

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**MODELO DE APLICACIONES TECNOLÓGICAS PARA  
LA PROTECCIÓN DE TALUDES VIALES  
DESESTABILIZADOS EN SUS COBERTURAS  
SUPERFICIALES POR EXCESO DE HUMEDAD EN EL  
MUNICIPIO DE PANCHIMALCO**

PRESENTADO POR:

**BORIS MOISÉS ORELLANA LÓPEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :  
(Interino)

**ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**MODELO DE APLICACIONES TECNOLÓGICAS PARA  
LA PROTECCIÓN DE TALUDES VIALES  
DESESTABILIZADOS EN SUS COBERTURAS  
SUPERFICIALES POR EXCESO DE HUMEDAD EN EL  
MUNICIPIO DE PANCHIMALCO**

Presentado por :

**BORIS MOISÉS ORELLANA LÓPEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA**

San Salvador, junio 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA**

## **AGRADECIMIENTOS**

El culminar uno de los objetivos de mi vida, me llena de satisfacción a nivel personal, lo cual ha requerido de muchos esfuerzos y sacrificios pero dicho objetivo no lo hubiera podido llevar a cabo sin el apoyo incondicional de muchas personas que de una u otra manera han estado presentes durante mi etapa de estudio, por eso de manera muy especial agradezco a:

Mi padre Wilfredo Orellana García; la persona que más ame en mi vida, a quien le debo quien soy y a lo que he llegado actualmente, a pesar que lastimosamente ya no está físicamente, sé que estaría muy feliz y orgulloso al verme culminar mis estudios.

A mis amigos más cercanos con los he compartido bastas experiencias y los cuales me han apoyado siempre.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	X
CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	1
ANTECEDENTES. ....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
OBJETIVOS: .....	5
A.  OBJETIVO GENERAL.....	5
B.  OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	6
A.  ALCANCES.....	6
B.  LIMITACIONES .....	6
JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
A.  FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
1.  TALUDES.....	8
2.  TIPOLOGÍA Y DESARROLLO DE LOS MOVIMIENTOS EN LOS SUELOS.....	11
3.  TIPOS DE MOVIMIENTOS.....	18
4.  FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES. ....	20
4.1 Factores Naturales.....	20
4.2 El Agua. ....	21
4.3 Sismicidad y Volcanismo. ....	21
4.4 Actividad Biológica. ....	22
4.5 Actividad Humana. ....	22
4.6 Excavaciones. ....	23
4.7 Sobrecargas. ....	23
5.  Reconocimientos generales localización de zonas inestables. ....	23
6.  Investigaciones de detalle.....	25
7.  Análisis de estabilidad de taludes.....	28
8.  Equilibrio límite y factor de seguridad .....	30
9.  Métodos de análisis.....	32
10. Prevención, estabilización y diseño. ....	32

11.	PREVENCIÓN DE RIESGOS .....	35
12.	Fundamentación legal .....	36
13.	Categorías fundamentales.....	37
14.	Hipótesis .....	37
15.	Señalamiento de variables.....	37
15.1	Variable Independiente:.....	37
15.2	Variables Dependientes:.....	37
A.	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
B.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	38
C.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	38
D.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	39
E.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	40
F.	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	40
	CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TALUD UBICADO EN RESIDENCIAL QUINTAS DORADAS.....	41
A.	EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.....	41
B.	FORMATO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.....	45
C.	GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL FORMATO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS. ....	47
1.	FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS .....	47
1.1	Inclinación del talud/ladera.....	47
1.2	Altura del talud/ladera.....	49
1.3	Antecedentes de deslizamientos.....	49
2.	FACTORES GEOTÉCNICOS. ....	50
2.1	Tipo de Material .....	50
3.	FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES .....	54
D.	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DEL TALUD EN ESTUDIO. ....	56
E.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN TALUD RESIDENCIAL “QUINTAS DORADAS”, MUNICIPIO DE PANCHIMALCO, SAN SALVADOR .....	59
F.	Análisis de Estabilidad haciendo uso del programa GEO5.....	61
	CAPÍTULO V: PROPUESTA DE DISEÑO Y ECONÓMICA .....	64

A.	DISEÑO CON MURO SOIL NAILING .....	64
1.	INTRODUCCIÓN AL SISTEMA SOIL NAILING .....	66
2.	APLICABILIDAD EN ESTE PROYECTO .....	66
3.	PARAMETROS DE DISEÑO .....	67
4.	PLANOS Y ESQUEMAS .....	75
	CAPÍTULO VI: PRESUPUESTO .....	78
	CONCLUSIONES .....	81
	RECOMENDACIONES.....	84
	BIBLIOGRAFÍA.....	88
	ANEXOS .....	90

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes. ....	35
Tabla 2.	Indicadores a tomar en cuenta para variables independientes .....	39
Tabla 3.	Indicadores a tomar en cuenta para variables dependientes .....	40
Tabla 4.	Formato técnico para la evaluación de taludes.....	46
Tabla 5.	Formato técnico para la evaluación de taludes tomando en específico el talud en estudio.....	60
Tabla 6.	Factores de seguridad basados en normativa salvadoreña .....	68
Tabla 7.	Longitudes efectivas de Nailing para construcción .....	75
Tabla 8.	Presupuesto para ejecución de obra.....	80

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Nomenclatura de taludes y laderas. ....	9
Ilustración 2.	Procesos de deterioro en macizos rocosos. ....	13
Ilustración 3.	Deslizamientos en suelos blandos.....	19
Ilustración 4.	Determinación de la pendiente de un talud en el campo. ....	48
Ilustración 5.	Esquema de dimensiones para cálculo de la altura de un talud/ladera en el campo. ....	49
Ilustración 6.	Componentes de las discontinuidades de un talud: buzamiento y línea de máxima pendiente.....	54
Ilustración 7.	Vista aérea de la zona del talud Residencial “Quintas Doradas” municipio de Panchimalco (tomado de Google earth).....	56
Ilustración 8.	A) Viviendas que se ubican al pie del talud y que reciben todo el material que se desprende desde el talud, corriendo el riesgo de ser soterradas. B) Pérdida de una porción de la vivienda mostrada debido a un deslizamiento ocurrido durante.....	57
Ilustración 9.	Fallas comunes de tierra blanca observadas en la Residencial: a) y b) Cárcavas o zanjas provocadas por la erosión, c) Exfoliación o caída por capas del	

material debido al intemperismo.....	58
Ilustración 10. Captura de pantalla de programa GEO5 donde se introdujeron parámetros de estudios de suelos. ....	62
Ilustración 11. Captura de pantalla de programa GEO5 donde se introdujeron los resultados del talud sin previo tratamiento. ....	63
Ilustración 12. Captura de pantalla con resumen de cálculos realizados para el dimensionamiento de Nailing.....	73
Ilustración 13. Plano de distribución de Nailing.....	76
Ilustración 14. Vista frontal y transversal de diseño.....	77

## INTRODUCCIÓN

La estabilización de taludes es un desafío común en la ingeniería civil y geotécnica, y en los últimos años, las aplicaciones tecnológicas han jugado un papel crucial en este campo. Los avances en la tecnología han permitido el desarrollo de modelos y herramientas que ayudan a predecir, evaluar y mitigar los riesgos asociados con los taludes inestables.

Una de las aplicaciones tecnológicas utilizadas para la estabilización de taludes es el modelado numérico, que implica el uso de software especializado para simular y analizar el comportamiento de los taludes. Estos modelos pueden considerar una variedad de factores, como la geología del área, las propiedades del suelo, las cargas aplicadas y las condiciones ambientales, lo que permite a los ingenieros comprender mejor el comportamiento de un talud y evaluar la eficacia de diferentes medidas de estabilización.

Además, los sistemas de monitoreo geotécnico basados en tecnología también se utilizan ampliamente para la estabilización de taludes. Estos sistemas pueden incluir instrumentación geotécnica, como inclinómetros, extensómetros y piezómetros, que recopilan datos en tiempo real sobre el comportamiento de un talud. La información recopilada se utiliza para detectar signos de inestabilidad y tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna.

Las tecnologías de teledetección, como la fotogrametría aérea y el escaneo láser terrestre (Lidar), también han demostrado ser herramientas valiosas en la estabilización de taludes. Estas tecnologías permiten la generación de modelos 3D detallados de los taludes, lo que facilita la identificación de áreas problemáticas, la planificación de medidas de estabilización y el seguimiento de los cambios en el tiempo.

Las aplicaciones tecnológicas en la estabilización de taludes han revolucionado la forma en que los ingenieros abordan estos desafíos. A través del modelado numérico, los sistemas de monitoreo geotécnico y las tecnologías de teledetección, se ha mejorado significativamente la comprensión, predicción y gestión de los riesgos asociados con los taludes inestables, lo que contribuye a una planificación más efectiva y a la implementación de medidas de estabilización más seguras y eficientes.

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### ANTECEDENTES.

Dada la irregular topografía del municipio de Panchimalco, especialmente de la residencial Quintas Doradas, las vías se han construido a media ladera, por lo que se han producido cortes de magnitud en las mismas.

Estos Taludes de corte y relleno en la construcción de estas obras civiles, que si bien es cierto se ejecutaron de acuerdo a las normas de diseño vigentes en el país, se han deteriorado a través del tiempo por erosiones de carácter eólico o por la saturación de los cuerpos de los taludes en épocas de invierno, factores negativos que se han incrementado por la construcción de viviendas, urbanizaciones y obras civiles muy cerca de quebradas y taludes de las vías.

Dadas las variantes climatológicas que ocurren en la época de invierno el terreno sufre distintas variaciones y erosiones lo cual afecta muy considerablemente a la población aledaña hasta el fin de causar deslaves en las casas y generar accidentes mortales, este suceso ha ocurrido durante años.

Los antecedentes descritos han puesto en alerta a las autoridades seccionales, en el caso específico al municipio de Panchimalco, el mismo que a través de servicios de consultoría ha contratado investigaciones de estudios de estabilidad

y protección de taludes entre los cuales se destacan los más recientes:

Estudio geotécnico del talud en Panchimalco

En este trabajo se destaca la Estabilización del talud crítico en la residencial Quintas Doradas en municipio de Panchimalco. En el estudio se concluye que la posible causa del deslizamiento se debió a la saturación de la capa superior del cuerpo próximo a la corona del talud donde se acumulan sobrantes de tierra para la construcción de la vía y la explanada de la Estación de Transferencia, provocándose un deslizamiento de tipo rotacional de un volumen importante de tierras que se desplazó a gran velocidad a través de los 200 m.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático que experimenta el planeta en los actuales momentos por la intensidad de las lluvias que provocan la saturación de la superficie terrestre, está afectando gravemente la estabilidad de los taludes de corte y relleno en las vías y carreteras del mundo y de El Salvador en particular.

Las zonas montañosas son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas. Esta situación ha dado lugar al desarrollo de tecnologías para mitigar el problema, las mismas que han sido investigadas en cada zona de la geografía terrestre, de acuerdo a las condiciones geomorfológicas del terreno y de los suelos encontrados.

La inadecuada construcción, mantenimiento y tratamiento de los taludes en las vías influye negativamente en el desarrollo del país por la falta de carreteras expeditas que permitan la transportación de bienes y personas.

En el municipio de Panchimalco en específico en la residencial Quintas Doradas se lleva a cabo esta problemática acerca del desbordamiento de material rocoso-arenoso de un talud desprotegido sin tratamiento alguno afectando directamente

a los residentes de la zona como a los automovilistas que transitan por la calle antigua a Panchimalco.

En el último invierno la saturación de los cuerpos de los taludes y el inadecuado uso del suelo por parte de moradores especialmente de bajos recursos económicos asentados ilegalmente en bordes de quebradas y vías provocaron deslizamientos y deslaves de consideración en el municipio de Panchimalco de San Salvador, que causaron la pérdida de bienes y servicios e inclusive de vidas humanas.

## OBJETIVOS:

### A. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un modelo de aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes desestabilizados, en sus coberturas superficiales, por exceso de humedad en el municipio de Panchimalco.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los posibles impactos ambientales viales, positivos y negativos, directos e indirectos, que deriven de la ejecución de la obra.
- Identificar los tipos de desestabilizaciones más comunes que se producen en las vías urbanas del municipio de Panchimalco
- Evaluar dinámica de taludes.
- Desarrollar el modelo de protección de taludes que se ajuste a las condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas y de uso de suelo en vías del municipio de Panchimalco, para disminuir la accidentalidad y erosión del suelo.

## ALCANCES Y LIMITACIONES

### A. ALCANCES

- ❖ Se evaluará la factibilidad del diseño de un talud con muro Soil Nailing para la estabilidad.
- ❖ Se presentará una comparativa de accidentes relacionados al talud con tratamiento y sin tratamiento.
- ❖ Se llevará a cabo el costeo exacto de dicha obra relacionado a la ejecución de la misma.

### B. LIMITACIONES

- ❖ Debido al costo del programa solo se ocupó una versión trial que posee sus limitantes.
- ❖ En el desarrollo del trabajo de investigación, se realizará únicamente para proyectos de obra civil con impacto ambiental y vial.
- ❖ Se aplicarán solo las teorías que son utilizadas con mayor frecuencia en el país.

