 3.3.2, tomando en cuenta los casos y mecanismos descritos en el anexo C.

5.1.1- Influencia de la inclinación del talud.

En los gráficos E1 y E2, se visualiza el aumento de los esfuerzos tanto de corte absorbidos por el anclaje (S) como los esfuerzos resistente al corte de la malla en el borde de la placa (P). En relación al primero de esto el mayor esfuerzo se encuentra para el caso del sismo, pese a esto la mayor variación con respecto al aumento de la inclinación es para el caso estático (92% de aumento). Para el esfuerzo P, el mayor valor se encuentra para el caso con flujo paralelo, aunque solo para el mecanismo B. El promedio de la variación de esfuerzos de todos los casos en los 15° de inclinación, es aprox. 17 (kN). Con una variación máxima de 23,7 (kN), una forma práctica indicaría que por cada grado que aumenta la inclinación, se aumenta 1,5 (kN). Esto respalda los antecedentes referidos a que el aumento de la pendiente y aumenta las fuerzas desestabilizadoras.

5.1.2- Influencia de la fricción del suelo.

En los gráficos E3 y E4, se observa la disminución de los esfuerzos con el aumento de la fricción del suelo. Con esto se denota claramente, que la fricción forma parte importante de la resistencia al deslizamiento del talud. Al igual que el caso anterior el mayor esfuerzo S, es para el caso sísmico y el mayor esfuerzo P, es para el mecanismo B del caso con flujo paralelo. El promedio de disminución de esfuerzos para los 6° de aumento de fricción, es de aprox. 7 (kN). Con una variación máxima de 11 (kN), una forma práctica indicaría que por cada grado que aumenta la fricción, se disminuye 1,5 (kN).

5.1.3.- Influencia del peso unitario del suelo.

En los gráficos E5 y E6, se distingue el aumento de los esfuerzos con el aumento del peso unitario del suelo. Al aumentar el peso de la masa de suelo, la fuerza deslizante aumenta. El caso sísmico para los esfuerzos S y el mecanismo B del caso con flujo paralelo son los mayores. El promedio de disminución de esfuerzo es de 13 (kN).

5.1.4.- Influencia de la inclinación del anclaje.

En los gráficos E7 y E8, se observa el aumento de los esfuerzo al aumentar inclinación del anclaje respecto a la horizontal o disminuir el ángulo respecto al talud. Al igual que los casos anteriores,

los mayores esfuerzos S y P, se encuentra para el caso sísmico y el mecanismo B del flujo paralelo al talud. Cabe recalcar la ocurrencia de error al trabajar con un ángulo de 67° , se presenta esfuerzos sobre 1000 (kN), esto puede deberse a que el mecanismo para el control de inestabilidades, no considera ángulos con tal inclinación (poco o no eficientes) generando estos problemas. De forma más precisa la geometría planteada para este método no se cumple, para valores sobre la inclinación perpendicular al talud, la cuña superior y en relación a la matemática del cálculo no forma un triángulo, ya que supera la sumatoria de los ángulos interiores. Pese a esto, se trabajó hasta los 52° con valores de corrección para su análisis.

5.1.5.- Influencia de la separación entre anclaje.

En los gráficos E9 y E10, se visualiza un aumento de los esfuerzos al aumentar la separación entre anclajes, debido en parte al aumento del área deslizante, por ende el volumen a deslizar. Al igual que en todos los casos anteriores, los mayores esfuerzos se encuentra para el caso sísmico para S y en el mecanismo B del flujo paralelo al talud para P. Para las inestabilidades paralelas al talud, el cambio de distancia horizontal por la vertical y viceversa, no genera cambios en los esfuerzo, tal como se ve en el gráfico E9, con puntos negros, pese al cambio los esfuerzos son iguales. Esto se resume en que el cambio horizontal y el vertical lo afecta del mismo modo. En el caso de las inestabilidades locales entre pernos de anclajes, el aumento vertical genera un aumento de los esfuerzos, al aumentar la distancia horizontal también se genera un aumento de esfuerzos pero mucho mayor que el vertical. Se visualiza en el grafico 10, ejemplificando con puntos rojos que el primer punto (1,5-3,5m) es menor que el segundo (3,5-1,5m).

5.1.6.- Influencias de la pretensión y la cohesión.

La cohesión, para este análisis se consideró cero, ya que el autor de los modelos, estima que de este modo consideraba la influencia a largo plazo, de la intemperie, aflojamiento, etc. Pese a esto se analizó, el que sucedería al considerarse. De este modo y como se observa en la tabla E6, si se considera la cohesión como un parámetro mayor que $15 \text{ (kN/m}^2\text{)}$, la mayor parte de los esfuerzos son menores a cero, por lo que no es necesario un sistema para la estabilización superficial. Si se considera una cohesión de $8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$, es necesario un anclaje, pero no una malla para aporte resistente.

La pretensión, se consideró el menor valor, debido que generalmente no se alcanzan las pretensiones teóricas.

5.2.- Relevancia de los parámetros dentro de la estabilidad superficial.

En base al análisis, el parámetro más importante a considerar es la separación entre los anclajes, principalmente la separación horizontal entre ellos. Según el análisis, para los valores estudiados es donde se genera el mayor esfuerzo, tanto para el anclaje (175 kN) como para la malla (202,6 kN), además un metro de variación en la separación horizontal puede generar un aumento de un 40% de los esfuerzos del anclaje y 70% en los esfuerzos de la malla (entre 2,5-3,5 y 3,5-3,5). Considerando que disminuir el espaciamiento conlleva a la colocación de mayor cantidad de anclajes, pero disminuye la fuerza que deben resistir los anclajes y la probabilidad de deslizamiento.

El segundo elemento de relevancia y de fácil modificación, es el ángulo de inclinación del anclaje, donde la mayor cercanía a la horizontal, disminuye los esfuerzos. Al considerar valores por sobre el ángulo perpendicular al talud, se obtienen esfuerzos altos, principalmente en los relacionados a la malla donde se alcanzan hasta los 106 (kN). Una variación de 15°, puede generar un aumento de un 50% en el esfuerzo que debe resistir la malla y un 7% en los anclajes. Todo esto considerando que un ángulo cerca de la horizontal puede generar problemas en la colocación del anclaje y la lechada de este, debido a la posición horizontal. Como antecedente se considera que entre 15° y 35° respecto a la horizontal es razonable.

La inclinación del talud toma su relevancia, en las inestabilidades locales entre pernos de anclaje, especialmente bajo una carga sísmica, donde para este caso ocurren los mayores esfuerzos (77 kN). Tomando en cuenta esto, si es posible una disminución de 3° en la inclinación del talud, es posible disminuir un 5% de los esfuerzo, tanto para la malla como para el anclaje. Pese que es un parámetro modificable, es necesario considerar las limitaciones técnicas que se presentan, en función a la geometría, altura, costos, etc.

Paralelo al anterior y pese que es un parámetro no modificable, el peso unitario del suelo principalmente influye bajo una carga sísmica, para el caso de inestabilidades paralelas al talud, es decir para el cálculo del anclaje (97 kN), donde para el suelo residual de la zona de Concepción, se puede encontrar diferencias de hasta 35% en los esfuerzos generados para el anclaje y 20% para la malla.

De estos dos, peso unitario e inclinación del talud, el margen para que puedan seguir aumentando los esfuerzos es mucho mayor para este último.

El aumento de la fricción, en el suelo residual y en base al estudio, no genera grandes cambios en los esfuerzos, ya que es el que genera menores esfuerzos sobre los elementos. Según los datos analizados, para el suelo residual de la zona de Concepción, se puede encontrar diferencias de hasta 17% en los esfuerzos generados para la malla y 8% para el anclaje.

Como dato aportado por el análisis de la pretensión, si se lograra aplicar 50 (kN), en relación a los 30 (kN) utilizados en el análisis, se logra una disminución de un 9% del esfuerzo sobre el anclaje.

5.3.- Discusión en relación al análisis.

Al llevar a cabo el análisis, existen algunos puntos que son necesarios comentar:

- ❖ La metodología plantea la utilización, del peso unitario y valores relacionados al suelo, en estado natural. Sin embargo y pese que existe caso con un flujo paralelo, se debe considerar que la falla está directamente relacionada con el agua, por lo que la utilización del peso unitario saturado y parámetros del suelo saturado sería mucho más acercado a la realidad o al contar con drenaje, considerar su efectividad. Ya sea solo para el caso con flujo o todos los casos.
- ❖ Se debe considerar, que el análisis se basa en una profundidad de falla definida, por lo tanto si se analiza para fallas de superior profundidad, los esfuerzos serán mayores debido al aumento tanto de volumen y masa de suelo inestable, considerando que el largo total del anclaje está relacionado a la profundidad del estrato inestable. Además, aumenta de mayor manera la incertidumbre de los parámetros del suelo, ya que el suelo es un material heterogéneo.
- ❖ Es necesario considerar, que pese a la posibilidad de calcular el largo del bulón, con la ecuación 2, también es factible aumentar la resistencia del bulón, de este modo disminuir la longitud total de este.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En base a la investigación realizada en este proyecto de título se puede concluir, que:

- ❖ En función a los parámetros de falla de un talud, de acuerdo al análisis con el sistema flexible con pernos de anclaje: la erosión depende principalmente de los otros factores, además no se consideran sus efectos en este proyecto como cuantificables. Para lo que es la geometría, principalmente la inclinación, es un factor que afecta en la generación de esfuerzos de falla. Pese a esto, es mucho mayor si se considera la suma de los parámetros del suelo con el factor del agua.
- ❖ Los parámetros asociados al sistema flexible, que son modificables como la separación entre anclajes y la inclinación de este mismo respecto a la horizontal, son los principales factores en la generación de esfuerzos. Seguido por la inclinación y en el peso unitario y en último lugar la fricción, sin considerar la cohesión debido a consideraciones de la metodología.
- ❖ Existen metodologías para el cálculo de estabilidad superficial, muchas se enfocan en puntos específicos, por lo que es necesario considerar otras para obtener una idea completa del funcionamiento. Pese a que esta especificada para una línea de productos específicos, la seleccionada contempla, varios puntos considerados por otros autores, como hipótesis de falla, geometría y parámetros.
- ❖ Según los parámetros analizados, es posible obtener una solución o mitigación a los deslizamientos superficiales, con elementos del mercado actual.

Se propone estudiar métodos de medición de frente húmedo en taludes, para establecer la profundidad de falla, en taludes de suelo residual, de modo de conocer la profundidad que se ve afecta directamente por el agua, además de la efectividad de los métodos de drenaje y cubierta vegetal.

Realizar ensayos de arranque y deformación en bulones aplicado a taludes de suelo residual, a modo de establecer la relevancia de la profundidad del bulbo vs diámetro del bulón, en la efectividad de este mismo.

La sugerencia es a profundizar en este tema con trabajos realizados sobre la base de experiencias de terreno y laboratorio, con el propósito de obtener parámetros representativos para este tipo de suelo y de la utilización del sistema flexible con pernos de anclaje.

BIBLIOGRAFÍA.

Braja, M. (2001) *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. California State University, Sacramento, México, Thomson editores.

Cabezas, V. (2013) *Sistemas flexibles de estabilización superficial de taludes con mallas de acero y pernos de anclaje*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Concepción, Chile.

Cała, M., Flum, D., Roduner, A., Rügger, R., & Wartmann, S. (2012). *TECCO® Slope stabilization system and RUVOLUM® dimensioning method*. AGH.

Castro, D., (2000) *Estudio y análisis de las membranas flexibles como elemento de soporte para la estabilización de taludes y laderas de suelos y/o materiales sueltos*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Santander, España.

Chacon, J. (2012), *Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal*. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, No. 28. Buenos Aires, Argentina.