## JUSTIFICACIÓN

La importancia de una adecuada tecnología de recubrimiento y protección de taludes afectados por saturación del suelo, disminuirá el problema de accidentalidad y congestiones de tráfico, también el peligro hacia la población residente aledaña, así como el prematuro deterioro de las vías.

Resulta de interés recopilar las diferentes tecnologías desarrolladas para poderlas implementar en las vías salvadoreñas y especialmente en el municipio de Panchimalco. En el Salvador, el problema se produce por las condiciones de tipo climático, por los sistemas constructivos aplicados, por la falta de mantenimiento en etapa de servicio y por el descuido de las instituciones encargadas de su conservación. Los modelos utilizados son conocidos a nivel mundial, pero su aplicabilidad tiene mucho que ver con las condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas del sitio donde se produjo el deslizamiento

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### A. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 1. TALUDES

##### **NOMENCLATURA DE UN TALUD O LADERA**

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Ilustración 1).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

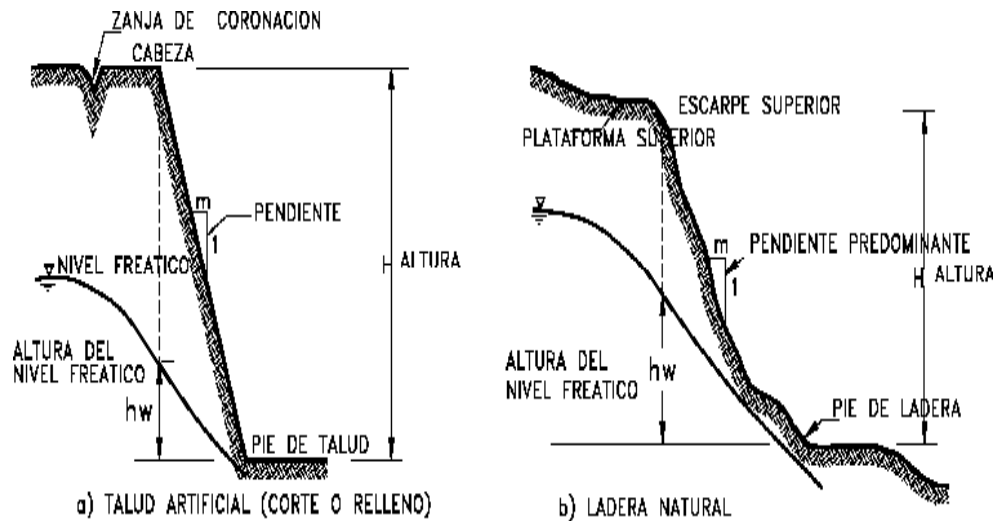


Ilustración 1. Nomenclatura de taludes y laderas.

Fuente: *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Jaime Suárez Díaz

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

### 1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

### 2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

### 3. Cabeza o escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

#### **4. Altura de nivel freático**

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

#### **5. Pendiente**

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: Pendiente:  $45^\circ$ , 100%, o 1H:1V.

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TALUDES.**

Los taludes en corte y relleno son muy importantes en la seguridad y buena apariencia de una carretera, además de influir en su costo de mantenimiento.

Su diseño depende de las condiciones de los suelos y de las características geométricas de la vía, como regla general los taludes deben diseñarse con la menor pendiente económicamente permisible. El Manual de Diseño del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, recomienda la construcción de taludes de acuerdo a los diferentes tipos de suelos.

## 2. TIPOLOGÍA Y DESARROLLO DE LOS MOVIMIENTOS EN LOS SUELOS

En cualquier parte de la superficie terrestre la gravedad “empuja” continuamente los materiales hacia niveles inferiores.

El término más comúnmente usado para designar los movimientos producidos en los taludes es el de deslizamiento. Dicho término implica movimientos de taludes formados por diferentes clases de materiales roca, suelo, rellenos artificiales o combinaciones de los mismos a través de una superficie de rotura determinada

***Nomenclatura de los procesos geotécnicos correspondientes a movimientos.***

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos.

Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos.

### **ETAPAS DE LOS PROCESOS DE FALLA**

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones

mecánicas o propiamente geológicas.

Se consideran cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

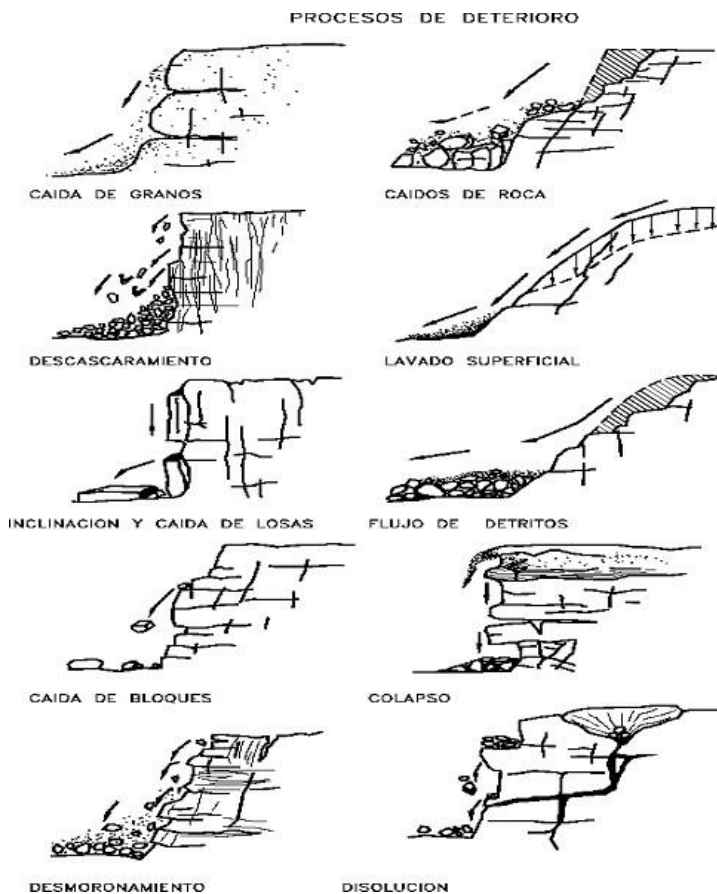
- a) Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo está intacto.
- b) Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c) La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d) La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

### **Procesos de la etapa de deterioro**

El deterioro con el tiempo puede dar lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización, en etapa de diseño no le damos la adecuada importancia y luego se tendrán que realizar obras costosas de estabilizaciones.

Cuando una ladera se corta para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado. El deterioro comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye la

alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. La iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie que puede conducir a desprendimientos de roca o colapso del talud.



*Ilustración 2. Procesos de deterioro en macizos rocosos.*

*Fuente: Nicholson y Hencher-1997*

El Proceso de deterioro en macizos rocosos de acuerdo a los autores mencionados sigue la siguiente secuencia:

- Caída de detritos
- Descascaramiento o Exfoliación
- Formación, inclinación y caída de losas de roca
- Caída de bloques

La clasificación de los modos comunes de deterioro fue propuesta por Nicholson y Hencher (1997), en estudios posteriores se amplió con el objeto de incluir la mayoría de los procesos que ocurren previamente a la falla masiva.

- Desmoronamiento
- Caídas de roca
- Lavado superficial o erosión
- Flujo de detritos
- Colapso
- Disolución
- Expansión y contracción
- Agrietamiento cosísmico
- Agrietamiento por tensión

De los temas enumerados se definen:

- **Lavado superficial o erosión**

La erosión es el desprendimiento y transporte de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por las gotas de lluvia y el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas.

Los procesos de erosión son frecuentes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, especialmente, los compuestos por limos y arenas finas, cuando la cobertura vegetal ha sido removida. Se conocen varios tipos de erosión:

**a) Erosión Laminar**

El proceso de erosión laminar se inicia por el impacto de las gotas de agua lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía produciendo un lavado de la superficie del terreno como un todo, sin formar canales definidos.

La velocidad de las gotas de lluvia puede alcanzar valores hasta de 10 metros por segundo y su efecto es muy grande sobre las superficies de talud expuestos y sin cobertura vegetal. El proceso es grave cuando la pendiente del talud es pronunciada, como es el caso de los taludes de cortes en obras viales como las que se tratan en estudio presente.

**b) Erosión en surcos**

Los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo del agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad generalmente paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie de un talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo, formando surcos.

**c) Erosión en Cárcavas**

Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de

pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

**d) Erosión interna**

El agua al fluir por ductos dentro del suelo produce erosión interna, que da origen a derrumbamientos y colapsos produciendo hundimientos del terreno o formaciones de cárcavas.

**e) Erosión por afloramiento de agua**

Un caso de erosión puede ocurrir en los sitios de afloramiento de agua, formando pequeñas cavernas y/o taludes negativos, los cuales a su vez pueden producir desprendimientos de masas de suelo.

Es importante para el tema que nos ocupa, lo relacionado con la expansión y contracción de los suelos.

- **Expansión y contracción**

En los suelos arcillosos se producen cambios de volumen por cambios de humedad asociados con el potencial de succión del material. Estas expansiones y contracciones producen agrietamientos y cambios en la estructura del suelo con pérdida de la resistencia al cortante.

- **Agrietamiento debido a sismos**

Los eventos sísmicos pueden producir agrietamientos especialmente en los materiales rígidos y frágiles. Los agrietamientos debido a sismos debilitan la masa de talud y generan superficies preferenciales de falla.

- **Agrietamiento por tensión**

La mayor parte de suelos tienen muy baja o nula resistencia a la tensión y con la aplicación de pequeños esfuerzos especialmente en la cabeza de los taludes y laderas se generan grietas de tensión por las cuales se infiltra el agua que debilitan la estructura de la masa del suelo permitiendo la formación de superficies de falla.

***Influencia del tipo de material.***

La naturaleza del material tiene una estrecha relación con el tipo de inestabilidad que puede producirse, condicionando y pudiendo estimarse de antemano la susceptibilidad de cada material, a que se desarrolle un movimiento determinado. Los terrenos en los que se producen los movimientos se pueden dividir en tres grupos: macizos rocosos, suelos y materiales de relleno.

Los tipos de rotura que se producen en los medios rocosos siguen superficies preexistentes.

El comportamiento de las masas de suelo se asemeja al de un medio continuo y homogéneo. Las superficies de rotura se desarrollan en su interior sin seguir una dirección preexistente.

### 3. TIPOS DE MOVIMIENTOS.

La inestabilidad de taludes se puede clasificar en base a distintos criterios. Los tipos de movimientos principales son:

- Desprendimientos
- Vuelcos
- Reptación
- Deslizamientos: 1) Rotacionales y 2) Trasnacionales
- Flujos

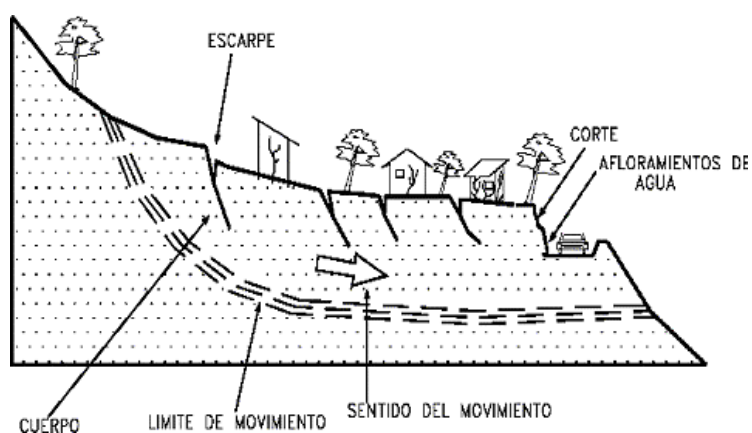
Los movimientos tienden a comportarse como de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar.

- **Deslizamientos.**

Son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de

una franja relativamente estrecha del material. (Ilustración3)  
 Generalmente las superficies de deslizamiento son visibles o pueden deducirse en forma razonable. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla.

Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.



*Ilustración 3. Deslizamientos en suelos blandos.*

*Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales: (Jaime Suárez Díaz)*

### **1) Deslizamientos Rotacionales.**

Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular o cóncava. El movimiento tiene una naturaleza más o menos rotacional alrededor de un eje dispuesto en forma paralela al talud.

### **2) Deslizamientos Traslacionales.**

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia

fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

#### 4. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES.

En el análisis de los movimientos es importante reconocer que factores condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos que actúan como desencadenantes.

A continuación se describen algunos de los factores más importantes que influyen en la estabilidad de los taludes.

##### 4.1 Factores Naturales.

Se trata de agentes que integran la meteorización, siendo los agentes erosivos los que tienen una mayor incidencia como factores desencadenantes, así como los fenómenos de carácter tectónico que influyen en la corteza terrestre.

## 4.2 El Agua.

Constituye el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades.

### **a) Aguas Subterráneas.**

Se consideran como tales, las corrientes y niveles subterráneos y el agua distribuida en el interior de la red de fracturación de un macizo rocoso o de forma intersticial en los suelos, que condicionan la estabilidad de los mismos. La absorción del agua de infiltración produce una continua expansión y contracción de los suelos, en períodos alternantes de lluvia y sequía, que varía las características resistentes de los mismos.

### **b) Lluvia.**

Constituye un factor desencadenante de inestabilidades, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes: meteorización, acción de las aguas subterráneas, etc. Cuando el régimen de lluvias es torrencial, el agua caída se canaliza en zonas deprimidas causando acciones similares a las corrientes de agua.

## 4.3 Sismicidad y Volcanismo.

Son los factores desencadenantes de grandes deslizamientos que pueden ocasionar daños graves. Cuando ocurre un sismo se generan una serie de vibraciones, que se propagan como ondas de diferente frecuencia, la aceleración, vertical y horizontal asociada a esas ondas, origina la fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del terreno afectando al equilibrio de los taludes.

#### 4.4 Actividad Biológica.

Tiene especial interés las acciones que ejerce la vegetación en sus aspectos positivos y negativos. La cubierta vegetal, a través de sus raíces ayuda a mantener la estabilidad de los taludes debido a que sirve de unión entre los componentes del suelo. También la vegetación contribuye al drenaje, absorbiendo parte del agua contenida en el terreno y atenúa la degradación superficial del mismo.

En su aspecto negativo, existen raíces capaces de disgregar el terreno u desplazar bloques de magnitud considerable, debido a sus efectos mecánicos en grietas y fisuras, actuando como cuñas.

#### 4.5 Actividad Humana.

Dos de las actividades más importantes son la Minería y las Obras Civiles, la actividad humana que se deriva, constituye una de las causas con mayor

incidencia en los movimientos de los taludes.

#### 4.6 Excavaciones.

Constituyen uno de los factores desencadenantes más extendidos debido a la necesidad de las mismas en las obras civiles como vialidad, túneles. Producen una variación del estado de equilibrio del terreno, que se traducen en planos de potenciales deslizamientos, desequilibrio de masas, etc.

#### 4.7 Sobrecargas.

Es el resultado del incremento de peso debido a diversos tipos de construcciones sobre el terreno natural. También puede producirse por el peso del agua infiltrada en el terreno, como consecuencia de fugas en conducciones de alcantarillado, canales, etc.

### 5. Reconocimientos generales localización de zonas inestables.

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas de la manera más exacta posible y proponer un diseño efectivo de solución.

Para la investigación propuesta, es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad.

Entre las técnicas de investigación tenemos: mapas topográficos y geológicos, fotografías aéreas

### **Reconocimientos Previos de Campo.**

Los reconocimientos de campo tienen como finalidad la identificación del tipo y causa del movimiento. Algunos de los rasgos característicos que pueden aparecer asociados con movimientos son:

- Rupturas de pendiente con acumulación de material al pie del talud.
- Bloques caídos a pie de acantilados o escarpes.
- Planos inclinados lisos rocosos con aspecto fresco y bloques deslizados.
- Macizos fracturados y meteorizados con bloques o cuñas caídas y deslizadas.
- Presencia de grietas de tracción.
- Hundimientos con grietas de tracción.
- Reptaciones de material blando.
- Señales de avalanchas o flujos.
- Laderas escalonadas y agrietadas y con escarpes.

Aparte de estos rasgos el efecto sobre construcciones o vegetación pueden dar señales que faciliten su identificación, por ejemplo:

- Árboles, arbustos o postes inclinados a favor de la pendiente
- Vegetación con raíces arrancadas y árboles desenterrados y arrastrados.
- Grietas en construcciones o abombamientos en carreteras.

#### 6. Investigaciones de detalle.

La investigación detallada se realiza con mayor profundidad para comprender los fenómenos que influyen en la estabilidad de los taludes.

Entre los métodos de investigación de detalle se tienen:

- Calicatas y pozos
- Sondeos mecánicos
- Métodos geofísicos.
- Ensayos en "sitio"

#### **Sondeos mecánicos**

Se realizan mediante sondas y en general se dividen en dos grupos: rotación y percusión de acuerdo al procedimiento utilizado en la perforación. Los sondeos permiten reconocer el terreno a lo largo de su profundidad, con la posibilidad de extracción de muestras que se analizan en los laboratorios para la determinación

de su resistencia.

### **Ensayos en “sitio”**

Tienen como objetivo estimar las características mecánicas o hidrogeológicas del terreno.

### **Ensayos en suelos**

Los ensayos realizados sobre muestras inalteradas, constituyen el medio más eficaz para conocer las distintas propiedades de los mismos y evaluar su comportamiento.

Entre los ensayos que se realizan en suelos tenemos:

#### **a) Identificación.**

- Granulometría
- Límites de Atterberg: líquido, plástico, retracción
- Contenido en: carbonatos, sulfatos, materia orgánica
- Peso específico de partículas
- Densidades

#### **b) Composición química y mineralógica.**

Proporcionan información sobre las características de plasticidad,

expansividad, deformabilidad a nivel cuantitativo y cualitativo.

**c) Estado natural.**

Se refiere a la densidad y humedad que presenta el suelo in situ.

**d) Erosionabilidad.**

La erosionabilidad es la facilidad con la cual el suelo se puede desprender y transportar por acción del agua. Este factor afecta la estabilidad de un talud, en cuanto produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.

**e) Expansibilidad.**

Cambio potencial de volumen, usados en suelos que tienen alto contenido de arcillas. Los suelos arcillosos al contacto con el agua expanden su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. En suelos de origen volcánico se ha detectado que se puede producir pérdida de resistencia al corte por efecto de la expansividad.

**f) Deformabilidad.**

Este ensayo se realiza con ciclos de carga y descarga, se determina un coeficiente de consolidación.

**g) Resistencia al cortante.**

La resistencia al corte representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.

Los ensayos más frecuentes para la determinación de la resistencia al corte son:

- Ensayo de Compresión Simple.
- Ensayo Triaxial, en el que se determina el ángulo de rozamiento interno y la cohesión.
- Ensayo de corte directo.

Para elegir el tipo de ensayo, se debe tener en cuenta el tipo de terreno a investigar y el tipo de problema a resolver, esto es si se trata de:

- análisis de riesgos de inestabilidad en taludes naturales
- proyecto de nuevos taludes
- corrección de inestabilidades ya producidas.

7. Análisis de estabilidad de taludes.

La Estabilidad de un talud en ingeniería se define en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc.

### **Condiciones drenadas o no drenadas.**

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas. Si la inestabilidad es causada por cambios en la carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior, en suelos de baja permeabilidad, estos pueden no tener tiempo suficiente para drenar durante el tiempo en el cual ocurre el cambio de carga. En ese caso se dice que las condiciones son no drenadas.

### **Efecto de los ductos de agua en la corona de los taludes sobre el análisis de estabilidad.**

Siempre que sea posible es importante ubicar los ductos de agua lejos de la corona de taludes o laderas donde se requiera su estabilidad. La distancia entre la corona de los taludes y la localización de todo tipo de tuberías y servicios debe ser igual a la altura total del talud.

### **Grietas de tensión en los análisis de estabilidad**

La existencia de grietas de tensión aumenta la tendencia de un suelo a fallar, la longitud de la superficie de falla a lo largo de la cual se genera resistencia es reducida y en forma adicional la grieta puede llenarse con agua, en el caso de lluvias.

La profundidad de las grietas de tensión puede determinarse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma \tan\left(45 + \frac{1}{2}\phi\right)}$$

Donde:

$Z_c$  = Profundidad de la grieta de tensión

$c$  = cohesión

$\gamma$  = Peso unitario del suelo

$\phi$  = Ángulo de fricción

#### 8. Equilibrio límite y factor de seguridad

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas se ha realizado durante años utilizando las técnicas del equilibrio límite. El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0 El análisis se realiza sobre la totalidad de la superficie de falla o dividiendo

la masa deslizada en tajadas o dovelas.

Entre los métodos de análisis de estabilidad de taludes tenemos: Ordinario o de Fellenius, Bishop simplificado, Bambú, sueco modificado, Lowe y Karafiath, Spencer, Morgensten y Price, Sarma, Elementos finitos, Espiral logarítmica.

El Factor de Seguridad se emplea para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de

$$\text{F.S.} = \text{Resistencia al corte} / \text{Esfuerzo al cortante}$$

posible falla:

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$\text{F.S.} = \text{Momento resistente} / \text{Momento actuante}$$

## 9. Métodos de análisis.

Entre los métodos de análisis de estabilidad tenemos:

- Método de tablas o número de estabilidad
- Método del talud infinito
- Método del bloque deslizante
- Método ordinario o de Fellenius
- Método de Bishop
- Método de Jambú
- Métodos numéricos y aplicaciones en computadores.
  
- **Métodos numéricos y aplicaciones del computador.**

Actualmente se conocen programas comerciales de software para computador, tales como SLOPE/W, STABLE y TALREN, GEO5 los cuales permiten de una forma rápida y sencilla obtener los factores de seguridad de taludes o laderas con cierto grado de complejidad y por cualesquiera de los métodos de análisis.

## 10. Prevención, estabilización y diseño.

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Métodos de prevención de deslizamientos:

- Disuasión con medidas coercitivas
- Planeación del uso de la tierra
- Códigos técnicos
- Aviso y alarmas

Métodos de elusión de deslizamientos:

- Variantes al proyecto
- Modificación de la sub rasante
- Puentes o viaductos sobre os deslizamientos

Métodos de Control de masa en movimiento. Se construyen abajo del deslizamiento una vez que se ha iniciado, entre los que se anotan:

- Bermas
- Trincheras
- Estructuras de retención
- Cubiertas de protección

Métodos de estabilización:

- Conformación del talud o ladera: Remoción de materiales en la cabeza del talud, abatimiento de pendiente, terraceo de superficie

- Recubrimiento de la superficie
- Control de agua superficial y subterránea
- Estructuras de contención: Berma de roca en la base del deslizamiento, muros de contención y en tierra armada, pilotes, anclajes y pernos, pantallas ancladas.
- Mejoramiento del suelo

### **Recubrimiento de la Superficie.**

Mediante el recubrimiento de la superficie, se trata de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más sub-superficial. El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto lanzado o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la hidrosiembra.

Entre los métodos más usuales para el tratamiento de la superficie de taludes expuestos tenemos:

- recubrimiento propiamente dicho de la superficie
- conformación de la superficie
- conformación de la superficie
- sellado de grietas superficiales
- sellado de juntas y discontinuidades
- cobertura vegetal, árboles, arbustos y pastos

## Escoger el Factor de Seguridad

Una decisión de mucha importancia es la de escoger el factor de seguridad para las obras de ingeniería a proyectarse, en el caso de taludes se recomiendan los siguientes factores de seguridad mínimos, que constan en la tabla 1

<b>Caso</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
Si puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud	1.7
Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas consideradas importantes.	1.5
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes.	1.3
Si la falla del talud no causa daños.	1.2

*Tabla 1. Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes.*

*Fuente: Deslizamiento y estabilidad de taludes Jaime Suárez Díaz*

## 11. PREVENCIÓN DE RIESGOS

Los riesgos debidos a deslizamientos de tierra se pueden reducir utilizando cuatro estrategias así (Kockelman 1986):

- a. Restricciones al desarrollo en áreas susceptibles a deslizamientos.
- b. Códigos para excavaciones, explanaciones, paisajismo y construcción.
- c. Medidas físicas tales como drenaje, modificación de la geometría y estructuras para prevenir o controlar los deslizamientos o los fenómenos que los pueden producir.
- d. Desarrollo de sistemas de aviso o alarma.

Para la ejecución de un eficiente programa de reducción de amenaza de

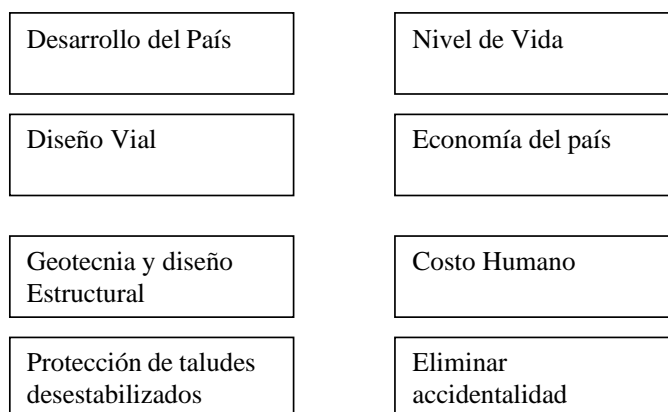
deslizamientos, se requiere la participación de profesionales de diferentes disciplinas como geólogos, ingenieros, planificadores, propietarios de la tierra, constructores, organizaciones financieras y de seguros y entidades del Estado. El programa requiere dos elementos: la Base Técnica y el Estado y Comunidad que haga conciencia del problema.

## 12. Fundamentación legal

En el país el Diseño y Construcción de las obras viales se rigen por las Normas de Diseño y Especificaciones de Construcción del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, entidad rectora del Diseño, Construcción y Mantenimiento de carreteras en el Ecuador que acoge diversos manuales de diseño como:

- FHWA
- NORMAS DE DISEÑO DE CARRETERAS
- NORMAS AASHTO
- NORMAS ASTM
- NORMAS ACI
- MANUAL DE ESPECIFICACIONES GENERALES MOP-001-F-2002  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES

### 13. Categorías fundamentales



*Esquema 1. Categorías fundamentales para diseño de taludes.*

### 14. Hipótesis

El Modelo de aplicaciones Tecnológicas para la protección de taludes que pueden ser desestabilizados por exceso de humedad en el Municipio de Panchimalco será la mejor opción para disminuir la accidentalidad y congestión vehicular?