Corominas, J., (2004) *Tipos de rotura en laderas y taludes*. In Carlos López Jimeno (editor), Ingeniería del terreno, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Corominas, J. y García Yagüe, A. (1997). *Terminología de los movimientos de ladera*. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada.

Crespo, C. (2004) *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Quinta edición, México, Editorial Limusa.

Cruden. D. M. (1991), *A Simple Definition of a Landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 43, pp. 27-29. National Research Council, Washington, D.C

Cruz, L. (2012), *Análisis Probabilístico de Fallas Superficiales en Taludes Debido a Procesos de Infiltración*. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería, Maestría de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.

Da Costa, A. (2004) *Inestabilidad por degradación superficial de taludes en suelos. Corrección mediante sistemas de refuerzos anclados*. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria, Santander, España.

De Matteis, A. (2003). *Estabilidad de taludes*. Universidad Nacional del Rosario, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Argentina.

Dywidag-Systems International, (2014) “*Gama de Productos Geotécnicos DYWIDAG*” [en línea]. Alemania, disponible en: https://www.dsi-chile.com/uploads/media/DSI-Gama-de-Productos-Geotecnicos-DYWIDAG_sa.pdf, [Accesado el día 12 de Noviembre de 2015].

Fourie, A. (1996). *Predicting rainfall-induced slope instability*. Proceedings Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering, pp. 211–218.

Fritz, D. (2015). *Propuesta de solución teórica para deslizamientos poco profundos de suelos sobre roca en taludes de alta pendiente*. Proyecto de título para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio – Bio, Concepción, Chile.

Geobrugg, (2015). *Los sistemas TECCO® / SPIDER® estabilizan taludes utilizando alambre de alta resistencia*. Disponible en: http://www1.geobrugg.com/content/Portals/35/media/Download-Brochures/Geobrugg-AG_TECCO_SPIDER_es.pdf, [Accesado el día 12 de Noviembre de 2015].

Meisina, C. & Scarabelli, S. (2007). *A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils*. *Geomorphology*, 87(3), pp. 207–223.

Ground Engineering, (2014). *Opere di protezione e messa in sicurezza dell'impianto di trattamento per rsu di sambatello di reggio calabria, dal rischio frana incombente dal versante mertillo*. Roma.

Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation*. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 304 p

Murillo T., Ortuño L. (2010). *Anclajes al terreno*. Uriel y Asociados S.A. Presentación con Diapositivas.

Rahardjo, H., Rezaur, R., & Leong, E. (2009). *Mechanism of rainfall-induced slope failures in tropical regions*. 1st Italian Workshop on Landslides (Vol. 1).

SERNAGEOMIN, (2003). *Mapa geológico de Chile*. Publicación geológica digital, No. 4. Gobierno de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, Subdirección Nacional de Geología. Chile.

Suárez, J., (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Volumen 2, Universidad Industrial de Santander, UIS Facultad de Ingenierías Físico Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil, Colombia.

Suárez, J., (2009a). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Universidad Industrial de Santander. UIS Facultad de Ingenierías Físico Mecánica Escuela de Ingeniería Civil, Volumen 1, Colombia.

Torres, J. A. (1997). *Procedimiento de Análisis y diseño para la aplicación de redes de cables de acero en la estabilización de taludes*. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, III, pp. 513-525. Granada.

Toro, K. (2007). *Influencia de las características geológicas en las propiedades geotécnicas de granitoides jurásicos y suelos asociados en la Ruta 68*. Memoria para optar al título de Geólogo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología. Santiago, Chile.

Valenzuela, M., Bonilla R., Soto C. (2004). *Caracterización geotécnica y resistencia al corte de los suelos residuales de Concepción*. V Congreso de Ingeniería Geotécnica. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Uriel y Asociados S.A. (2010). *Anclajes y Bulonajes*. Auscultación y corrección de inestabilidades de taludes de carreteras y ferrocarriles. Madrid.

Verdugo, J. (2007). *Desarrollo de una metodología para evaluar la susceptibilidad de los taludes de suelo al efecto de la erosión por flujo superficial*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Wesley, L., (2011) *Stability of slopes in residual soils*. Department of civil and environmental engineering, university of Auckland, New Zealand, Obras y proyectos 10, pp.47-61.

ANEXOS

ÍNDICE ANEXO

ANEXO A.	33
A.1.- Desprendimientos o caídas	33
A.2.- Vuelcos	33
ANEXO B.-	34
B.1.- Modelo de talud infinito, para suelos (Da Costa, 2004)	34
B.2.- Modelo de talud infinito, para suelos (Fabricante)	35
B.3.- Modelo de talud en cuñas, para suelos (Da Costa, 2004)	35
B.4.- Modelo de talud en cuñas y bloques, para suelos (Castro & Ballester, 2005).....	37
B.5.- Modelo de bloque y cuña entre pernos de anclaje, para suelos (Flum, Borgonovo, Frenez, & Guasti, 2004).....	38
B.6.- Modelo de bloque y cuña entre pernos de anclaje, para suelos (Castro, 2000)	39
ANEXO C	41
C.1.- Inestabilidad paralelas al talud.....	41
C.2.- Inestabilidades locales entre pernos de anclaje.....	43
ANEXO D.	50
D.1.- Verificación de la resistencia del anclaje debido al deslizamiento superficial y paralelo al talud.	50
D.2.- Verificación de la resistencia de la malla contra el punzonamiento.....	50
D.3.- Verificación de la resistencia del anclaje ante la combinación de otras fuerzas.	50
D.4.- Verificación de la resistencia de la malla al corte en el borde superior de la placa de fijación.	51
D.5.- Verificación de la resistencia de la malla a la transmisión selectiva de la fuerza Z paralela al talud sobre el perno de anclaje superior.....	51
ANEXO E.....	52
E1. TABLAS DE ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE FACTORES.....	52
E2.- GRÁFICOS DE INFLUENCIA DE FACTORES.....	56

ANEXO A.

Se presentan a continuación las fallas según dos autores: Corominas (2004) y Matteis (2003).

A.1.- Desprendimientos o caídas (falls)

El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos. El movimiento es muy rápido.

La rotura suele producirse por deslizamiento o vuelco de pequeña envergadura, proporcionando a la masa despegada una velocidad inicial. Laderas con pendiente superior a 76° sufren preferentemente caída libre, mientras que las menores a 45° se producen por rodadura.

A.2.- Vuelcos (topples)

Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua o hielo) en las grietas. Dentro del mecanismo de vuelco pueden distinguirse dos procesos: vuelco por flexión y desplome. La primera tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinuas en voladizo y la segunda, donde la parte movida cae con un movimiento brusco de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa.

A.3.- Expansiones laterales (lateral spreads)

Se distinguen dos tipos de extensiones laterales: la primera, la fracturación y extensión de material compacto (tanto suelo como roca), debido a la licuefacción del material subyacente.

La segunda, los movimientos afectan al conjunto de formación sin que se identifiquen zonas basales de cizalla o flujo plástico, o por lo menos, sin que estén bien definidas. Suelen afectar a litologías blandas y deformables que se encuentran por debajo de niveles potentes de materiales resistentes y densos.

A.4.- Flujos (flows)

Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas

lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares.

ANEXO B.-

Modelos de diseño existentes para el sistema flexible de estabilización superficial con pernos de anclaje.

B.1.- Modelo de talud infinito, para suelos (Da Costa, 2004)

Basado en el mecanismo de falla de un talud infinito, donde se considera que la altura es infinita y donde las fuerzas superiores e inferiores al cuerpo deslizante son iguales y se anulan. En base, a esto determina la presión sobre la superficie del talud que es necesaria para estabilizarlo. El considerarlo como indefinido no resulta muy lejano de la realidad ya que se trata de deslizamientos paralelos al talud y relativamente superficiales (1 a 2 m. aproximadamente).

Si este modelo se ajusta, añadiendo la fuerza normal (p) y de corte (t), las cuales se distribuyen de forma uniforme sobre la superficie del talud, como se visualiza en la figura B1, es posible considerar la acción de los pernos de anclaje y la malla.

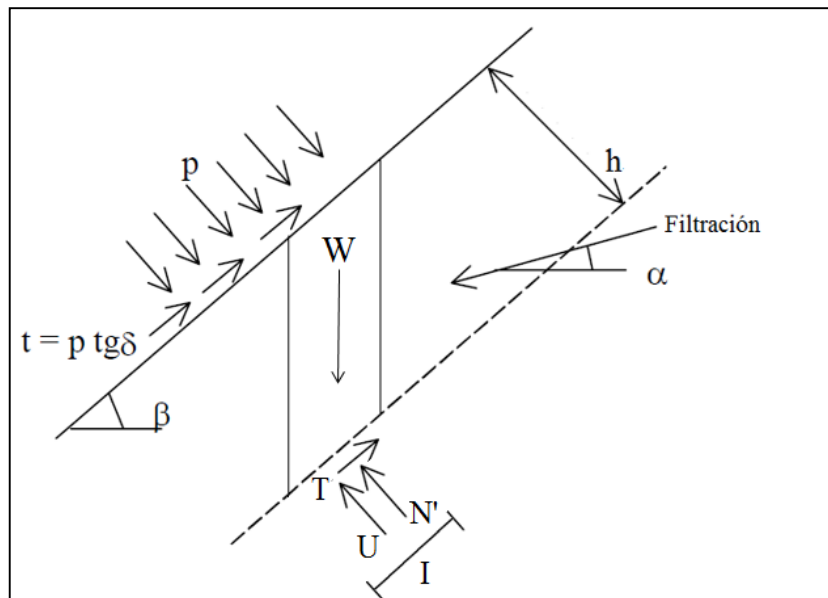


Figura B1. Talud infinito para suelos (Fuente: Da Costa & Sagasetta, 2010)

Si se resuelve y despeja la ecuación de equilibrio de fuerzas en un segmento del talud en dos direcciones:

$$p = \frac{\gamma h \left(\sin \beta - \cos \beta \frac{\tan \phi}{FoS} \right) + \gamma_w \frac{h \cos \alpha}{\cos(\beta - \alpha)} \times \frac{\tan \phi}{FoS} - \frac{c}{FoS}}{\frac{\tan \phi}{FoS} + \tan \delta}$$

Además, t puede ser expresado de la siguiente forma:

$$t = p \tan \delta$$

Con lo anterior, es posible calcular la fuerza total que un perno es capaz de soportar (F_{bolt}).

$$F_{bolt} = pl \cos \delta + tl \sin \delta$$

B.2.- Modelo de talud infinito, para suelos (Fabricante)

Con este modelo el fabricante verifica la integridad del perno, tanto en corte como tensión, pero no considera la integridad de la malla (Guasti, 2003). El análisis se basa en el equilibrio límite de talud infinito con la diferencia de no considerar la presión de agua, además agrega una fuerza de estabilización de corte (S). La fuerza S , constituye la resistencia al corte necesaria para el perno de anclaje manteniendo el equilibrio en el suelo.

$$S = G \sin \alpha - V \cos(\alpha + \psi) - \frac{[G \cos \alpha + V \sin(\alpha + (\alpha + \psi))]}{FoS} \tan \phi + cA$$

Donde V es la fuerza en dirección al perno, representa la pretensión en los pernos de anclaje, con ángulo de anclaje Ψ respecto a la horizontal.

El parámetro FoS representa un factor de seguridad aplicado a la fuerza máxima de corte T en las superficies deslizantes.

Debido a que no se considera el agua, los parámetros T , N , ϕ y c están relacionados con las presiones totales y no las efectivas. Dos ecuaciones de equilibrio de fuerza se obtienen considerando el criterio de falla de Coulomb ($\tau = N \tan \phi + cA$), con el fin de obtener tres incógnitas N , T y S .