### 15. Señalamiento de variables

#### 15.1 Variable Independiente:

Modelo de aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes que pueden ser desestabilizados por exceso de humedad en el municipio de Panchimalco

#### 15.2 Variables Dependientes:

- Disminución de Accidentalidad
- Disminución de Congestión Vehicular

## CAPÍTULO III: METODOLOGIA

### A. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación aplicados serán:

- De Campo: Observación de taludes desestabilizados en sus coberturas superficiales por exceso de humedad
- De Gabinete (Oficina): Análisis de datos e investigación
- Documental – Bibliográfica: consultas en bibliotecas convencionales y virtuales, en organismos gubernamentales y seccionales y en Consultoras Especializadas.

### B. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los niveles de Investigación en el proyecto serán los siguientes:

- Exploratorio, Descriptivo y Explicativo.

### C. POBLACIÓN Y MUESTRA

- Población: Residentes en la Residencia Quintas Doradas, Panchimalco, San Salvador
- Muestra: Talud ubicado en Residencial Quintas Doradas Panchimalco,

San Salvador.

#### D. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Modelo de aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes que pueden ser desestabilizados por exceso de humedad en el municipio de Panchimalco.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORIA	INDICADORES	INDICE	HERRAMIENTAS
Modelo de Aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes que pueden ser Desestabilizados por exceso de humedad en el municipio de Panchimalco	Taludes	Morfología	Ha.	Ficha de campo
		Altura	m	Ficha de campo
		Gradientes	Relación m horizontal/m vertical	Lista de chequeo
	Geotecnia	Perforaciones	1 cada/deslizamiento	Ensayos
		Fricción	Grados	Ensayos
		Peso unitario	t/m <sup>3</sup>	Ensayos
		Coeficiente de empuje	Ka (adimensional)	Ensayos
	Geología	Geología regional	# fallas macro	Ficha histórica
		Geología local	# fallas localizadas	Ficha histórica
	Drenajes	Cunetas	Longitud/km	Ficha de campo
		Áreas de aporte	Ha.	Ficha de campo
		Permeabilidad del suelo	cm/s	Ficha de campo
	Topografía	Levantamientos	Ha.	Ficha de campo
		Perfiles transversales	Cada/5m	Lista de chequeo
		Replanteo	m/talud	Lista de chequeo

*Tabla 2. Indicadores a tomar en cuenta para variables independientes*

Variable Dependiente: Disminución de la accidentalidad y congestión vehicular

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORIA	INDICADORES	INDICE	HERRAMIENTAS
Disminución de la accidentalidad y congestión vehicular	Accidentalidad	Accidentes/ Deslizamiento	# accidentes	Fichas históricas
		Victimas/ accidente	#victimas	Fichas históricas

		Trafico	TPDA	Fichas históricas
	Congestión vehicular	Demora en tiempos de viaje	min/Km	Fichas históricas
		Costos de operación vehículos	\$/Km	Fichas históricas

*Tabla 3. Indicadores a tomar en cuenta para variables dependientes*

## E. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información básica para la investigación se realizó por medio de visitas de campo a los sitios afectados en la Residencial Quintas Doradas afectados por el invierno presentado año por año debido a dicha problemática, siguiendo las recomendaciones del Marco Teórico sustento de la presente investigación.

## F. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para procesar la información se procedió de la siguiente manera:

- Observación y toma de datos del sector de la Residencia Quintas Doradas
- Análisis y comprobación en campo y oficina de topografía y parámetros geotécnicos facilitados por la empresa RODIO SWISSBORING
- Propuesta del Modelo de Aplicaciones Tecnológicas para la protección de taludes motivo de la presente Investigación.

## CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TALUD UBICADO EN RESIDENCIAL QUINTAS DORADAS

### A. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.

En la investigación amenaza por deslizamiento en un talud o ladera es necesario obtener toda la información posible sobre sus características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales, que permitan analizar los problemas que lo afectan de la forma más precisa posible para brindar un diseño de solución adecuado, en base a los parámetros geotécnicos básicos influyentes en la estabilidad del talud para el cálculo del factor de seguridad, el cual expresa la situación del talud en función de las fuerzas que actúan en él.

El factor de seguridad se define de forma sencilla como se muestra a continuación:

$$F.S. = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}}$$

Dentro de las fuerzas resistentes podemos mencionar: la resistencia al corte del material, dada por la cohesión y el ángulo de fricción interna; como fuerzas actuantes de mayor relevancia podemos mencionar el peso propio del material, el grado de saturación, movimientos sísmicos y factores antrópicos. Las primeras

son determinadas a partir de la extracción de muestras y ensayos de laboratorio (prueba triaxial y prueba de corte directo). Las segundas se pueden determinar conociendo el tipo de suelo, la geometría y geología del talud, así como por sus antecedentes de deslizamientos.

Para calcular el factor de seguridad de un talud es necesario realizar un análisis de estabilidad, ya sea por medio de programas de computadora o haciendo los cálculos de una forma manual, que permita conocer de forma cuantitativa el estado de un talud. En este tipo de análisis se estudian diferentes superficies de falla y se toma el mínimo valor de factor de seguridad obtenido. Si al calcular el factor de seguridad se obtiene un valor inferior a 1.0 el talud es inestable y existe la posibilidad de que ocurra un deslizamiento, mientras que si este factor es mayor a 1.1, el talud puede ser considerado como estable (Según Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de nuestro país, Año 1994).

El realizar un análisis de estabilidad de un talud es de gran importancia, ya que por medio de este podemos conocer la superficie de falla potencial por deslizamiento, lo que permite escoger de una forma más precisa las medidas de mitigación a ser utilizadas.

En este trabajo se presenta una herramienta alterna para la evaluación de la amenaza por deslizamiento en taludes, haciendo uso de un formato sencillo con

el fin de obtener una idea preliminar del estado de un talud, de manera que permita evaluar si es necesario o no llevar a cabo un análisis de estabilidad. En el caso implica que un talud sea estable, se puede evitar el costo económico que la realización de un análisis de estabilidad, lo que beneficiaría a las personas afectadas, quienes por lo general son de escasos recursos económicos.

Este formato utiliza parámetros geométricos, geotécnicos y ambientales del talud que se pueden obtener a partir de observaciones y de simples mediciones en campo, a los cuales les asigna un valor de atributo relativo y al final se realiza la sumatoria de ellos y se compara con un rango de valores en los que se define el grado de amenaza por deslizamiento que posee el talud en estudio.

Con el valor del grado de amenaza obtenido del formato para el talud, se evalúa si será necesario llevar a cabo un estudio geotécnico más detallado para realizar un análisis de estabilidad (en los casos de amenaza alta y muy alta) para lo cual se deberán realizar los ensayos de laboratorio necesarios.

A continuación se presenta el formato para la evaluación de amenaza por deslizamientos en taludes y laderas, el cual se ha retomado de una metodología mexicana (elaborada por M. J. Mendoza López), el cual ha sido adecuado a las condiciones particulares de nuestro país. Además se ha elaborado una guía

práctica para su comprensión e implementación, lo que permitirá que este pueda ser utilizado aún por personas que no estén necesariamente involucradas en el área de la geotecnia, pero que conozcan sobre criterios básicos de ingeniería.

## B. FORMATO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS

<b>FORMATO DE EVALUACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS</b>	Fecha: _____ Hora: _____
---	-----------------------------

Ubicación _____
Responsable de la inspección _____
Institución/Organización _____ Departamento: _____

DESCRIPCIÓN FÍSICA
Existencia de grietas en la corona o en plataforma <span style="float: right;">SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/></span>
Depositos de escombros al pie del talud <span style="float: right;">SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/></span>
Flujos de agua en el talud/ladera <span style="float: right;">SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/></span>
Presencia de estructuras o viviendas <span style="float: right;">SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/></span>

FACTORES TOPOGRAFICOS																							
Inclinación del talud/ladera _____	Altura de talud/ladera _____																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">INCLINACION</th> <th style="padding: 2px;">ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">Mayor de 45°</td> <td style="padding: 2px;">2.0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">35°-45°</td> <td style="padding: 2px;">1.8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">25°-35°</td> <td style="padding: 2px;">1.4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">15°-25°</td> <td style="padding: 2px;">1.0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Menor de 15°</td> <td style="padding: 2px;">0.5</td> </tr> </tbody> </table>	INCLINACION	ATRIBUTO RELATIVO	Mayor de 45°	2.0	35°-45°	1.8	25°-35°	1.4	15°-25°	1.0	Menor de 15°	0.5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">ALTURA</th> <th style="padding: 2px;">ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">Menor de 50m</td> <td style="padding: 2px;">0.6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">50-100m</td> <td style="padding: 2px;">1.2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">100-200m</td> <td style="padding: 2px;">1.6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Mayor de 200m</td> <td style="padding: 2px;">2</td> </tr> </tbody> </table>	ALTURA	ATRIBUTO RELATIVO	Menor de 50m	0.6	50-100m	1.2	100-200m	1.6	Mayor de 200m	2
INCLINACION	ATRIBUTO RELATIVO																						
Mayor de 45°	2.0																						
35°-45°	1.8																						
25°-35°	1.4																						
15°-25°	1.0																						
Menor de 15°	0.5																						
ALTURA	ATRIBUTO RELATIVO																						
Menor de 50m	0.6																						
50-100m	1.2																						
100-200m	1.6																						
Mayor de 200m	2																						
Atributo relativo _____	Atributo relativo _____																						
Antecedentes deslizantes _____																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">ANTECEDENTES</th> <th style="padding: 2px;">ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">No se sabe</td> <td style="padding: 2px;">0.3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Algunos</td> <td style="padding: 2px;">0.4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Si se tienen registrados</td> <td style="padding: 2px;">0.6</td> </tr> </tbody> </table>	ANTECEDENTES	ATRIBUTO RELATIVO	No se sabe	0.3	Algunos	0.4	Si se tienen registrados	0.6															
ANTECEDENTES	ATRIBUTO RELATIVO																						
No se sabe	0.3																						
Algunos	0.4																						
Si se tienen registrados	0.6																						
Atributo relativo _____																							

FACTORES GEOTECNICOS																																						
Tipo de Suelo _____		Espesor de la capa de suelo _____																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE SUELO</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblandecen con la absorción de agua (arcillas)</td> <td>1.5-2.5</td> </tr> <tr> <td>Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates</td> <td>0.5-1.0</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblandecen con la absorción de agua (arcillas)	1.5-2.5	Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates	0.5-1.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Menor a 5m</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>5 a 10m</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>10 a 15m</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>15 a 20m</td> <td>1.8</td> </tr> </tbody> </table>	ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO	Menor a 5m	0.5	5 a 10m	1.0	10 a 15m	1.4	15 a 20m	1.8																					
TIPO DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO																																					
Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblandecen con la absorción de agua (arcillas)	1.5-2.5																																					
Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates	0.5-1.0																																					
ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO																																					
Menor a 5m	0.5																																					
5 a 10m	1.0																																					
10 a 15m	1.4																																					
15 a 20m	1.8																																					
Atributo relativo _____	Atributo relativo _____																																					
Tipo de formación rocosa _____		Aspectos estructurales de la formación _____																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE FORMACION ROCOSA</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy intemperizadas</td> <td>1.2 a 2.0</td> </tr> <tr> <td>Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates</td> <td>0.3 a 0.6</td> </tr> <tr> <td>Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesta, roltza)</td> <td>0.2 a 0.4</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE FORMACION ROCOSA	ATRIBUTO RELATIVO	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2.0	Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates	0.3 a 0.6	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesta, roltza)	0.2 a 0.4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACION</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Buzamiento de la discontinuidad</td> <td>menos de 15°</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>25° a 35°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Mayor de 45°</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud</td> <td>Mayor a 10°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>0° a 100°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>0°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>0° a -10°</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Mayor a -10°</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud</td> <td>Mayor de 30°</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>10° a 20°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>Menor a 5°</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>		ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACION	DESCRIPCION	ATRIBUTO RELATIVO	Buzamiento de la discontinuidad	menos de 15°	0.2	25° a 35°	0.4	Mayor de 45°	0.6	Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mayor a 10°	0.3	0° a 100°	0.5	0°	0.7	0° a -10°	0.8	Mayor a -10°	1	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mayor de 30°	0.2	10° a 20°	0.3	Menor a 5°	0.5
TIPO DE FORMACION ROCOSA	ATRIBUTO RELATIVO																																					
Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2.0																																					
Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates	0.3 a 0.6																																					
Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesta, roltza)	0.2 a 0.4																																					
ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACION	DESCRIPCION	ATRIBUTO RELATIVO																																				
Buzamiento de la discontinuidad	menos de 15°	0.2																																				
	25° a 35°	0.4																																				
	Mayor de 45°	0.6																																				
Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mayor a 10°	0.3																																				
	0° a 100°	0.5																																				
	0°	0.7																																				
	0° a -10°	0.8																																				
	Mayor a -10°	1																																				
Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mayor de 30°	0.2																																				
	10° a 20°	0.3																																				
	Menor a 5°	0.5																																				
Atributo relativo _____	Atributo relativo _____																																					

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES																						
Evidencias de huecos en el talud/ladera _____		Vegetación y uso de la tierra _____																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>EVIDENCIA DE HUECOS</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inexistentes</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Volumenes moderados</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Grandes volúmenes faltantes</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	EVIDENCIA DE HUECOS	ATRIBUTO RELATIVO	Inexistentes	0.0	Volumenes moderados	0.5	Grandes volúmenes faltantes	1.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>USO DE LA TIERRA Y VEGETACION</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zona urbana</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>Cultivos anuales (maíz, frijol)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>Vegetación intensa</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Vegetación moderada</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Área deforestada</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>		USO DE LA TIERRA Y VEGETACION	ATRIBUTO RELATIVO	Zona urbana	2.0	Cultivos anuales (maíz, frijol)	1.5	Vegetación intensa	0.0	Vegetación moderada	0.8	Área deforestada	2.0
EVIDENCIA DE HUECOS	ATRIBUTO RELATIVO																					
Inexistentes	0.0																					
Volumenes moderados	0.5																					
Grandes volúmenes faltantes	1.0																					
USO DE LA TIERRA Y VEGETACION	ATRIBUTO RELATIVO																					
Zona urbana	2.0																					
Cultivos anuales (maíz, frijol)	1.5																					
Vegetación intensa	0.0																					
Vegetación moderada	0.8																					
Área deforestada	2.0																					
Atributo relativo _____	Atributo relativo _____																					
Regimen de agua en el talud/ladera _____																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>REGIMEN DE AGUA</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Nivel freático inexistente</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	REGIMEN DE AGUA	ATRIBUTO RELATIVO	Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)	1.0	Nivel freático inexistente	0.0	Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera	1.0														
REGIMEN DE AGUA	ATRIBUTO RELATIVO																					
Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)	1.0																					
Nivel freático inexistente	0.0																					
Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera	1.0																					
Atributo relativo _____																						

GRADO DE AMENAZA	DESCRIPCION	SUMATORIA
1	AMENAZA MUY ALTA	MAYOR A 10.0
2	AMENAZA ALTA	8.5 A 10.0
3	AMENAZA MODERADA	7.0 A 8.5
4	AMENAZA BAJA	5.0 A 7.0
5	AMENAZA MUY BAJA	MENOR DE 5.0

SUMATORIA DE ATRIBUTOS

Tabla 4. Formato técnico para la evaluación de taludes

## C. GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL FORMATO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.

Para tener una mayor claridad de los parámetros y procedimientos a utilizar en la implementación del formato de evaluación de amenaza por deslizamientos en taludes y laderas, se exponen a continuación los diferentes criterios que serán útiles para tal fin:

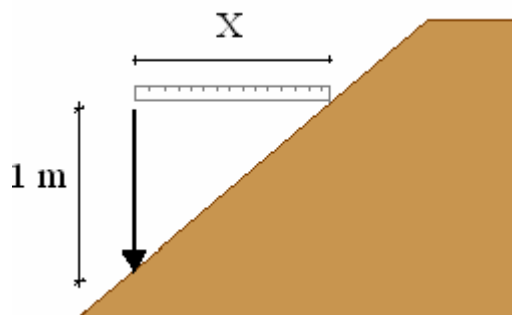
### 1. FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS

#### 1.1 Inclinación del talud/ladera.

Para la determinación de la pendiente o inclinación de un talud o ladera no se requiere del uso de equipo sofisticado, ya que se puede obtener utilizando herramientas comunes y unas simples fórmulas matemáticas. A continuación se presenta un procedimiento sencillo que se puede realizar en campo, utilizando solamente una plomada y una cinta métrica:

- Se debe marcar una señal sobre el cordel de la plomada, midiendo un metro de longitud desde la punta de la plomada.
- Se debe observar un tramo de la superficie del talud en el cual la pendiente sea representativa, y luego colocar la plomada sobre este tramo.
- Una vez ubicada la plomada se procede a medir la distancia horizontal que

hay entre la superficie del talud y la plomada, haciendo uso de una cinta métrica. A este valor para efectos de cálculo se le denominará “X”, y estará expresado en metros. Ver Ilustración 4.



*Ilustración 4. Determinación de la pendiente de un talud en el campo.*

Para encontrar el valor de la pendiente basta con dividir 100 entre el valor de X obtenido, así:

$$S \% = \frac{100}{X}$$

Donde X está expresado en metros.

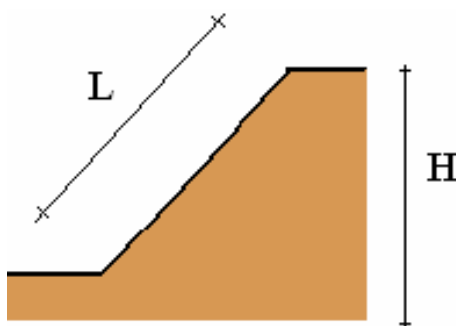
Si se requiere que el dato de la pendiente sea expresado en grados, se calculará la tangente inversa de 1/X, así:

$$S = \tan^{-1}\left(\frac{1}{X}\right)$$

El valor así encontrado se compara con los que se encuentran en el apartado ***Inclinación del talud/ladera*** del formato de evaluación para asignarle el atributo relativo correspondiente.

## 1.2 Altura del talud/ladera

Para medir la altura de un talud o ladera solamente se requiere hacer uso de un lazo, cuya longitud sea lo suficientemente larga para cubrir la distancia entre el pie y la corona del talud, a la cual para efectos de cálculo llamaremos “L”. Ver Fig. 5.2



*Ilustración 5. Esquema de dimensiones para cálculo de la altura de un talud/ladera en el campo.*

La altura “H” del talud/ladera se calcula utilizando “L” (expresada en metros) y “S” (expresada en porcentaje), determinado anteriormente, así como se muestra a continuación:

$$H = \frac{L * S}{\sqrt{S^2 + 10000}} (\text{metros})$$

Luego se compara este valor con los rangos presentados en el apartado **Altura del talud/ladera** del formato de evaluación de amenaza por deslizamientos y se le asigna el valor de atributo relativo correspondiente.

## 1.3 Antecedentes de deslizamientos.

Esto se puede llevar a cabo de varias maneras: en base a entrevistas con los lugareños, a una inspección y recorrido por el talud que nos permita observar si existe algún indicio de deslizamientos anteriores (cárcavas o residuos de material deslizado), o bien mediante la consulta a registros de la alcaldía de la municipalidad, periódicos u otras fuentes.

## 2. FACTORES GEOTÉCNICOS.

### 2.1 Tipo de Material

Según el tipo de material por el que está conformado un talud lo podemos clasificar en suelo o roca, aunque frecuentemente encontramos combinaciones de ambos. En estos casos será necesario considerar el material que presente un valor de atributo relativo más desfavorable (el mayor valor), además de observar cuidadosamente las superficies de contacto entre ellas.

### 2.2 Suelos

Se pueden clasificar en 2 tipos, según el grado de consolidación que presenten:

- Suelos granulares medianamente compactos a sueltos y suelos que se reblandecen con la absorción de agua donde podemos agrupar los limos

arenosos o arenas limosas, tal como la tierra blanca que se encuentra predominantemente en el área de San Salvador, además de los suelos arcillosos, cuyo comportamiento varía en función de su contenido de agua.

- Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas, de las cuales podemos verificar su consistencia tomando una porción de material y apretándolo con la palma en la mano y observar la facilidad o resistencia que presenta a desmoronarse. Si se necesita de un esfuerzo considerable para desmoronar la porción de material, entonces debe incluirse dentro de esta categoría.

Además de conocer el tipo de suelo es importante considerar el espesor de las capas de suelo que conforman el talud, ya que estas tienden a definir el tipo de movimiento que pueda llegar a producirse en el mismo. En el caso de un talud con diversas capas de suelo, se tomará el mayor espesor del material más representativo del talud, ya que este proporcionará un valor de atributo relativo más desfavorable para el talud. El espesor de las capas de suelo se obtiene mediante observaciones en el lugar y mediciones, ya sea con inclinómetro o con cinta.

### *2.3 Rocas*

Resulta de suma importancia observar el tipo de formación rocosa que conforma un talud. Estas las podemos clasificar en tres tipos según su origen:

- Rocas metamórficas, las cuales no se encuentran comúnmente en nuestro país.
- Rocas sedimentarias, cuya formación ha sido originada por sedimentos. Como ejemplos podemos citar las rocas calizas y las areniscas. Dentro de esta categoría también se incluyen las tobas competentes y los talpetates, debido a que por su consistencia este tipo de suelo presenta un comportamiento similar al de una roca.
- Rocas ígneas sanas, las cuales tienen un origen volcánico y dentro de las cuales podemos mencionar las andesitas, riolitas, los granitos y basaltos.

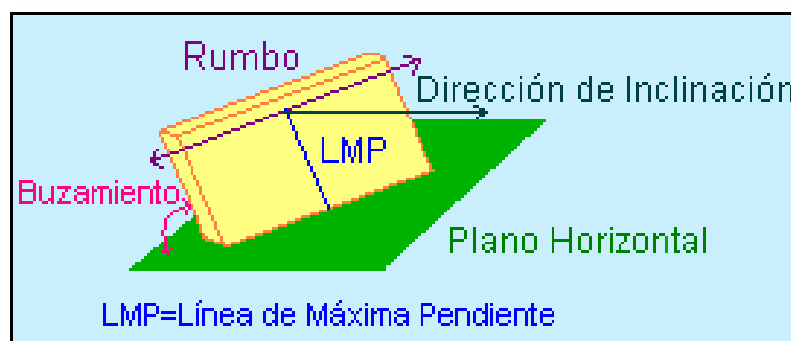
Se deben conocer además ciertos aspectos estructurales de la formación rocosa, para luego compararlos con los establecidos en el formato de evaluación de amenaza por deslizamiento, entre los que están:

- Buzamiento de la discontinuidad, el cual se define como el ángulo que forma la máxima pendiente de la discontinuidad respecto a la superficie horizontal. Para su determinación se requiere hacer uso de un clinómetro. El procedimiento para su determinación consiste básicamente en observar las discontinuidades que presenta el talud rocoso y tomar aquella que sea más representativa. Habiendo escogido la discontinuidad se procede a colocar el clinómetro sobre la superficie de la misma, tomando la lectura que muestra respecto a un plano horizontal. Luego este valor es comparado con los rangos establecidos en el formato de

evaluación de amenaza para asignarle el valor de atributo relativo correspondiente.

- Ángulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud. La inclinación del talud se obtiene tal y como se describió anteriormente, y una vez conociendo este valor se procede a calcular la diferencia entre éste y el valor de buzamiento de la discontinuidad; posteriormente se compara con los valores presentados en el formato de evaluación de amenaza por deslizamientos para asignarle el valor de atributo relativo correspondiente. Cabe mencionar que el ángulo entre el buzamiento de la discontinuidad y la inclinación del talud también puede tomar un valor negativo. Esto se dará cuando la inclinación del talud sea mayor al buzamiento de las discontinuidades.
  
- Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud. Para conocer estos dos valores se debe hacer uso de una brújula; en el caso del rumbo de las discontinuidades basta con colocar la brújula sobre una de las discontinuidades (la más representativa) y leer el valor del rumbo obtenido. Para conocer el rumbo de la dirección del talud se debe trazar una línea sobre éste y colocar ahí la brújula para obtener su valor. Una vez conocidos los dos rumbos se procede a calcular la diferencia y luego se compara con los valores presentados en el formato

de evaluación de amenaza por deslizamiento para asignarle el atributo relativo correspondiente. Ver Ilustración 6.



*Ilustración 6. Componentes de las discontinuidades de un talud: buzamiento y línea de máxima pendiente.*

### 3. FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

#### 3.1 Evidencias de huecos en talud/ladera

Es importante observar si el talud presenta cárcavas o huecos en la superficie, ya que esto indica antecedentes de deslizamientos, lo cual puede influir en su posterior incidencia. Según el volumen de material faltante así se le asignará el valor de atributo relativo, se puede considerar un gran volumen faltante si el hueco abarca un área superficial significativa sobre el talud, o si el espesor de la capa del material faltante es notorio.

### *3.2 Vegetación y uso de la tierra.*

El uso del suelo y la vegetación presente en el área del talud/ladera es de importancia ya que puede ayudar a estabilizar de cierta forma el talud, y en algunos casos puede llegar a ser un factor desencadenante para la ocurrencia de un deslizamiento. Se debe considerar si existen asentamientos humanos, ya sea estructuras o viviendas en el área del talud, o si el talud es utilizado para diferentes tipos de cultivos. También se debe considerar la magnitud de la vegetación presente en el talud, dependiendo el área de éste. En función del uso de suelo e intensidad de vegetación se le asignará el valor de atributo relativo en el formato de evaluación de amenaza por deslizamiento.

### *3.3 Régimen de agua en el talud/ladera*

Ya que el agua es el factor desencadenante de mayor influencia en un deslizamiento, resulta de suma importancia la determinación de este parámetro. El agua presente sobre la superficie de un talud/ladera se puede obtener mediante observaciones en el lugar, notando si hay escurrimientos superficiales de agua, tales como nacimientos o brotes, o notando la ausencia de los mismos.

También es importante observar si hay acumulaciones de agua sobre la plataforma del talud, pudiéndose considerar cárcavas o depresiones donde se estanque el agua proveniente de la lluvia o de las personas.