B.3.- Modelo de talud en cuñas, para suelos (Da Costa, 2004)

El modelo adecuado para pendientes con altura limitada en relación al espesor de la capa de suelo inestable, es menos conservadora que la hipótesis de falla de talud infinito. Se basa en la falla plana paralela a la pendiente del talud, aplicando la desintegración en cuñas inestables, de este modo

considerando el efecto de la altura del talud. Pero al igual que el modelo de talud infinito, supone que la malla ejerce una presión en el suelo evitando el deslizamiento.

Considera el análisis de equilibrio límite y se aplica el criterio de falla de Coulomb, al igual que los modelos anteriores.

En este modelo, la capa de suelo inestable paralela al talud con un espesor d se divide en una serie de cuñas de tamaño s (determinado por la distancia de anclaje), que definen planos de deslizamiento en un ángulo λ con respecto a la superficie de la pendiente.

Ambas dimensiones de cuña, d y s , deben definirse al comienzo de los cálculos.

De este modo, establecer el equilibrio de fuerzas de la cresta hasta la el pie de la pendiente, entre un bloque superior y la cuña inferior.

En el primer paso del cálculo y como se observa en la figura B2, el bloque A está formado solo por la cuña 1 y el bloque B por la cuña 2 ($i + 1$ cuñas). Por lo tanto, para la iteración i , el bloque A está formado por i cuñas y el bloque B por cuña $i+1$. Los bloques están sometidos a sus correspondientes fuerzas, de forma que estableciendo el equilibrio de ambos, se obtiene el valor de la presión p que es necesario que actúe sobre el bloque B. Se establecen 4 ecuaciones, 2 ecuaciones por bloque, teniendo en cuenta el equilibrio de fuerzas en dos direcciones normales (deslizamiento de la superficie y su perpendicular) y deben ser resueltas 4 incógnitas: N'_1 , N'_2 , N'_3 y p_i . El índice * significa que el parámetro se divide por el factor de seguridad. La presencia de agua se considera, por lo tanto, las fuerzas normales y de corte en el suelo se expresan en presiones efectivas, siendo U_1 , U_2 y U_3 fuerzas de presión de agua.

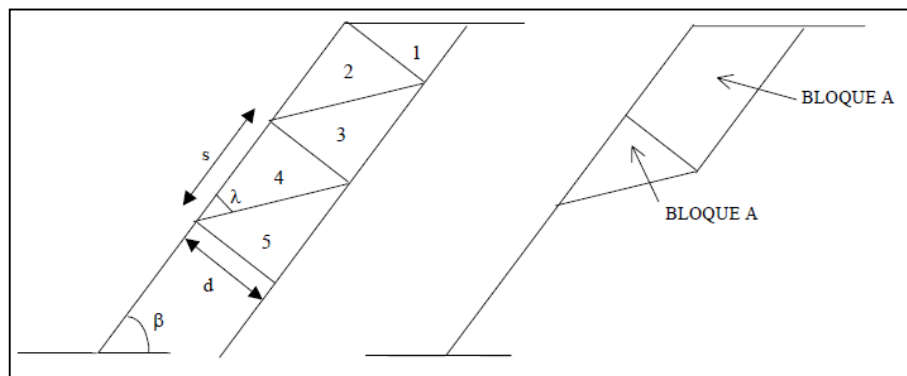


Figura B2. Talud en cuñas (Blanco, Castro, Del Coz Díaz, & Lopez, 2011)

Suponiendo que las reacciones N'_1 , N'_2 , N'_3 son positivas, la presión (p_i) es la necesaria para estabilizar el bloque B. Si se obtiene un valor negativo de cualquier reacción ($N'_n < 0$), las

ecuaciones de fuerza deben ser recalculadas suponiendo $N'_n = 0$, y dejando el correspondiente factor de seguridad libre para resolver una ecuación compatible del sistema.

A continuación se muestran las ecuaciones asociadas a este modelo.

$$k = \frac{\sin \lambda + \cos \lambda \tan \phi^*}{\cos \lambda - \sin \lambda \tan \phi^*}$$

$$N'_1 = W_1 \cos \beta + s \sum_{j=1}^{j=i-1} p_j - c^* d - N'_2 \tan \phi^* - u_1$$

$$N'_2 = \frac{c^* \left(d \tan \phi^{**} - (i-1)s - \frac{d}{\tan \beta} \right) + W_1 (\sin \beta - \cos \beta \tan \phi^{**}) - s(\tan \phi^{**} + \tan \delta) \sum_{j=1}^{j=i-1} p_j + u_1 \tan \phi^{**} - u_2}{1 - (\tan \phi^{**})^2}$$

$$N'_3 = \frac{c^* (2d \tan \phi^{**} - s) + N'_2 (1 + \tan \phi^{**} \tan \delta) + W_2 (\sin \beta + \cos \beta \tan \delta) + u_2 - u_2 (\sin \delta + \cos \delta \tan \delta)}{(\sin \lambda + \cos \lambda \tan \phi^{**}) \left(1 + \frac{1}{k} \tan \delta \right)}$$

$$p_i = \frac{N'_2 (1 - k \tan \phi^{**}) + W_2 (\sin \beta - k \cos \beta) - c^* (s + 2kd) + u_3 (k \cos \lambda - \sin \lambda) + u_2}{s(k + \tan \delta)}$$

Para el diseño de la malla se debe considerar que el valor de p_i , aumentara con cada iteración, esto significa que es mayor al pie del talud.

B.4.- Modelo de talud en cuñas y bloques, para suelos (Castro & Ballester, 2005)

Propuesto para la selección del producto (Programa de dimensionamiento de redes de estabilización de taludes DRET), este modelo de fallas, es aplicable en suelos o rocas altamente erosionadas, considera una capa inestable paralela a la pendiente, excepto en el pie del talud, donde la fractura es en forma de cuña, por lo que el mecanismo es cinéticamente posible. Se visualiza en la figura B3, el esquema del modelo.

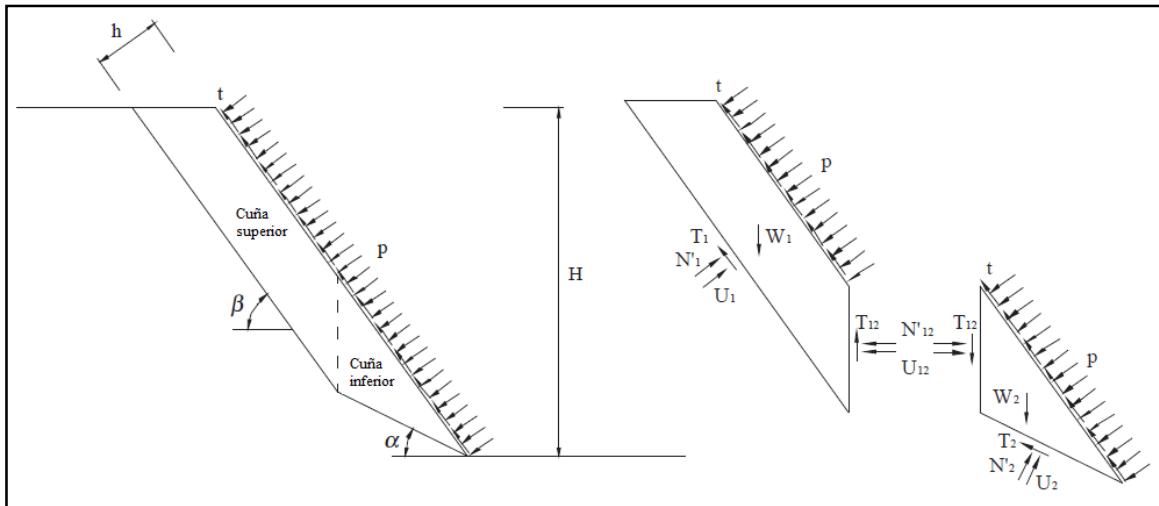


Figura B3. Esquema del modelo de talud en cuñas y bloques, para suelos. (Castro & Ballester, 2005)

El criterio de falla de Coulomb se aplica en el análisis de equilibrio límite, por lo tanto, es necesario conocer los parámetros del suelo (γ , ϕ , c), la profundidad de la capa inestable (h), la altura del talud (H), y el ángulo de deslizamiento de la cuña inferior (α).

Presiones normales y de corte (p y t) representan la contribución de la membrana para la estabilización del suelo, pero en este caso, t es también un desconocido.

Aplicando el criterio de falla de Coulomb y teniendo en cuenta la presencia de agua, las interacciones entre los bloques T_1 , T_{12} y T_2 son sustituidos por:

$$T_i = N'_i \frac{\tan \phi}{FoS} + \frac{cA_i}{FoS}$$

Donde A_i : es el área de cada superficie de deslizamiento.

FoS: el factor de seguridad para los parámetros de resistencia del suelo.

B.5.- Modelo de bloque y cuña entre pernos de anclaje, para suelos (Flum, Borgonovo, Frenez, & Guasti, 2004)

Modelo propuesto por una empresa, verifica la integridad de la malla. Basado en la hipótesis de que existe una capa superficial de suelo propenso a deslizamiento, donde pueden surgir cuñas de suelo limitadas por filas de pernos de anclaje. Se aplica el criterio de falla de Coulomb y un análisis de equilibrio límite.

Este mecanismo de inestabilidad local está formado por dos cuerpos, formado por un bloque (Body 1) y una cuña (Body 2), donde actúa P que representa la fuerza activa que debe tener la malla en dirección de los pernos de anclaje. La fuerza Z es una fuerza estabilizadora de pretensión en la

superficie del talud, pero solo aplica al cuerpo en forma de cuña y se supone que es un valor conocido.

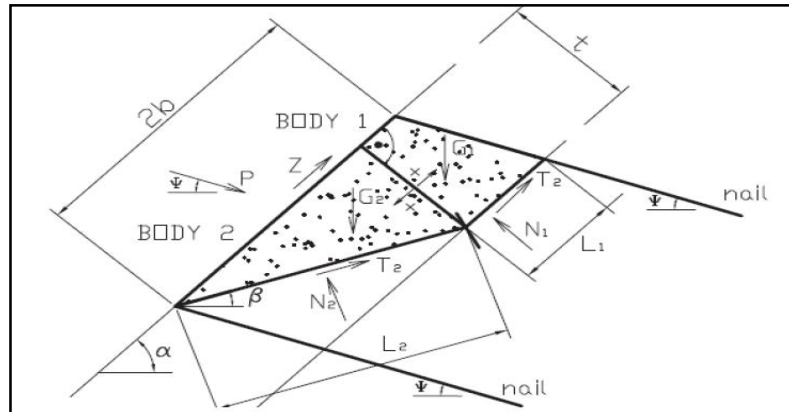


Figura B4. Modelo de bloque y cuña entre dos pernos de anclaje, para suelos (Blanco, Castro, Del Coz Díaz, & Lopez, 2011)

En vez de considerar un análisis estático en 2D con una anchura infinita, se considera un ancho específico de las cuñas, el cual no cambia por la influencia de la fuerza de pretensión en las placas. El parámetro F_M representa un factor de seguridad aplicado a la máxima fuerza de corte “T” en el cuerpo deslizando.

$$P = \frac{G_2 \left(\sin \beta - \cos \beta \frac{\tan \phi}{F_m} \right) + \left[G_1 \left(\sin \alpha - \cos \alpha \frac{\tan \phi}{F_m} \right) - \frac{c}{F_m} A_1 - Z \right] \left[\cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \frac{\tan \phi}{F_m} \right] - \frac{c}{F_m} A_2}{\cos(\beta + \psi) + \sin(\beta + \psi) \frac{\tan \phi}{F_m}}$$

B.6.- Modelo de bloque y cuña entre pernos de anclaje, para suelos (Castro, 2000)

Modelo propuesto en la tesis doctoral, se limita a suelo como a roca altamente meteorizada, con base en el criterio de falla de Coloumb y análisis de equilibrio límite.