#### D. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DEL TALUD EN ESTUDIO.

La Residencial “Quintas Doradas” está ubicada en el municipio de Panchimalco sobre la calle antigua a Panchimalco (Ver ilustración 7 e Ilustración 8) y está compuesta por más de 200 familias de escasos recursos económicos.



*Ilustración 7. Vista aérea de la zona del talud Residencial “Quintas Doradas” municipio de Panchimalco (tomado de Google earth).*

Por su ubicación y trascendencia, el principal problema de la comunidad es el talud situado al costado poniente de la comunidad, ya que existen al menos 25

viviendas dentro del área de influencia del mismo, ubicadas tanto en el pie del talud como en parte de la corona, expuestas a ser destruidas por un deslizamiento. (Ver fotografía 5.3 a y b). En mayo de 2020, las lluvias intensas y prolongadas de la Tormenta “Amanda” causaron varios deslizamientos que dañaron algunas viviendas de la comunidad deslizamientos que dañaron algunas viviendas de la comunidad.



*Ilustración 8. A) Viviendas que se ubican al pie del talud y que reciben todo el material que se desprende desde el talud, corriendo el riesgo de ser soterradas. B) Pérdida de una porción de la vivienda mostrada debido a un deslizamiento ocurrido durante*

El talud tiene una altura promedio de 14.5 m, una inclinación promedio de  $55^\circ$  y se extiende a lo largo de 35.3 metros de longitud, además, éste muestra evidencias de deslizamientos anteriores, debidos principalmente a la erosión provocada por las lluvias intensas y a las descargas de agua que se hacen sobre el mismo sin ningún control. El material que constituye dicho talud es una ceniza volcánica, mejor conocida en nuestro medio como “tierra blanca”, la cual es muy erosionable si se expone directamente a corrientes de agua, formando

rápidamente cárcavas o zanjas de erosión que luego propician desprendimientos o deslizamientos del material como consecuencia del debilitamiento del estrato.



*Ilustración 9. Fallas comunes de tierra blanca observadas en la Residencial: a) y b) Cárcavas o zanjas provocadas por la erosión, c) Exfoliación o caída por capas del material debido al intemperismo.*

## E. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN TALUD RESIDENCIAL “QUINTAS DORADAS”, MUNICIPIO DE PANCHIMALCO, SAN SALVADOR

<b>FORMATO DE EVALUACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS</b>	Fecha: <b>18/1/2023</b>
	Hora: <b>09:15:00</b>

Ubicación	<u>Residencial Quintas Doradas, municipio de Panchimalco, San Salvador</u>		
Responsable de la inspección	<u>Boris Orellana</u>		
Institución/Organización	<u>Universidad de El Salvador</u>	Departamento:	<u>San Salvador</u>

DESCRIPCIÓN FÍSICA	SI	NO
Existencia de grietas en la corona o en plataforma	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Depositos de escombros al pie del talud	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flujos de agua en el talud/ladera	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Presencia de estructuras o viviendas	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

FACTORES TOPOGRAFICOS																							
Inclinación del talud/ladera	<u>55°</u>																						
Altura de talud/ladera	<u>14.5</u>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">INCLINACION</th> <th style="padding: 5px;">ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <td style="padding: 5px;">Mayor de 45°</td> <td style="padding: 5px;">2.0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">35°-45°</td> <td style="padding: 5px;">1.8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">25°-35°</td> <td style="padding: 5px;">1.4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">15°-25°</td> <td style="padding: 5px;">1.0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Menor de 15°</td> <td style="padding: 5px;">0.5</td> </tr> </tbody> </table>	INCLINACION	ATRIBUTO RELATIVO	Mayor de 45°	2.0	35°-45°	1.8	25°-35°	1.4	15°-25°	1.0	Menor de 15°	0.5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">ALTURA</th> <th style="padding: 5px;">ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <td style="padding: 5px;">Menor de 50m</td> <td style="padding: 5px;">0.6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">50-100m</td> <td style="padding: 5px;">1.2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">100-200m</td> <td style="padding: 5px;">1.6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Mayor de 200m</td> <td style="padding: 5px;">2</td> </tr> </tbody> </table>	ALTURA	ATRIBUTO RELATIVO	Menor de 50m	0.6	50-100m	1.2	100-200m	1.6	Mayor de 200m	2
INCLINACION	ATRIBUTO RELATIVO																						
Mayor de 45°	2.0																						
35°-45°	1.8																						
25°-35°	1.4																						
15°-25°	1.0																						
Menor de 15°	0.5																						
ALTURA	ATRIBUTO RELATIVO																						
Menor de 50m	0.6																						
50-100m	1.2																						
100-200m	1.6																						
Mayor de 200m	2																						
Atributo relativo	<u>2</u>																						
Antecedentes deslizantes	<u>SI</u>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">ANTECEDENTES</th> <th style="padding: 5px;">ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">No se sabe</td> <td style="padding: 5px;">0.3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Algunos</td> <td style="padding: 5px;">0.4</td> </tr> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <td style="padding: 5px;">Si se tienen registrados</td> <td style="padding: 5px;">0.6</td> </tr> </tbody> </table>	ANTECEDENTES	ATRIBUTO RELATIVO	No se sabe	0.3	Algunos	0.4	Si se tienen registrados	0.6	Atributo relativo														
ANTECEDENTES	ATRIBUTO RELATIVO																						
No se sabe	0.3																						
Algunos	0.4																						
Si se tienen registrados	0.6																						
Atributo relativo	<u>0.6</u>																						

FACTORES GEOTECNICOS																																							
Tipo de Suelo	TIERRA BLANCA																																						
Esesor de la capa de suelo	14.5																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE SUELO</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblanecen con la absorción de agua (arcillas)</td> <td>1.5-2.5</td> </tr> <tr> <td>Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates</td> <td>0.5-1.0</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblanecen con la absorción de agua (arcillas)	1.5-2.5	Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates	0.5-1.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Menor a 5m</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>5 a 10m</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>10 a 15m</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>15 a 20m</td> <td>1.8</td> </tr> </tbody> </table>		ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO	Menor a 5m	0.5	5 a 10m	1.0	10 a 15m	1.4	15 a 20m	1.8																					
TIPO DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO																																						
Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblanecen con la absorción de agua (arcillas)	1.5-2.5																																						
Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates	0.5-1.0																																						
ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO																																						
Menor a 5m	0.5																																						
5 a 10m	1.0																																						
10 a 15m	1.4																																						
15 a 20m	1.8																																						
Atributo relativo	2.0																																						
Atributo relativo	1.4																																						
Tipo de formación rocosa	NO APLICA																																						
Aspectos estructurales de la formación	NO APLICA																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE FORMACION ROCOSA</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy interperizadas</td> <td>1.2 a 2.0</td> </tr> <tr> <td>Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates</td> <td>0.3 a 0.6</td> </tr> <tr> <td>Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesta, riolita)</td> <td>0.2 a 0.4</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE FORMACION ROCOSA	ATRIBUTO RELATIVO	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy interperizadas	1.2 a 2.0	Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates	0.3 a 0.6	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesta, riolita)	0.2 a 0.4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACION</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Buzamiento de la discontinuidad</td> <td>menos de 15°</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>25° a 35°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Mayor de 45°</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud</td> <td>Mayor a 10°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>0° a 100°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>0°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>0° a -10°</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Mayor a -10°</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud</td> <td>Mayor de 30°</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>10° a 20°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Menor a 5°</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>		ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACION	DESCRIPCION	ATRIBUTO RELATIVO	Buzamiento de la discontinuidad	menos de 15°	0.2	25° a 35°	0.4	Mayor de 45°	0.6	Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mayor a 10°	0.3	0° a 100°	0.5	0°	0.7	0° a -10°	0.8	Mayor a -10°	1	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mayor de 30°	0.2	10° a 20°	0.3		Menor a 5°	0.5
TIPO DE FORMACION ROCOSA	ATRIBUTO RELATIVO																																						
Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy interperizadas	1.2 a 2.0																																						
Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates	0.3 a 0.6																																						
Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesta, riolita)	0.2 a 0.4																																						
ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACION	DESCRIPCION	ATRIBUTO RELATIVO																																					
Buzamiento de la discontinuidad	menos de 15°	0.2																																					
	25° a 35°	0.4																																					
	Mayor de 45°	0.6																																					
Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mayor a 10°	0.3																																					
	0° a 100°	0.5																																					
	0°	0.7																																					
	0° a -10°	0.8																																					
	Mayor a -10°	1																																					
Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mayor de 30°	0.2																																					
	10° a 20°	0.3																																					
	Menor a 5°	0.5																																					
Atributo relativo	0.0																																						
Atributo relativo	0																																						

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES																						
Evidencias de huecos en el talud/ladera	SI																					
Vegetación y uso de la tierra	URBANA																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>EVIDENCIA DE HUECOS</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inexistentes</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Volumenes moderados</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Grandes volumenes faltantes</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	EVIDENCIA DE HUECOS	ATRIBUTO RELATIVO	Inexistentes	0.0	Volumenes moderados	0.5	Grandes volumenes faltantes	1.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>USO DE LA TIERRA Y VEGETACION</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zona urbana</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>Cultivos anuales (maíz, frijol)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>Vegetación intensa</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Vegetación moderada</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Área deforestada</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>		USO DE LA TIERRA Y VEGETACION	ATRIBUTO RELATIVO	Zona urbana	2.0	Cultivos anuales (maíz, frijol)	1.5	Vegetación intensa	0.0	Vegetación moderada	0.8	Área deforestada	2.0
EVIDENCIA DE HUECOS	ATRIBUTO RELATIVO																					
Inexistentes	0.0																					
Volumenes moderados	0.5																					
Grandes volumenes faltantes	1.0																					
USO DE LA TIERRA Y VEGETACION	ATRIBUTO RELATIVO																					
Zona urbana	2.0																					
Cultivos anuales (maíz, frijol)	1.5																					
Vegetación intensa	0.0																					
Vegetación moderada	0.8																					
Área deforestada	2.0																					
Atributo relativo	0.5																					
Atributo relativo	2																					
Regimen de agua en el talud/ladera	ESCURRIMIENTOS																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>REGIMEN DE AGUA</th> <th>ATRIBUTO RELATIVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Nivel freático inexistente</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	REGIMEN DE AGUA	ATRIBUTO RELATIVO	Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)	1.0	Nivel freático inexistente	0.0	Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera	1.0														
REGIMEN DE AGUA	ATRIBUTO RELATIVO																					
Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)	1.0																					
Nivel freático inexistente	0.0																					
Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera	1.0																					
Atributo relativo	1.0																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>GRADO DE AMENAZA</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>SUMATORIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>AMENAZA MUY ALTA</td> <td>MAYOR A 10.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>AMENAZA ALTA</td> <td>8.5 A 10.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>AMENAZA MODERADA</td> <td>7.0 A 8.5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>AMENAZA BAJA</td> <td>5.0 A 7.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>AMENAZA MUY BAJA</td> <td>MENOR DE 5.0</td> </tr> </tbody> </table>	GRADO DE AMENAZA	DESCRIPCION	SUMATORIA	1	AMENAZA MUY ALTA	MAYOR A 10.0	2	AMENAZA ALTA	8.5 A 10.0	3	AMENAZA MODERADA	7.0 A 8.5	4	AMENAZA BAJA	5.0 A 7.0	5	AMENAZA MUY BAJA	MENOR DE 5.0	<table border="1"> <tr> <td>SUMATORIA DE ATRIBUTOS</td> <td>10.1</td> </tr> </table>		SUMATORIA DE ATRIBUTOS	10.1
GRADO DE AMENAZA	DESCRIPCION	SUMATORIA																				
1	AMENAZA MUY ALTA	MAYOR A 10.0																				
2	AMENAZA ALTA	8.5 A 10.0																				
3	AMENAZA MODERADA	7.0 A 8.5																				
4	AMENAZA BAJA	5.0 A 7.0																				
5	AMENAZA MUY BAJA	MENOR DE 5.0																				
SUMATORIA DE ATRIBUTOS	10.1																					

Tabla 5. Formato técnico para la evaluación de taludes tomando en específico el talud en estudio

Con el valor de sumatoria de atributos relativos obtenida se observa que el talud presenta un grado de amenaza por deslizamientos muy alto, por lo que es necesaria la implementación de medidas de mitigación, para lo cual se recomienda realizar un estudio geotécnico que proporcione los parámetros necesarios para llevar a cabo un análisis de estabilidad.

#### F. Análisis de Estabilidad haciendo uso del programa GEO5.

Para comprobar de manera cuantitativa los resultados obtenidos con el formato de evaluación de amenaza por deslizamiento en taludes se hizo uso de un software para análisis de estabilidad de taludes. Se escogió este programa debido a que su metodología de análisis está basada en superficies de falla en forma de cuñas, las cuales son más aplicables para el tipo de material en estudio (tierra blanca), y no en superficies de falla de tipo rotacional. Esto permite obtener diferentes factores de seguridad en diversos puntos sobre el cuerpo del talud, mostrando el factor de seguridad mínimo, considerado como de diseño.

Para hacer uso de este programa solamente se necesita conocer los parámetros geométricos del talud (altura e inclinación), los que se pueden obtener a partir de mediciones en campo, y los factores geotécnicos del material (cohesión, peso específico y ángulo de fricción interna), los cuales se obtienen a partir de pruebas de laboratorio (ensayo triaxial, prueba de corte directo).

En el estudio del talud de la Residencial “Quintas Doradas” se analizó una sola sección crítica del talud, y se consideraron valores reales de los factores geotécnicos, solicitados ante una entidad privado como lo es RODIO SWISSBORING EL SALVADOR. Los valores utilizados para los parámetros geotécnicos fueron:

\* Ver en Anexo 2

- ✓ Peso específico:  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
- ✓ Angulo de fricción interna:  $\phi = 12.40^\circ$
- ✓ Cohesión:  $C = 50.8 \text{ kPa}$

Para el uso del programa se utilizó una previa guía dada por el portal del software:

\* Ver en Anexo 3

Editar parámetros de suelo

— Identificación

Nombre : LIMO ARENOSO

— Datos Básicos

Peso unitario :  $\gamma = 17.00 \text{ [kN/m}^3\text{]}$  18.0

Resistencia al corte : Mohr-Coulomb

Estado de tensión : efectivo

Ángulo de fricción interna :  $\phi_{ef} = 12.40 \text{ [}^\circ\text{]}$  24 - 29

Cohesión de suelo :  $c_{ef} = 50.80 \text{ [kPa]}$  8 - 16

— Subpresión

Modo de cálculo de subpresión : Estándar

Peso unitario de suelo saturado :  $\gamma_{sat} = 17 \text{ [kN/m}^3\text{]}$

— Estratificación

Estratificación de suelo : no considerar

— Dibujar

Categoría de patrón : GEO

Buscar :

Subcategoría : Suelos (1 - 16)

Patrón : 1 Limo

Color :

Fondo : automático

Saturación <10 - 90> : 50 [%]

Clasificar Limpiar OK Cancelar

Ilustración 10. Captura de pantalla de programa GEO5 donde se introdujeron parámetros de estudios de suelos.

Cada una de las secciones del talud se analizó por sismo. El valor kh utilizado para el análisis sísmico fue de 0.20 (Tomado de Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de El Salvador). A continuación se presentan los resultados del factor de seguridad introducido con los valores geotécnicos introducidos para poder apreciar la estabilidad del talud actual por el método Bishop.

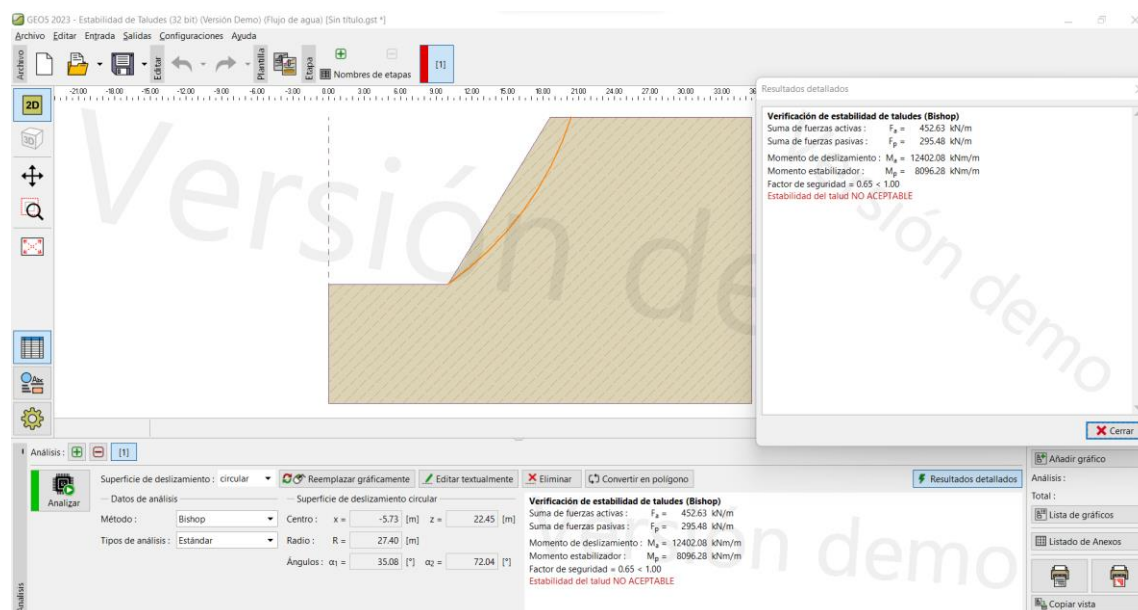
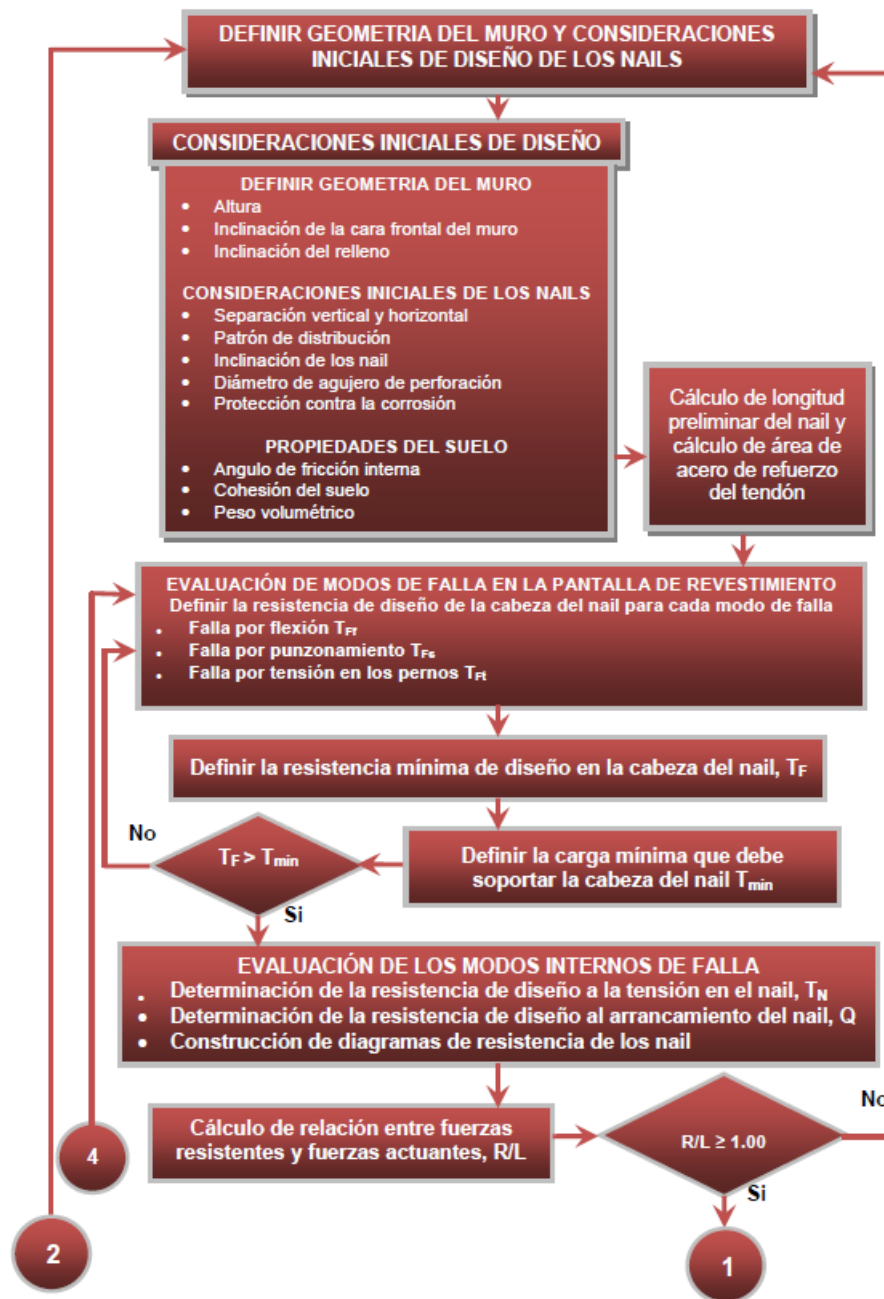
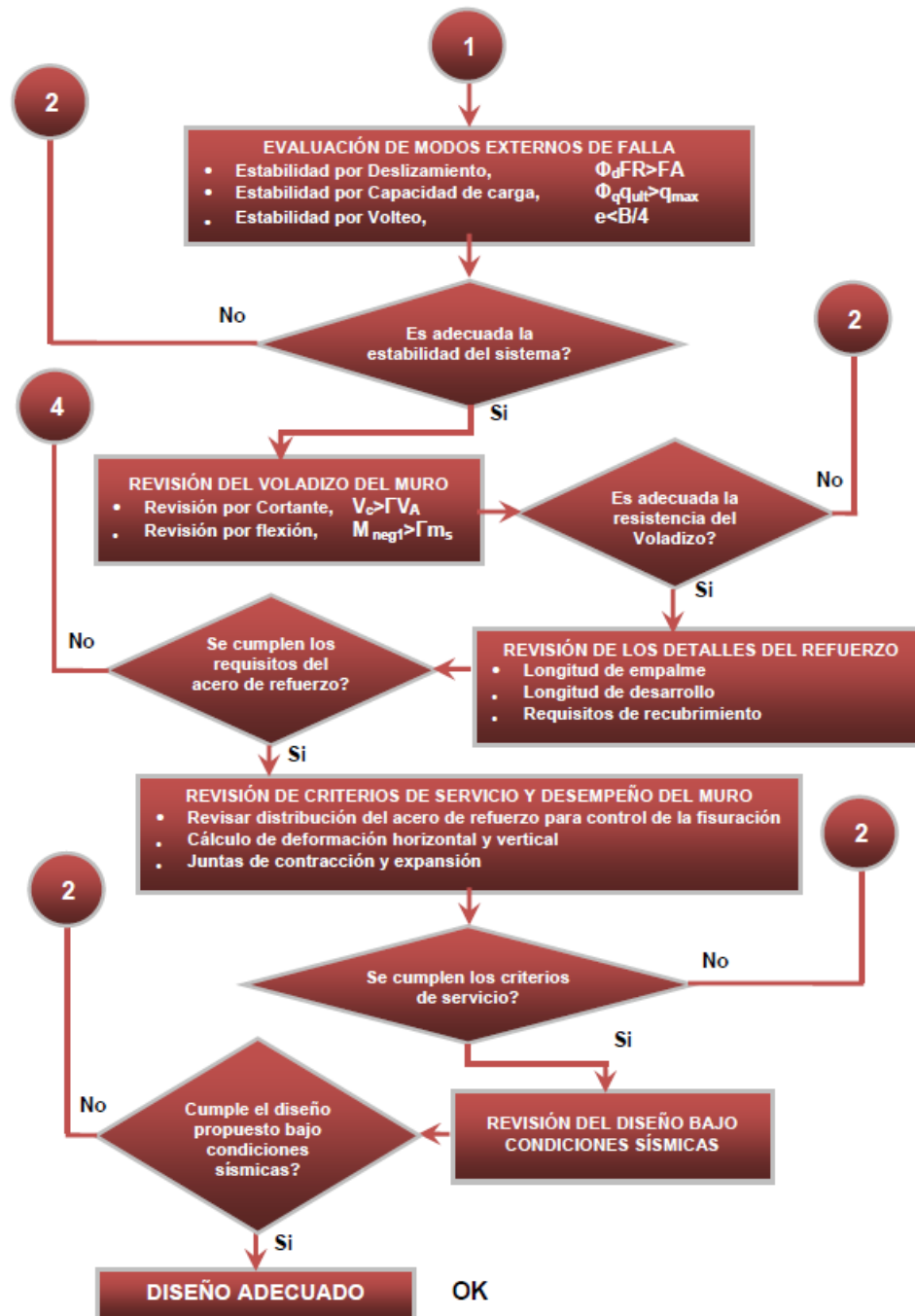


Ilustración 11. Captura de pantalla de programa GEO5 donde se introdujeron los resultados del talud sin previo tratamiento.

## CAPÍTULO V: PROPUESTA DE DISEÑO Y ECONÓMICA

### A. DISEÑO CON MURO SOIL NAILING





Esquema 2. Esquema con criterios a tomar para el diseño de muro Soil Nailing.

## 1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA SOIL NAILING

El método de refuerzo del terreno mediante Soil Nailing, consiste en la construcción de un muro de retención en fases descendentes estabilizando los cortes sucesivos mediante la construcción de una pantalla de concreto lanzado y la introducción al terreno de barras pasivas, generalmente sub horizontales que trabajan principalmente a tracción y a corte. Tal refuerzo del terreno consiste en mejorar su resistencia al corte a lo largo de superficies potenciales de falla mediante la inclusión de los elementos descritos. Con esto se consigue la obtención de una estructura de tierra armada insitu, la cual es capaz de resistir los empujes de tierra, sobrecarga y sismo.

## 2. APLICABILIDAD EN ESTE PROYECTO

La técnica del claveteado tiene su mejor aplicación en los terrenos granulares con SPT mayores a  $N > 4$  (Rodríguez Ortiz J, M. 1997); siendo que esta es la condición de los suelos en la zona del proyecto, nuestra propuesta no sólo es factible, si no que deseable. El claveteado es un sistema superior, para este caso, al sistema de anclas usadas como mejoramiento de suelos ya que estas, debido a su poca sección resistente al corte, producen mucha deformación bajo cargas sostenidas o dinámicas como es el caso de un flujo vehicular intenso.