Se considera un bloque superior estable y una cuña inferior, con igual longitud (l), ubicados entre dos líneas de pernos. Posee similitudes con el modelo del punto E, la diferencia radica que tanto cuña como el bloque, poseen igual longitud, por lo tanto no es necesario conocer previamente el espesor H de cuña y bloque. Con la hipótesis inicial, de que la superficie de bloque y cuña, son paralelos a la dirección del perno de anclaje. Además tampoco considera la fuerza Z (estabilizadora) del punto F.

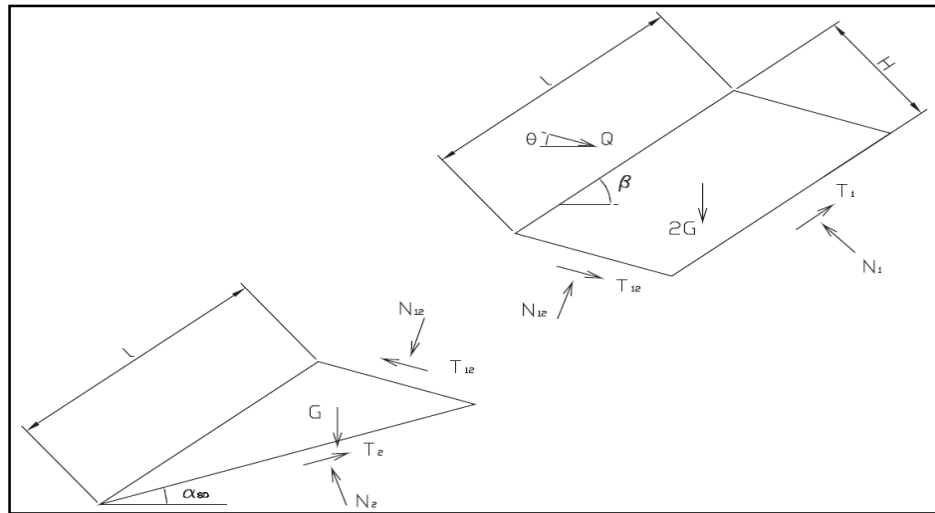


Figura B5. Modelo B de bloque y cuña entre dos pernos de anclaje (Castro, 2000)

Se supone que la membrana es capaz de ejercer una presión o fuerza uniforme sobre el suelo, de modo que impide el deslizamiento del bloque superior y la cuña inferior. Esta fuerza total (Q), concentrada sobre el centro de gravedad del bloque superior, que se asume igual a la fuerza aplicada por el perno al suelo. El ángulo θ representa el ángulo de anclaje de los pernos. G es el peso de la cuña inferior expresada en peso por unidad de ancho. Teniendo en cuenta el criterio de falla de Coulomb, las interacciones de corte T_i puede ser sustituido por $T_i = N_i \tan \phi + c l_i$, donde l_i es el área de la superficie de deslizamiento por unidad de ancho. Las presiones de agua no son consideradas, por lo tanto, las interacciones de corte entre el suelo son expresadas en presiones totales.

Si se resuelven las ecuaciones de los bloques, se puede encontrar Q, que depende de los parámetros k_i y α_{SD} . El valor obtenido Q_{max} se utiliza entonces para seleccionar el sistema flexible específico (membrana-pernos).

$$Q = \frac{2FG\{(\sin \beta - \cos \beta \tan \phi)[\cos(\beta - \alpha_{SD}) - \sin(\beta - \alpha_{SD})] - \cos \beta[\tan \phi \cos(\beta - \alpha_{SD}) + \sin(\beta - \alpha_{SD})]\} + \dots}{\tan \phi \sin(\theta + \alpha_{SD}) + \cos(\theta + \alpha_{SD}) + F \sin(\beta + \theta)[\sin(\beta - \alpha_{SD}) - \tan \phi \cos(\beta - \alpha_{SD})] + \dots}$$

$$\frac{\dots + FG \sin \alpha_{SD} - G \tan \phi \cos \alpha_{SD} + cl\{F[\tan \phi \sin(\beta - \alpha_{SD}) - \cos(\beta - \alpha_{SD})] - \sec(\beta - \alpha_{SD})\}}{\dots + F[\cos(\beta + \theta) + \sin(\beta + \theta) \tan \phi][\cos(\beta - \alpha_{SD}) - \sin(\beta - \alpha_{SD}) \tan \phi]}$$

ANEXO C.

C.1.- Inestabilidad paralelas al talud.

Para este tipo de inestabilidades se analizan los siguientes casos, para el diseño del sistema de estabilización superficial:

❖ **Caso estático.**

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo deslizante se mencionan a continuación. Tanto para este caso y para el caso para un sismo no se considera la presión hidrostática ni presión de flujo, por efecto de lluvia o saturación, ya que se consideran en el tercer caso.

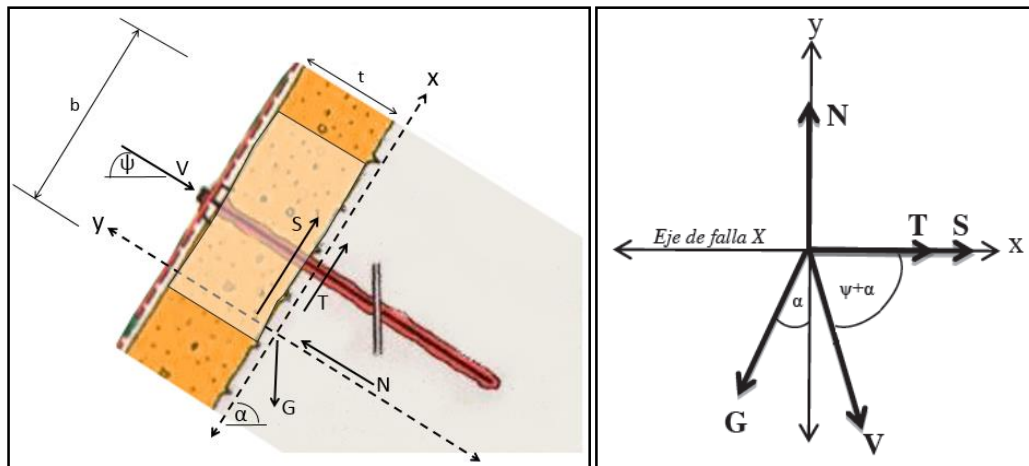


Figura C1. Esquema de las fuerzas actuantes y diagrama de cuerpo libre en caso estático, para inestabilidades paralelas al talud. (Fuente: Cabezas, 2013)

En la figura C1, G representa el peso muerto del cuerpo deslizante, T representa la tensión tangencial, según la falla de Coulomb y en este la cohesión como $c \cdot A$, así considerando la influencia de la cohesión a lo largo de la superficie de deslizamiento con un ángulo α . La fuerza V, es la pretensión del perno de anclaje, que ayuda a tensar la malla contra la cabeza del perno, con un ángulo ψ con respecto de la horizontal. Cabe mencionar que para todos los mecanismos deslizantes, el ángulo de inclinación del perno no es necesariamente perpendicular al deslizamiento. La fuerza S, representa una fuerza de corte traspasada por el perno y transferida a la capa estable de suelo. Las fuerzas de reacción N y T están aplicadas sobre la capa de suelo y actúan en dirección normal y tangencial con respecto al cuerpo deslizante.

Luego de resolver las ecuaciones, despejar las variables y aplicar el coeficiente de reducción, la fuerza cortante S, absorbida por el anclaje, es;

$$S = \frac{1}{\gamma_{mod}} \{ \gamma_{mod} G \sin \alpha - \gamma_{mod} V \cos(\psi + \alpha) - cA - [(G \cos \alpha + V \sin(\psi + \alpha)) \tan(\Phi)] \}$$

❖ **Caso para un sismo.**

Debido a que Chile, es un país sísmico, y más aun considerando en la zona en la que se encuentra Concepción (Zona 3, según NCh. 433 of.96 mod. 2011), se debe considerar la situación sísmica y los efectos a generar. Mediante, un análisis pseudoestatico equivalente actualmente usado en el diseño estructural.

Las aceleraciones que actúan sobre el cuerpo deslizando son representadas por dos factores k_h y k_v , y representan fuerzas en dirección horizontal y vertical respectivamente. Estas fuerzas adicionales deben ser debidamente consideradas en el equilibrio de fuerzas.

En general para las pendientes pronunciadas es necesario modelar el suelo como un bloque de roca, como muestra la figura C2, donde se observan las fuerzas adicionales producto de un terremoto.

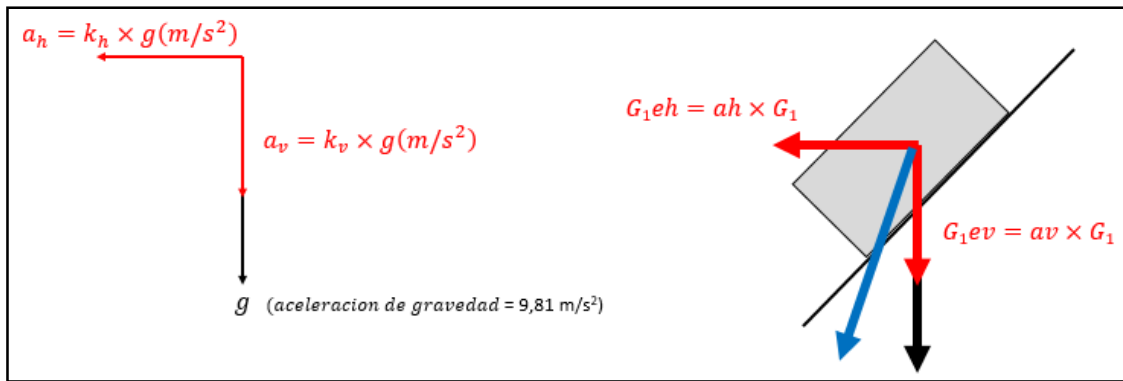


Figura C2. Componentes de aceleración debido a un sismo (Fuente: Geobruigg, 2011)

Al igual que en el caso estático, es necesario el cálculo de la fuerza de corte S , pero se consideran además las aceleraciones tanto vertical como horizontal y la gravedad. De este modo, finalmente:

$$S = (1 + a_v)G \sin \alpha + a_h G \cos \alpha - V \cos(\psi + \alpha) - \frac{[V \sin(\psi + \alpha) + (1 + a_v)G \cos \alpha - a_h G \sin \alpha] \tan \Phi + cA}{\gamma_{mod}}$$

❖ **Caso con un flujo paralelo al talud.**

Como se abordó en el punto 2.4.2, el agua es uno de los factores a considerar de forma importante en el talud. La presión de flujo paralela al talud, puede ser causada por factores como la lluvia, infiltración, aguas subterráneas, etc. Esta presión ejercida por un suelo saturado aumenta las posibilidades de deslizamiento.

Se destacan dos casos: infiltración por efecto de la lluvia y por efecto de las aguas subterráneas, asumiendo que el flujo paralelo al talud ocurre después de la saturación del suelo.

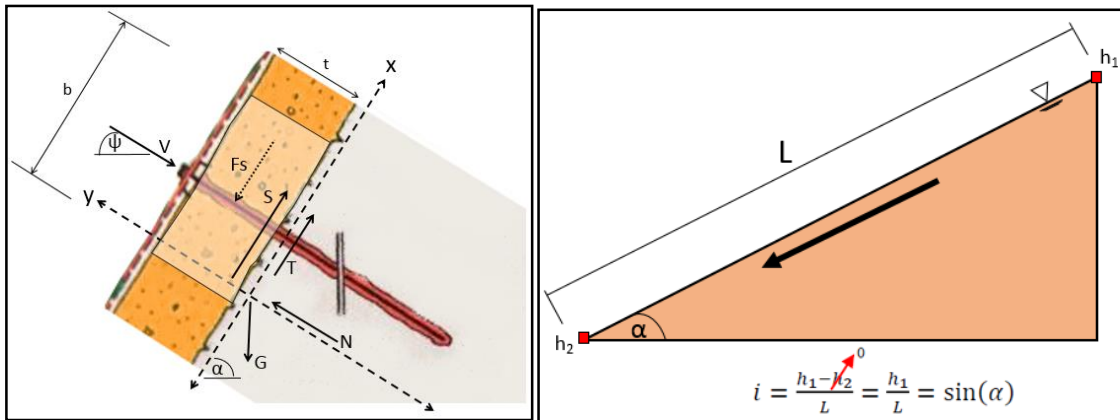


Figura C3. Esquema de fuerzas actuantes para flujo paralelo al talud, para inestabilidades paralelas al talud. /
 Figura C4. Diagrama del gradiente del flujo. (Fuente: Cabezas, 2013)

Para encontrar la fuerza de corte S , es necesario considerar para el equilibrio de fuerzas, una nueva fuerza F_s , resultado del flujo paralelo al talud y que depende de la distancia horizontal (a) y vertical (b) entre los pernos, el peso unitario del agua, el ángulo del talud y espesor del estrato en estudio. Por lo tanto la fuerza de un flujo paralelo al talud es:

$$F_s = \gamma_w i a b t = \gamma_w \sin(\alpha) a b t$$

Finalmente la fuerza de corte S es:

$$S = G \sin \alpha - V \cos(\psi + \alpha) + F_s - \frac{[V \sin(\psi + \alpha) + G \cos \alpha] \tan \phi + cA}{\gamma_{mod}}$$

C.2.- Inestabilidades locales entre pernos de anclaje.

En primer lugar, respecto a la pretensión, la malla es pretensada con la misma fuerza V , que en las inestabilidades superficiales paralelas, que se ajusta con el perno.

Al aplicar la pretensión se genera un cono de presión en la capa de suelo, bajo la placa de fijación y la malla. Este cono es descrito por parámetros geométricos, tipología de la malla, tipo de suelo, etc. Pero, Yang (2006) ofrece una simplificación a este problema, como se muestra en la fig. 12.

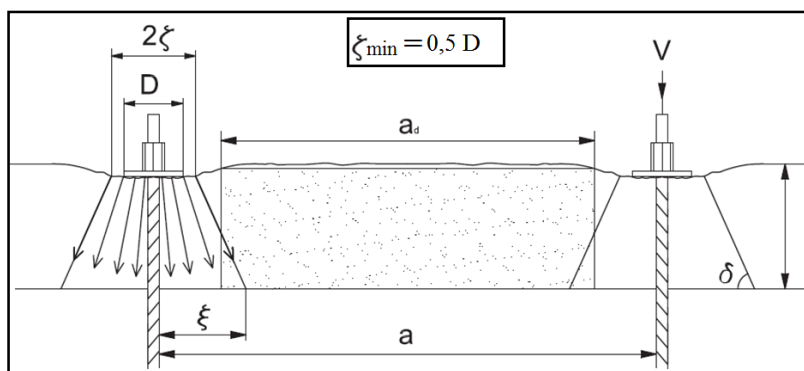


Figura C5. Ancho de cuña inestable (Fuente: Yang, 2006).

Se debe considerar que el cono de presión se encuentra fuera del área de falla, esto significa que la sección máxima transversal susceptible a fallar es trapezoidal y tiene un ancho de $a - 2\xi$, como se muestra en la figura 12. Si se simplifica, se considera como un rectángulo con altura t y ancho (a_{red}), donde:

$$a_{red} = a - \frac{t}{\tan \delta} - 2\xi$$

Los casos (estático, sísmico y con un flujo) para ambos mecanismo de falla A y B, se explican a continuación:

❖ **Caso estático, mecanismo de falla A.**

En este mecanismo de falla, el cuerpo deslizante tiene forma de cuña con un ancho (a_{red}) y tienen un ángulo β respecto a la horizontal. Al igual que para las inestabilidades paralelas al talud, no se consideraran las presiones ejercidas por el agua. Donde el peso del cuerpo se expresa como (G) y la cohesión a lo largo de la superficie de falla como $c \cdot A$.

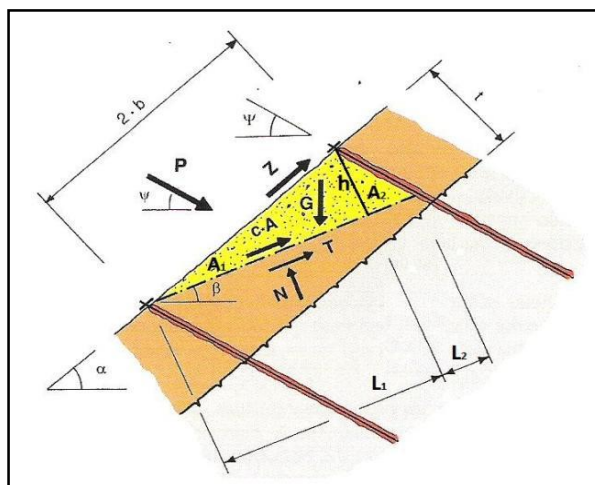


Figura C6. Mecanismo de falla A. (Fuente: Geobruigg, 2011)

En la figura 13, se consideran las fuerzas P y Z, que ayudan a la estabilización. Se asume que el cuerpo tiende a deslizarse hacia abajo y es parcialmente retenido por la fricción de la malla contra el suelo, las que se distribuyen en la superficie $2b \cdot a_{red}$, donde $2b=L$.

La fuerza Z, es la reacción resultante de lo anterior, con dirección contraria al deslizamiento, la que se transmitirá a través de la malla hasta el perno. En tanto, la fuerza P, se describe como una fuerza general necesaria para que el sistema esté en equilibrio y el talud estable, esta fuerza tiene un ángulo de inclinación ψ con respecto al plano horizontal.

Del mismo modo, que en los casos anteriores, se lleva a cabo el equilibrio de fuerzas, considerando el criterio de falla de coulomb y el coeficiente de reducción, la ecuación resultante es:

$$P = \frac{G[\gamma_{mod} \sin \beta - \cos \beta \tan \phi] - Z[\gamma_{mod} \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \tan \phi] - cA}{\gamma_{mod} \cos(\beta + \psi) + \sin(\beta + \psi) \tan \phi}$$

La Fuerza máxima P se determina por la variación del ángulo de la inclinación de la superficie de deslizamiento β .

❖ **Caso estático, mecanismo de falla B.**

Este mecanismo, se caracteriza debido a que posee dos cuerpos susceptibles al deslizamiento, uno superior en forma trapezoidal (cuerpo 1) y uno inferior en forma de cuña (cuerpo 2), que generan una fuerza X. Al igual que el caso anterior no se considera la presión ejercida por el agua. Debido a que se consideran dos cuerpos, existirán se generaran dos cohesiones y sus respectivas áreas de deslizamiento.

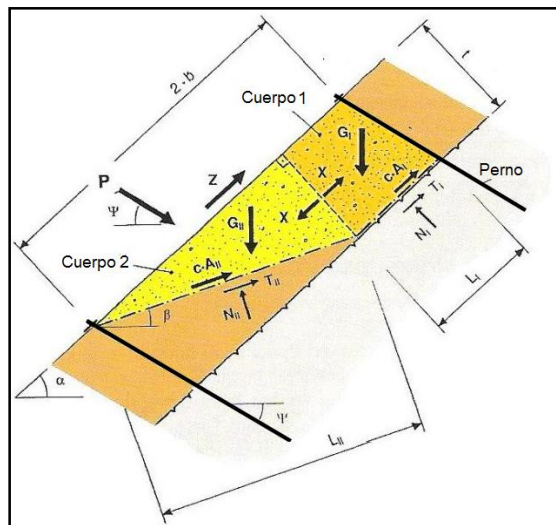


Figura C7. Mecanismo de falla B. (Fuente: Geobruigg, 2011)

Al igual que en el caso anterior, se consideran las fuerzas P y Z, pero estas en este caso actúan sobre el cuerpo 2. Además, se considera una fuerza de contacto (X), derivado de la condición de equilibrio del cuerpo 1, por lo tanto:

$$P = \frac{G_2[\gamma_{mod} \sin \beta - \cos \beta \tan \phi] + (X-Z)[\gamma_{mod} \cos(\alpha-\beta) - \sin(\alpha-\beta) \tan \phi] - cA_2}{\gamma_{mod} \cos(\beta+\psi) + \sin(\beta+\psi) \tan \phi}$$

Además:

$$X = \frac{1}{\gamma_{mod}} [G_1(\gamma_{mod} \sin \alpha - \cos \alpha \tan \phi) - cA_1]$$

❖ **Caso para un sismo, mecanismo de falla A.**

Es similar al caso estático, con este mismo mecanismo de falla, pero difieren debido a que para este caso se consideraran las aceleraciones a_h y a_v , que consideran de esta forma el efecto del sismo.

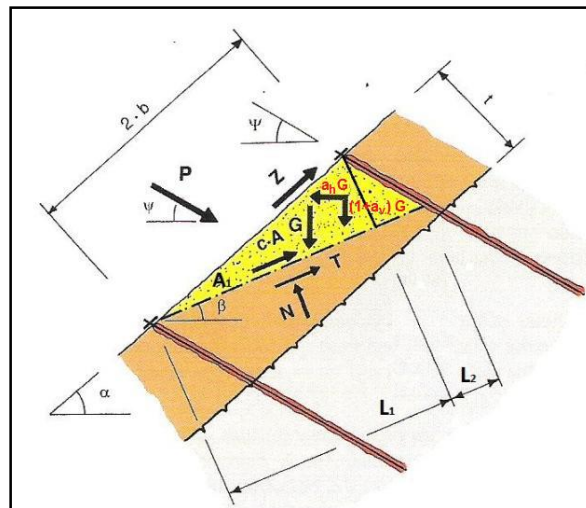


Figura C8. Esquema de fuerzas aplicadas en el mecanismo de falla A, para efecto de un sismo. (Fuente: Geobruigg, 2011)

Resolviendo el equilibrio de fuerzas y aplicando los factores de reducción, se obtiene:

$$P = \frac{(1+a_v)G \sin \beta + a_h G \cos \beta - Z \cos(\alpha-\beta) - \frac{[(1+a_v)G \cos \beta - a_h G \sin \beta - Z \sin(\alpha-\beta)] \tan \phi + cA}{\gamma_{mod}}}{\cos(\psi+\beta) + \sin(\psi+\beta) \frac{\tan \phi}{\gamma_{mod}}}$$

❖ **Caso para un sismo, mecanismo de falla B.**

En este mecanismo, se agregan las fuerzas adicionales efecto de la carga sísmica, para cada cuerpo deslizando. Es necesario el cálculo de la fuerza de retención P y la fuerza de contacto X. Cabe recalcar que el mecanismo que tenga la máxima retención P, será el a considerar.

A continuación tenemos el esquema de fuerzas.

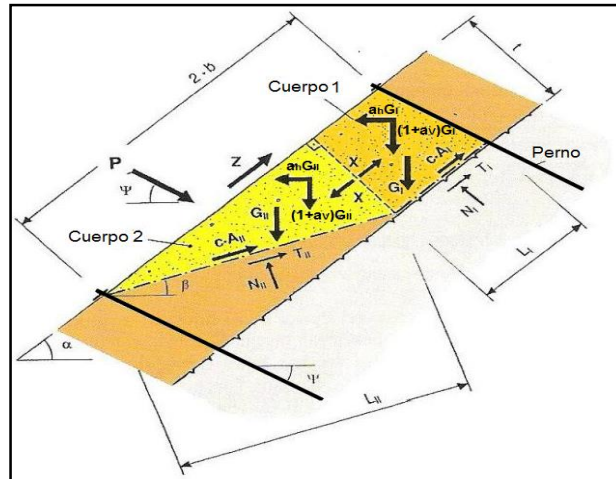


Figura C9. Esquema de fuerzas aplicadas en el mecanismo de falla B, para efecto de un sismo. (Fuente: Geobruigg, 2011)

De la misma forma de los casos anteriores, se despejan las variables necesarias, dando lo siguiente:

$$P = \frac{(1+a_v)G_2 \sin \beta + a_h G_2 \cos \beta + (X-Z) \cos(\alpha-\beta) - [(1+a_v)G_2 \cos \beta + a_h G_2 \sin \beta - (X-Z) \sin(\alpha-\beta)] \tan \phi + cA_2}{\cos(\beta+\psi) + \sin(\beta+\psi) \frac{\tan \phi}{\gamma_{mod}}}$$

$$X = (1+a_v)G_1 \sin \alpha + a_h G_1 \cos \alpha - \frac{[(1+a_v)G_1 \cos \alpha - a_h G_1 \sin \alpha] \tan \phi + cA_1}{\gamma_{mod}}$$

❖ **Caso con un flujo paralelo al talud, mecanismo de falla A.**

Para este caso, se considera el mecanismo de falla A, estático y agregamos la fuerza del flujo F_s . Donde la fuerza P máxima se determina variando el ángulo de la superficie de deslizamiento.

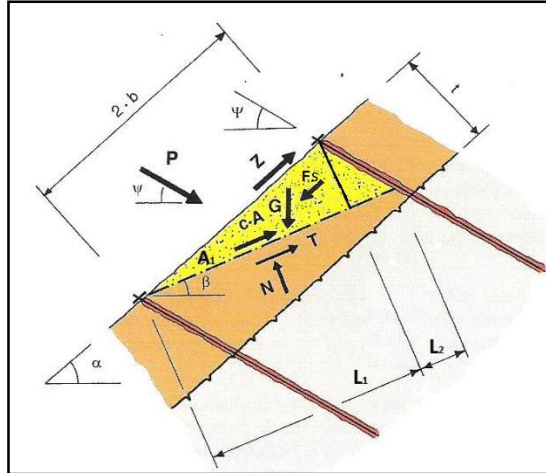


Figura C10. Esquema de fuerzas aplicadas en el mecanismo de falla A, para un flujo paralelo al talud (Fuente: Geobrugg, 2011)

Despejando la fuerza estabilizadora P , del equilibrio de fuerza:

$$P = \frac{F_s \cdot \cos(\alpha - \beta) + G \cdot \sin \beta - Z \cdot \cos(\alpha - \beta) - \frac{[G \cdot \cos \beta - Z \cdot \sin(\alpha - \beta) + F_s \cdot \sin(\alpha - \beta)] \cdot \tan \phi + c \cdot A}{\gamma_{mod}}}{\cos(\psi + \beta) + \sin(\psi + \beta) \cdot \frac{\tan \phi}{\gamma_{mod}}}$$

❖ **Caso con un flujo paralelo al talud, mecanismo de falla B.**

Conforme al equilibrio de fuerzas, la fuerza de contacto (X) en el cuerpo (1), cambia por efecto de la fuerza del flujo paralela al talud (F_{s1}), además de que el peso muerto (G), se reduce debido a la fuerza boyante generada por el flujo.

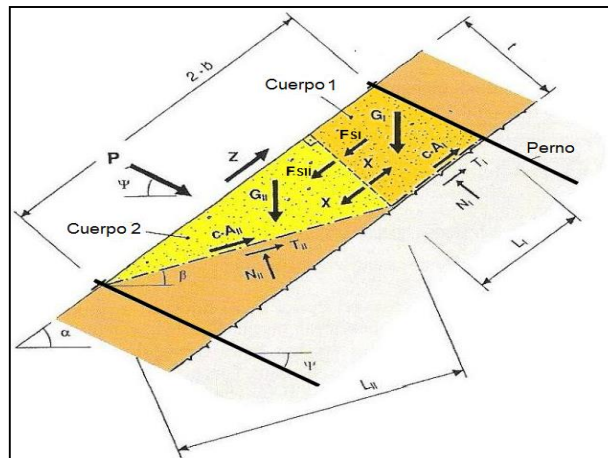


Figura C11. Esquema de fuerzas aplicadas en el mecanismo de falla B, para un flujo paralelo al talud. (Fuente: Geobrugg, 2011)

A través del equilibrio de fuerzas, factores de reducción y el criterio de falla de coulomb, se despeja lo siguiente:

$$X = F_{s,I} + G_1 \cdot \sin \alpha - \frac{G_1 \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi + c \cdot A_1}{\gamma_{mod}}$$

$$P = \frac{G_2 \cdot \sin \beta + (X + F_{s,II} - Z) \cdot \cos(\alpha - \beta) - \frac{[G_2 \cdot \cos \beta + (X + F_{s,II} - Z) \cdot \sin(\alpha - \beta)] \cdot \tan(\phi) + c \cdot A_2}{\gamma_{mod}}}{\cos(\beta + \psi) + \sin(\beta + \psi) \frac{\tan(\phi)}{\gamma_{mod}}}$$

ANEXO D.

D.1.- Verificación de la resistencia del anclaje debido al deslizamiento superficial y paralelo al talud.

$$S_d \leq \frac{S_R}{\gamma_{SR}} \quad S_R = \tau_y \cdot A \quad \text{Con } \tau_y = \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

Donde:

S_d : es el valor máximo de la resistencia calculada necesaria, del anclaje, para que no ocurra el desplazamiento.

S_R : es el valor de la resistencia límite de corte del perno de anclaje.

f_y : es el punto de fluencia bajo esfuerzos de tracción del perno de anclaje.

A : es el área de la sección transversal efectiva del perno de anclaje.

γ_{SR} : Es un factor de corrección basado en el Eurocódigo 7, para el cual se asume generalmente un valor de 1,5.

D.2.- Verificación de la resistencia de la malla contra el punzonamiento.

$$V_{dII} \leq \frac{D_R}{\gamma_{DR}}$$

V_{dII} : es el valor de la fuerza de pretensión aplicada al perno de anclaje.

D_R : es el valor de la resistencia al punzonamiento límite de la malla, según especificaciones.

γ_{SR} : es un factor de corrección de la resistencia, para el cual se asume generalmente un valor de 1,5.

D.3.- Verificación de la resistencia del anclaje ante la combinación de otras fuerzas.

$$\sqrt{\left(\frac{V_{dII}}{\left(\frac{T_R}{\gamma_{VR}}\right)}\right)^2 + \left(\frac{S_d}{\left(\frac{S_R}{\gamma_{SR}}\right)}\right)^2} \leq 1,0 \quad \left(\left[\frac{P_d}{\left(\frac{T_R}{F-p}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S}{\left(\frac{S_R}{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right)^{0,5} \leq 1,0$$

Donde:

T_R : es la capacidad que resiste el perno de anclaje a tensión pura. $T_r = f_y \cdot A$

γ_{VR} : es un factor de corrección basado en el Eurocódigo 7, para el cual se asume generalmente un valor de 1,5

D.4.- Verificación de la resistencia de la malla al corte en el borde superior de la placa de fijación.

$$P_d \leq \frac{P_R}{\gamma_{PR}}$$

Donde:

P_R : es la capacidad de resistencia cortante de la malla, según especificaciones.

P_d : es el valor máximo de la resistencia calculada necesaria para que no ocurra el desplazamiento de la malla.

γ_{PR} : es un factor de reducción de la resistencia, para el cual se asume generalmente un valor de 1,5.

D.5.- Verificación de la resistencia de la malla a la transmisión selectiva de la fuerza Z paralela al talud sobre el perno de anclaje superior

$$Z_d \leq \frac{Z_R}{\gamma_{ZR}}$$

Donde:

Z_R : es la capacidad de resistencia a la sollicitación puntual paralela al talud, según especificaciones.

Z_d : es el valor de la fuerza Z paralela al talud.

γ_{ZR} : es un factor de reducción de la resistencia, para el cual se asume generalmente un valor de 1,5.

ANEXO E.

E1. TABLAS DE ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE FACTORES.

TABLA E1.- Influencia de la inclinación del talud en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

INCLINACIÓN (°)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
45	25,26	71,06	45,34	-7,51	6,94	25,43	35,27	1,74	61,50	25,26	71,06	0	61,50	0,46	1,30
48	30,25	76,24	49,26	-3,64	9,83	29,80	36,12	3,46	63,53	30,25	76,24	0	63,53	0,56	1,40
51	35,14	81,19	53,01	0,19	13,65	34,02	38,62	5,13	68,17	35,14	81,19	0,19	68,17	0,65	1,49
54	39,90	85,89	56,59	3,98	16,35	38,12	39,73	6,76	69,23	39,90	85,89	3,98	69,23	0,73	1,58
57	44,51	90,32	59,98	7,73	20,09	42,07	42,01	8,34	73,22	44,51	90,32	7,73	73,22	0,82	1,66
60	48,98	94,47	63,18	11,39	23,78	45,85	44,38	9,85	76,95	48,98	94,47	9,85	76,95	0,90	1,73
Δ	23,72	23,41	17,84	18,89	16,85	20,42	9,11	8,12	15,45						

TABLA E2.- Influencia de la fricción del suelo en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

FRICCIÓN (°)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
29	42,45	87,52	57,62	5,58	19,07	42,15	45,90	6,55	75,24	42,45	87,52	5,58	75,24	0,78	1,61
32	38,33	84,35	55,42	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	38,33	84,35	2,72	67,84	0,70	1,55
35	33,92	80,97	53,07	0,17	12,54	31,90	34,39	5,93	64,11	33,92	80,97	0,17	64,11	0,62	1,49
Δ	-8,53	-6,55	-4,54	-5,40	-6,53	-10,25	-11,52	-0,62	-11,13						

TABLA E3.- Influencia del peso específico natural en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

Yd Nat (KN/M3)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
13	31,76	71,65	48,85	-0,60	10,35	28,97	31,67	5,41	62,92	31,76	71,65	0	62,92	0,58	1,32
15	38,33	84,35	55,42	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	38,33	84,35	2,72	67,84	0,70	1,55
17	44,89	97,05	61,98	6,09	21,14	44,61	47,65	7,04	76,23	44,89	97,05	6,09	76,23	0,82	1,78
Δ	13,13	25,40	13,13	6,68	10,79	15,64	15,99	1,64	13,31						

TABLA E4.- Influencia de la inclinación del anclaje en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

INCLINACIÓN ANCLAJE (°)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
7	27,79	73,81	44,88	2,26	10,39	24,12	26,43	9,65	47,95	27,79	73,81	2,26	47,95	0,51	1,36
22	32,49	78,51	49,58	2,34	12,21	28,02	31,27	8,49	55,12	32,49	78,51	2,34	55,12	0,60	1,44
37	38,33	84,35	55,42	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	38,33	84,35	2,72	67,84	0,70	1,55
52	44,91	90,93	62,00	3,94	24,78	61,41	60,52	0,71	106,29	44,91	90,93	0,71	106,29	0,82	1,67
67	51,79	97,81	68,88	584,94	4207,44	1554,33	341,30	962,27	1974,04	51,79	97,81	341,3	4207,44	0,95	1,80
Δ	24,00	24,00	24,00	582,69	4197,05	1530,21	314,86	952,62	1926,08						
Δ Corregida	17,12	17,12	17,12	2,37	14,39	39,02	34,09	-8,80	58,34						

INCLINACIÓN ANCLAJE	7	22	37	52	67
RESPECTO AL ANGULO DEL TALUD	120	105	90	75	60

TABLA E5.- Influencia de la inclinación del anclaje en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

SEPARACIÓN (M) (A-B)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
1,5-1,5	6,82	23,39	12,97	-14,99	-3,80	-10,39	-5,43	-2,18	-3,80	6,82	23,39	0	0	0,13	0,43
1,5-2,5	18,63	46,25	28,89	-14,98	-3,94	-3,48	5,67	4,52	15,29	18,63	46,25	0	15,29	0,34	0,85
1,5-3,5	30,45	69,11	44,81	-11,21	2,38	6,02	20,56	11,98	38,19	30,45	69,11	0	38,19	0,56	1,27
2,5-1,5	18,63	46,25	28,89	-8,90	0,79	8,45	13,45	-1,69	26,29	18,63	46,25	0	26,29	0,34	0,85
2,5-2,5	38,33	84,35	55,42	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	38,33	84,35	2,72	67,84	0,70	1,55
2,5-3,5	58,02	122,45	81,95	18,07	34,98	69,99	69,17	14,79	115,29	58,02	122,45	14,79	115,29	1,07	2,25
3,5-1,5	30,45	69,11	44,81	-2,21	14,88	28,00	36,79	-1,19	60,88	30,45	69,11	0	60,88	0,56	1,27
3,5-2,5	58,02	122,45	81,95	21,30	40,51	83,36	78,49	7,93	130,24	58,02	122,45	7,93	130,24	1,07	2,25
3,5-3,5	85,59	175,80	119,09	51,41	71,47	146,82	125,43	17,61	202,66	85,59	175,80	17,61	202,66	1,57	3,23
Δ	78,77	152,41	106,12	66,41	75,27	157,21	130,87	19,79	206,46						

TABLA E6.- Influencia de la cohesión en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

COHESIÓN (KN/M2)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
8	1,96	47,99	19,05	-53,47	-12,95	-19,48	-21,46	-63,12	2,51	1,96	47,99	0	2,51	0,04	0,88
15	-29,86	16,17	-12,76	-102,01	-20,88	-68,02	-44,69	-123,79	-25,12	0	16,17	0	0	NO	0,30
25	-75,31	-29,29	-58,22	-171,35	-32,20	-137,36	-77,87	-210,47	-39,27	0	0	0	0	NO	NO

TABLA E7.- Influencia de la pre-tensión en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

PRETENSIÓN (KN)	PARALELA AL TALUD			LOCALES ENTRE PERNOS DE ANCLAJE						S min	S max	P min	P max	L min	L max
	S ESTÁTICO	S SISMO	S FLUJO	P ESTÁTICO A	P ESTÁTICO B	P SISMO A	P SISMO B	P FLUJO A	P FLUJO B						
30	38,33	84,35	55,42	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	38,33	84,35	2,72	67,84	0,70	1,55
40	34,69	80,71	51,78	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	34,69	80,71	2,72	67,84	0,64	1,48
50	31,05	77,08	48,15	2,72	15,10	36,76	38,93	6,22	67,84	31,05	77,08	2,72	67,84	0,57	1,42

E2.- GRÁFICOS DE INFLUENCIA DE FACTORES.

GRAFICO E1 Y E2.- Influencia de la inclinación del talud en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

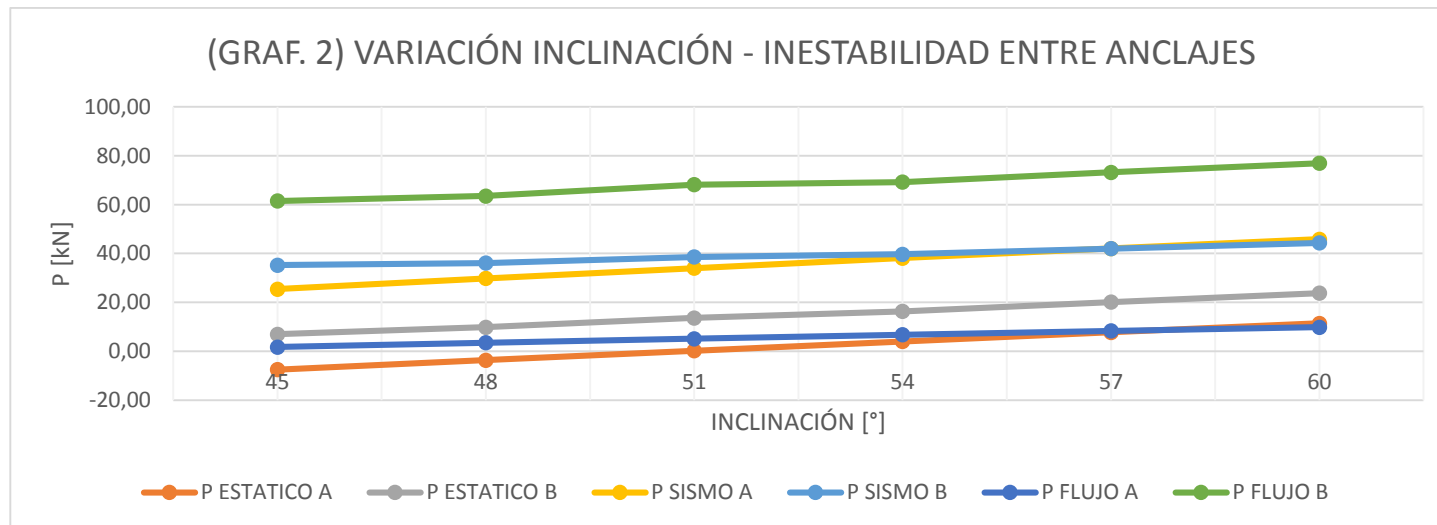
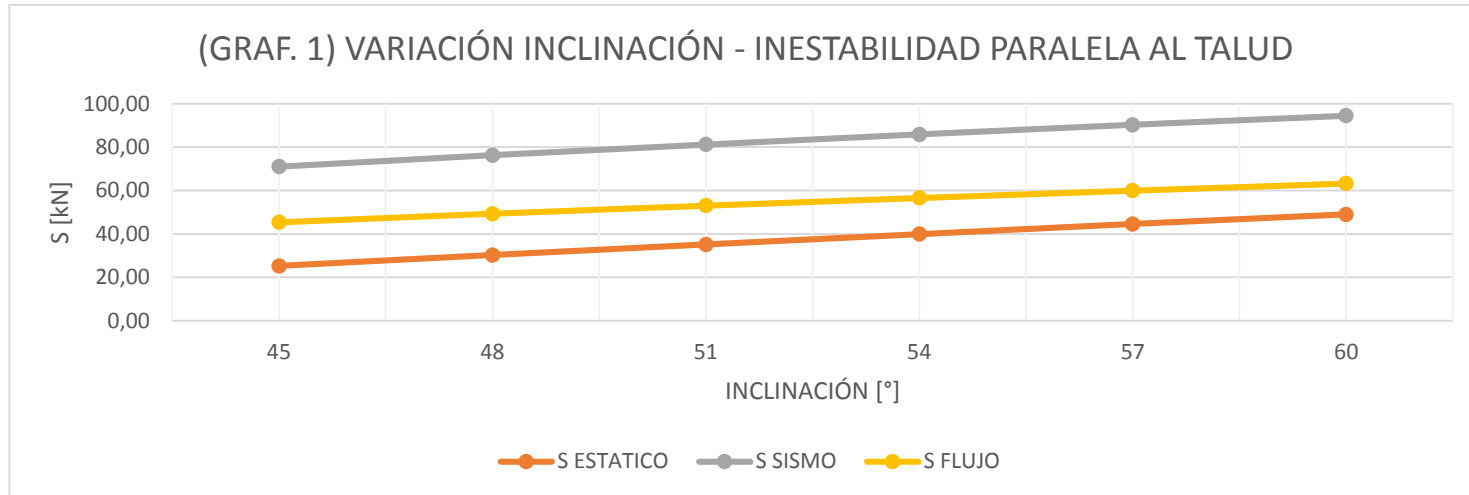


GRAFICO E3 Y E4.- Influencia de la fricción del suelo en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

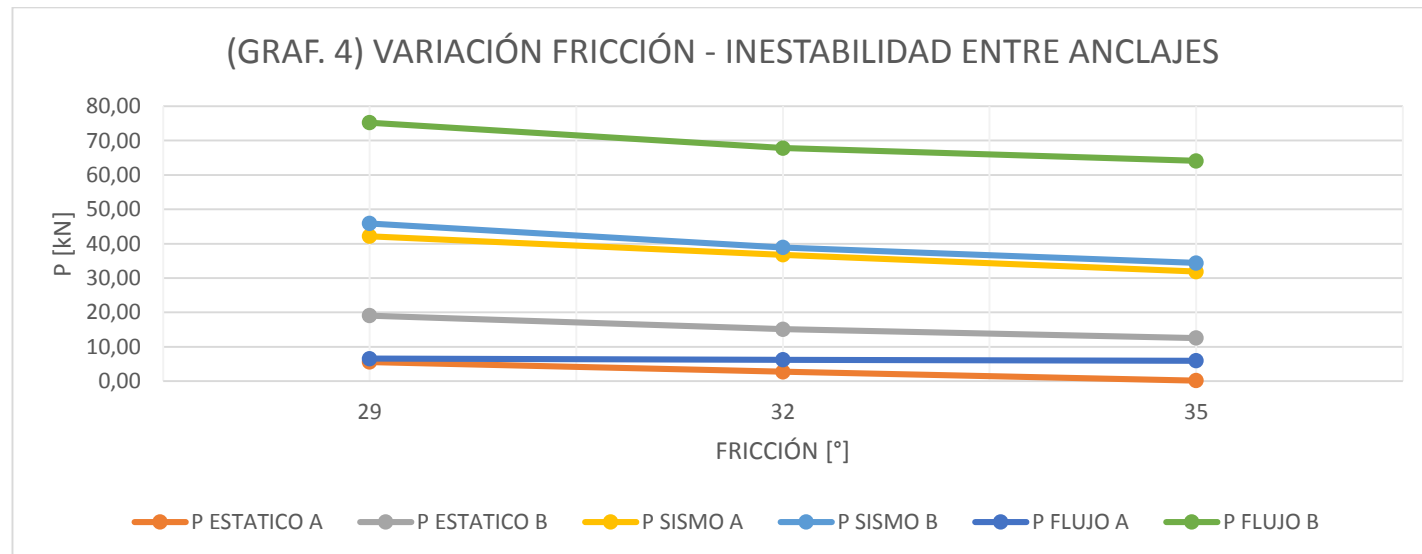
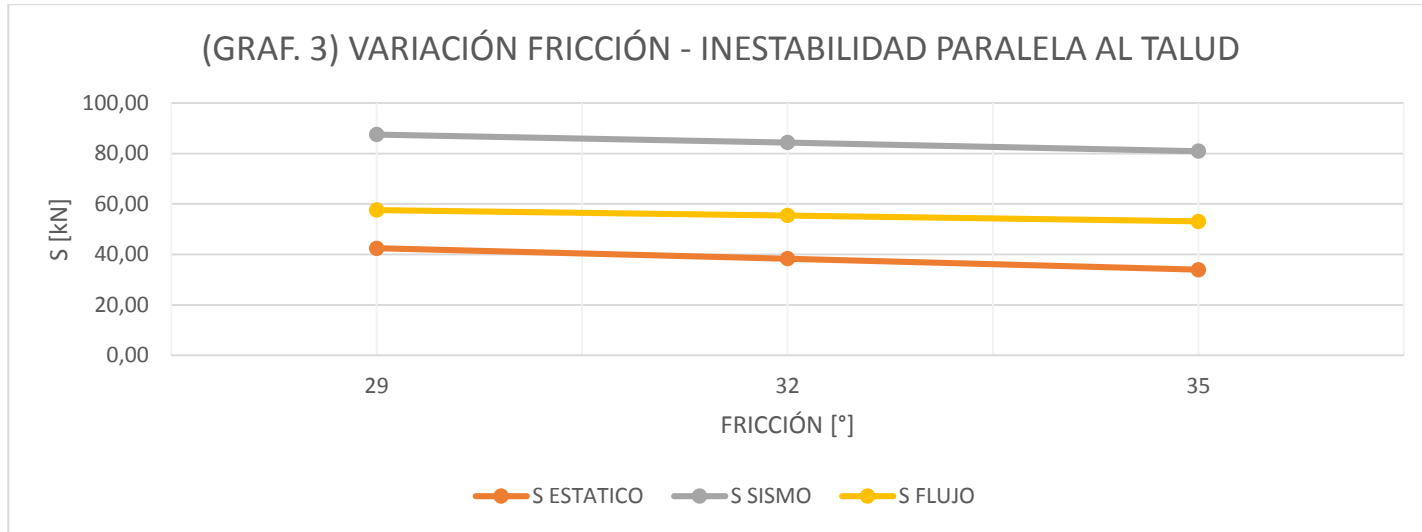


GRAFICO E5 Y E6.- Influencia del peso específico natural en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

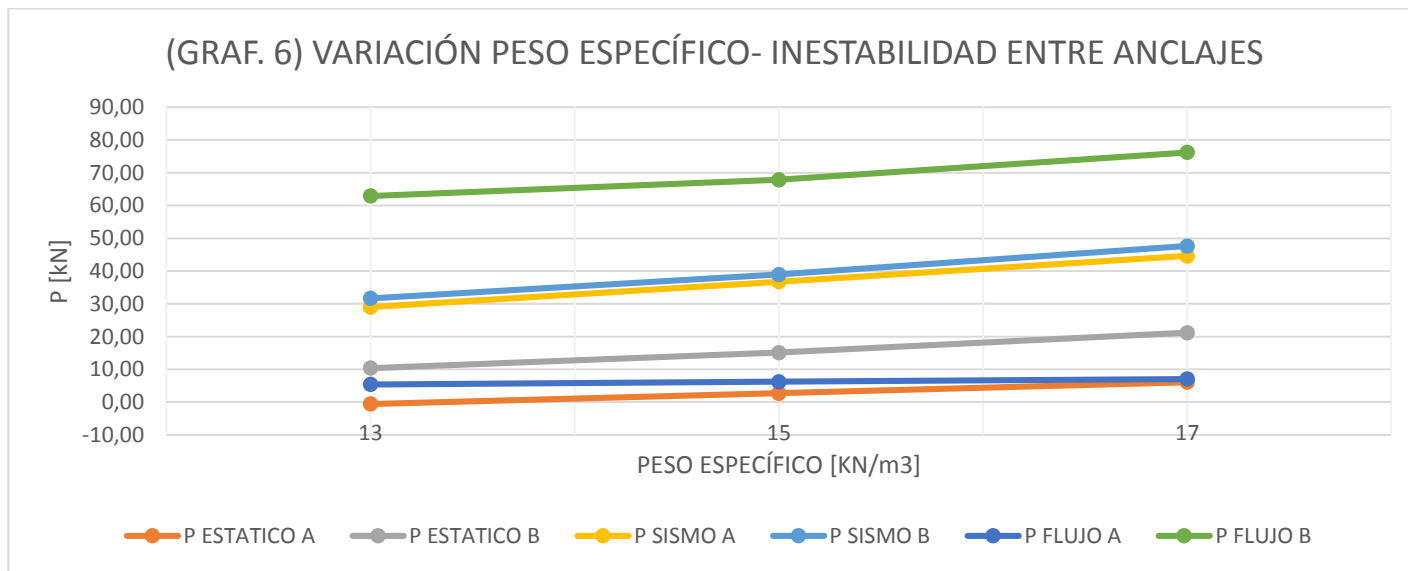
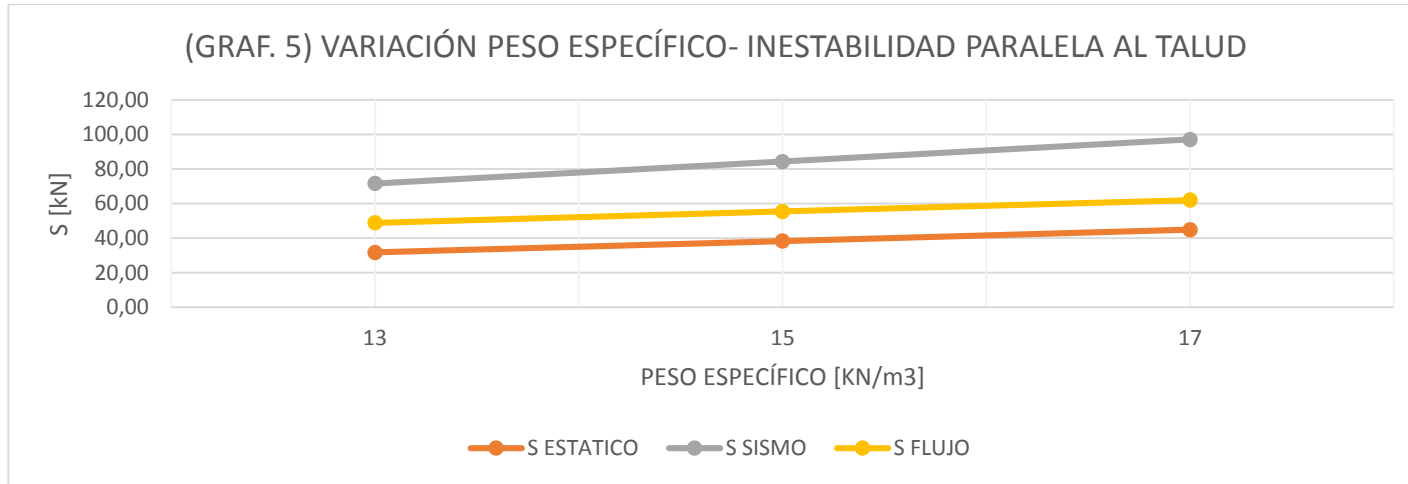


GRAFICO E7 Y E8.- Influencia de la inclinación del anclaje en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

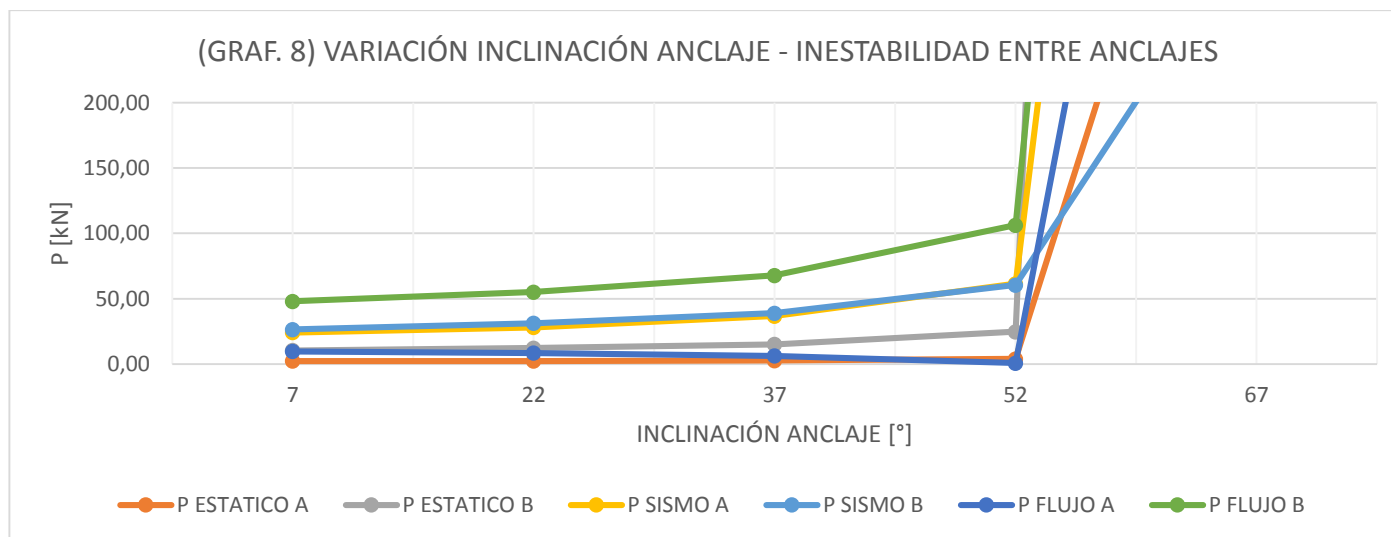
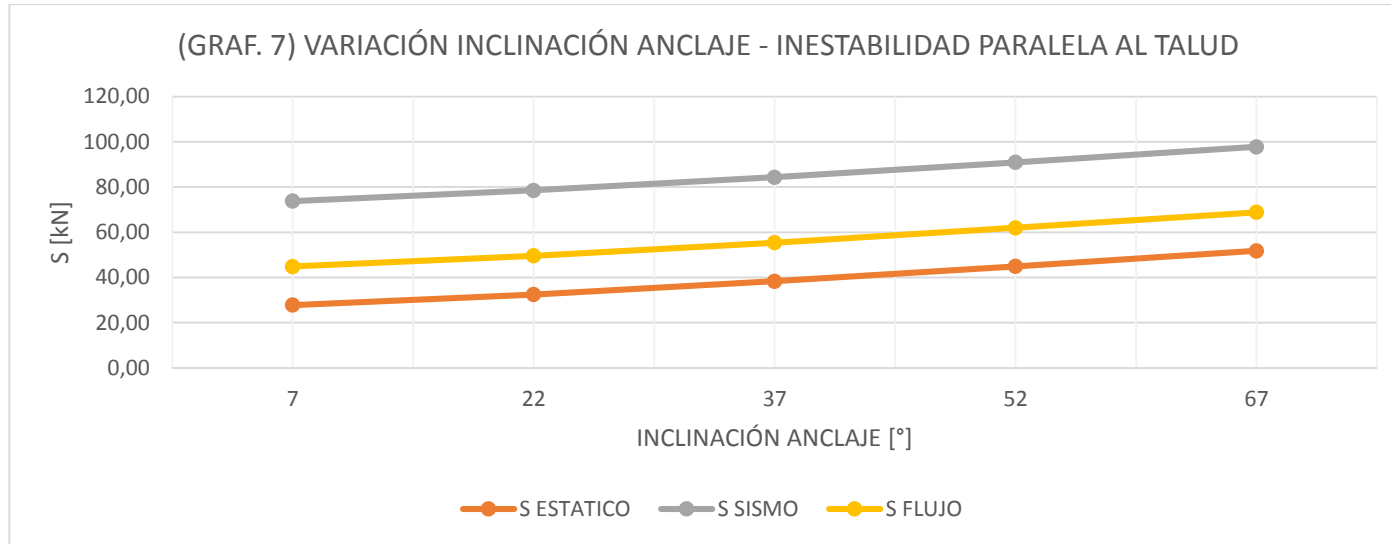


GRAFICO E9 Y E10.- Influencia de la inclinación del anclaje en los esfuerzos de los anclajes y malla, según la inestabilidad.