El fundamento teórico del sistema ha sido muy bien planteado desde hace

algunas décadas, entre algunos, por Stocker y Reidinger (1990), siendo los resultados más importantes, los siguientes:

1. La estructura claveteada se comporta como un muro de gravedad definiéndose como un muro que se mantiene erguido por su propio peso.
2. Para los casos generales, la longitud del claveteado varía entre 0,5 y 0,8 de la altura del muro dependiendo de su pendiente.
3. El espacio entre los clavos nunca será mayor a 2.00 m. es decir, deben cubrir como máximo, una superficie no mayor de 4.00 m<sup>2</sup>.
4. La presión de la tierra sobre el frente del corte debe de asumirse rectangular y su magnitud del orden de 0,4 a 0,7 veces la presión de tierras de Coulomb.
5. No se han encontrado efectos negativos sobre la estabilidad o deformación bajo cargas dinámicas o rodado vehicular por encima del corte o talud.

### 3. PARAMETROS DE DISEÑO

Según la Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes de la Republica del El Salvador en el apartado 6.3.2 tabla 6.20 estipula los siguientes factores mínimos siguientes:

**Factor de seguridad.**

Condición	Combinación de Fuerzas	FS
1	$F_g$	1.4
2	$F_g + F_f + F_s$	1.1

*Tabla 6. Factores de seguridad basados en normativa salvadoreña*

En lo que respecta a la aceleración sísmica, se ha considerado un coeficiente sísmico horizontal igual a 0.20, según lo dictamina la Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes de la Republica del El Salvador en el apartado 5.3.3 y la Norma Geotécnica decreto 13 COAMSS, Capítulo VI literal (e).

Factores de Seguridad:

Para el cálculo de la estabilidad interna y global de los muros, se tomaron los siguientes factores de seguridad recomendados por el manual "CONSTRUCTION AND MONITORING OF SOIL NAILED WALLS":

1. Resistencia al "pullout": 100.00 KN/m (inyección IGU)
2. F.S. Reducción al punzonamiento: 1.10 (est. Interna), condición G+S.
3. F.S. Reducción del tendón: 1.35 (est. Interna), condición G+S.
4. F.S. Reducción al Pull out: 1.50 (est. Interna), condición G+S.
5. F.S. Reducción al punzonamiento: 1.50 (est. Interna), condición G.

6. F.S. Reducción del tendón: 1.50 (est. Interna), condición G.
7. F.S. Reducción al Pull out: 2.00 (est. Interna), condición G.
8. F.S. global gravedad. 1.40 (est. Externa)
9. F.S. global sísmico. 1.10 (est. Externa)

Para el dimensionamiento de los anclajes pasivos se ocupó una hoja de cálculo de la Texas Tech University la cual se rige bajo la normativa FHWA desing and Analysis of Soil-Nail Walls con los cuales obtuvimos los siguientes resultados:

## FHWA Design and Analysis of Soil-Nail Walls

[Abdulrahman Alhabshi](#)

Texas Tech University

This spreadsheet was developed based on the FHWA Method presented in Publication No. **FHWA A-SA-96-069R**

Please use this spreadsheet along with Charts provided in the above report

Prepared by: **BORIS ORELLANA**

Title: **TALUD QUINTAS DORADAS**

Date: **10/4/2023**

Units: **SI**

### Soil Parameters

Soil Type	Medium dense sand and silty sand/sand silt				
Ultimate Bond Stress (pullout), $Q_u$	50 - 75	kN/m <sup>2</sup>			
Select $Q_u$	62.05	kN/m <sup>2</sup>	=	25	kN/m for DGC = 127 mm
$\gamma$	17	kN/m <sup>3</sup>			
$\phi_u$	20	°			
$C_u$	32.5	kN/m <sup>2</sup>			
Back Slope, $\beta$	0	°			
Broken Slope	No				

### Wall Parameters

H	14.5	m			
Face Batter, $\eta$	47.5	°			
$S_v$	2	m			
$S_H$	2	m			
Soil Nail Inclination, $\alpha$	15	°			
Drill Hole Diameter, $D_{GC}$	127	mm	D [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	
Bar #	19		19.1	284	
Surcharge Load	Yes				
Surcharge, $q$	9.58	kN/m <sup>2</sup>			

### Step 1: Set Up Critical Design Cross-Section

#### 1- Simplified design-charts for preliminary design

Load Combination (AASHTO)	Group I
$F_\phi$	1.35
$F_C$	1.35
$\phi_D = \tan^{-1}(\tan\phi_u/F_\phi)$	15.1
$C_D = C_u/(F_C \gamma H)$	0.098

#### 2- Determine the required nominal nail strength, $T_{NN}$

$T_D$ (check Figs. 4.27-4.34) pg176-183	0.05		$\tan\phi_D$	$C_D$	$\beta$	$\eta$
$T_{NN} = T_D [\gamma HS_v S_H] / \alpha_{NN}$	90	kN	0.27	0.10	0	47.5

#### 3- Select Bar #

Grade ( $F_Y$ )	420	MPa			
Area required ( $A_B$ ) = $T_{NN}/F_Y$	213.42	mm <sup>2</sup>	D [in]	A [in <sup>2</sup> ]	
Bar #	19		19.1	284	

#### 4- Compute the dimensionless nail pullout resistance, $Q_D$

$$Q_D = \alpha_Q Q_U / (\gamma S_V S_H) \quad 0.182$$

#### 5 - Determine nail length, L

$T_D / Q_D$	0.27	$\tan\phi_D$	$C_D$
L/H (check Figs. 4.27-4.34) pg176-183	0.5	0.27	0.10
L	7.3		

#### Step 2: Compute the Allowable Nail Head Loads

Wall Type	Temporary				
Shortcrete Facing Thickness, hc	100	mm			
$f_c'$	28	MPa	A [mm <sup>2</sup> /m]	Wt. [kg/m <sup>2</sup> ]	
Reinforcement	152x152 - MW26xMW26		169.4	0.08	
Vertical Bearing bars	Yes			A [mm <sup>2</sup> ]	D [mm]
Bar No.	16	2x	16	398	15.9
Spacing					
Horizontal Waler bars	Yes			A [mm <sup>2</sup> ]	
Bar No.	16	2x	16	398	
Spacing					
Bearing Plate Dimension [W x L]	204	mm	where; W = L		
Bearing Plate Thickness [t]	19	mm			

#### 1- Determine the nail head strength

##### A - Facing Flexure

A-1 Compute negative and positive nominal unit moment,  $m_{v, \text{neg}}$  and  $m_{v, \text{pos}}$

$m_{v, \text{neg}}$	7.23	kN-m/m	$A_{s, \text{neg}}$	736.800	mm <sup>2</sup>
$m_{v, \text{pos}}$	3.45	kN-m/m	$A_{s, \text{pos}}$	338.800	mm <sup>2</sup>
$C_F$ (Table 4.2 pg 104)	2.0				

A-2 Determine the critical nominal nail head strength,  $T_{FN}$

$T_{FN}$	171	kN
----------	-----	----

##### B - Facing Punching Shear

D'c

	304	mm
--	-----	----

B-1 The nominal shear stress,  $V_N$

$V_N$	166.8	kN		
$C_F$ (Table 4.2 pg 104)	2.5		$A_c$ [mm <sup>2</sup> ]	AGC [mm <sup>2</sup> ]
Dc	404	mm	1.28E+05	1.27E+04

B-2 The critical nominal nail head strength,  $T_{FN}$

$T_{FN}$	180	kN
----------	-----	----

#### Shortcrete Facing

Failure Mode	Nominal Strength	Allowable Load	
	$T_{FN}$	$T_F$	
Facing Flexure	171	115	kN
Facing Punching	180	120	kN

**Step 3: Minimum Allowable Nail Head Service Load Check**

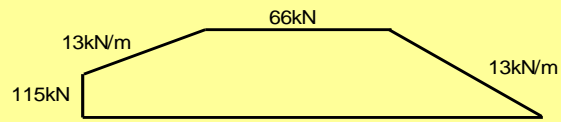
$Ka_c$  0.209  
 $t_F$  111.2 < 115

**OK - The estimated nail head service load does not exceed the allowable nail head load**

**Step 4: Define the Allowable Nail Load Support Diagram**

- 1- Allowable Pullout Resistance,  $Q$  12.4 kN/m
- 2- Allowable Nail Tendon Load,  $T_N$  65.6 kN
- 3- Allowable Nail Head Load,  $T_F$  114.5 kN

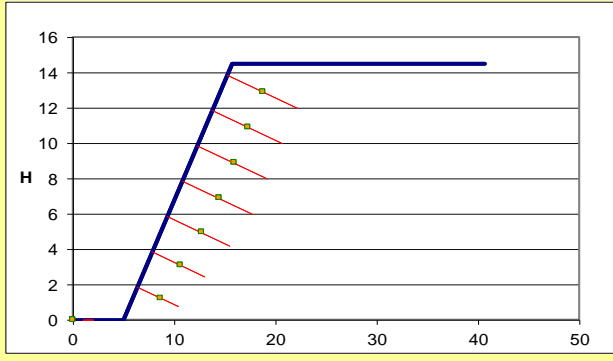
Allowable Nail Load Support Diagram



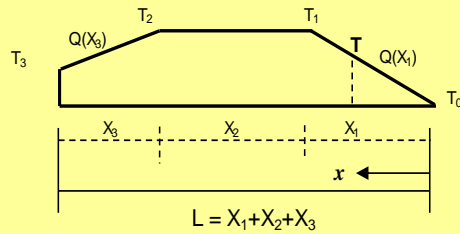
**Step 5: Select trial spacings and lengths**

Use varying nail lengths  Yes  No      0.67 m  
 $Q_D/(L/H)$  0.36  
 $R$  0.44  
 No. of soil nails ( $n$ )  7  8      0.52 m

Nail No	Trial Length	X	R <sub>x</sub>	L Dist.
1	7.3	13.83	1.00	7.3
2	7.3	11.83	1.00	7.3
3	7.3	9.83	1.00	7.3
4	7.3	7.83	1.00	7.3
5	7.3	5.83	0.89	6.5
6	7.3	3.83	0.73	5.3
7	7.3	1.83	0.58	4.2



### Step 6: Tension distribution along nails



Nail #	x (m)	T (kN)	T1 (kN)	T2 (kN)	T3 (kN)
1	3.44	42.6	66	66	115
2	3.44	42.6	66	66	115
3	3.44	42.6	66	66	115
4	3.44	42.6	66	66	115
5	2.9	35.9	66	66	115
6	2.35	29.1	66	66	115
7	1.77	21.9	52	115	115

### Step 7: Check the upper cantilever

$$\delta = (2/3) \phi' \quad 13.3 \quad 0$$

$$K_{aC} \quad 0.155$$

#### Shear Check

Shear force  $v_1$  (due to soil above 1<sup>st</sup> nail) 1.57 kN/m

Nominal one-way unit shear strength,  $V_{NS}$  43.9 kN/m

Allowable one-way unit shear,  $V = \alpha_F V_{NS}$  29.4 kN/m

**$v_1 < V$ , the design for shear is adequate**

#### Flexure Check

$m_s = 1/3 (H/\cos(\eta)) v_1$  1.161 kN-m/m

Allowable one-way unit moment,  $M = \alpha_F m_{v, NEG}$  4.85 kN-m/m

**$m_s < M$ , the design for flexure is adequate**

*Ilustración 12. Captura de pantalla con resumen de cálculos realizados para el dimensionamiento de Nailing.*

Resumen de datos obtenidos por la hoja de cálculo:

- Se detallan la cantidad de 7 anclajes pasivos con separación de 2m para una altura máxima de 14m
- Separación entre anclaje y corona de talud seria de 0.75m según lo establece la normativa FHWA
- Longitud de anclajes variada: La longitud de varillas se propone de esa forma debido a la variedad de longitudes que tiene el mercado
- Se propone una un concreto lanzado (Shotcrete) de  $F'c=280\text{kg/cm}^2$  con espesor de 13cm
- Electro malla soldada de 6"x6" 3/3 grado 70
- Barra N°6 grado 60, agujero 5"
- Lechada para la inyección de los anclajes de  $210\text{kg/cm}^2$
- Placas ASTM A-36

Nail N°	Longitud necesaria según cargas	Longitud propuesta por motivos constructivos
1	8.3	9
2	8.3	9
3	7.3	7.5
4	7.3	7.5
5	5.5	6

6	5.3	6
7	4.2	4.5

*Tabla 7. Longitudes efectivas de Nailing para construcción*

Con los datos obtenidos de parte del diseño con la normativa FHWA, procedemos a ocupar dichos datos de propuesta para introducirlos al programa GEO5 para corroborar si cumplen para la estabilidad del talud.

Resumen:

Estático FS= 2.16 > 1.50 OK!

Estático con sobrecarga FS= 2.05 > 1.50 OK!

Dinámico FS= 1.67 > 1.50 OK!

Dinámico con sobrecarga FS= 1.58 > 1.00 OK!

Memoria de cálculo y revisión: anexos

#### 4. PLANOS Y ESQUEMAS

Se presenta actualmente el plano final de la distribución de anclajes activos a lo largo del muro al igual que el diseño transversal de los anclajes como tal

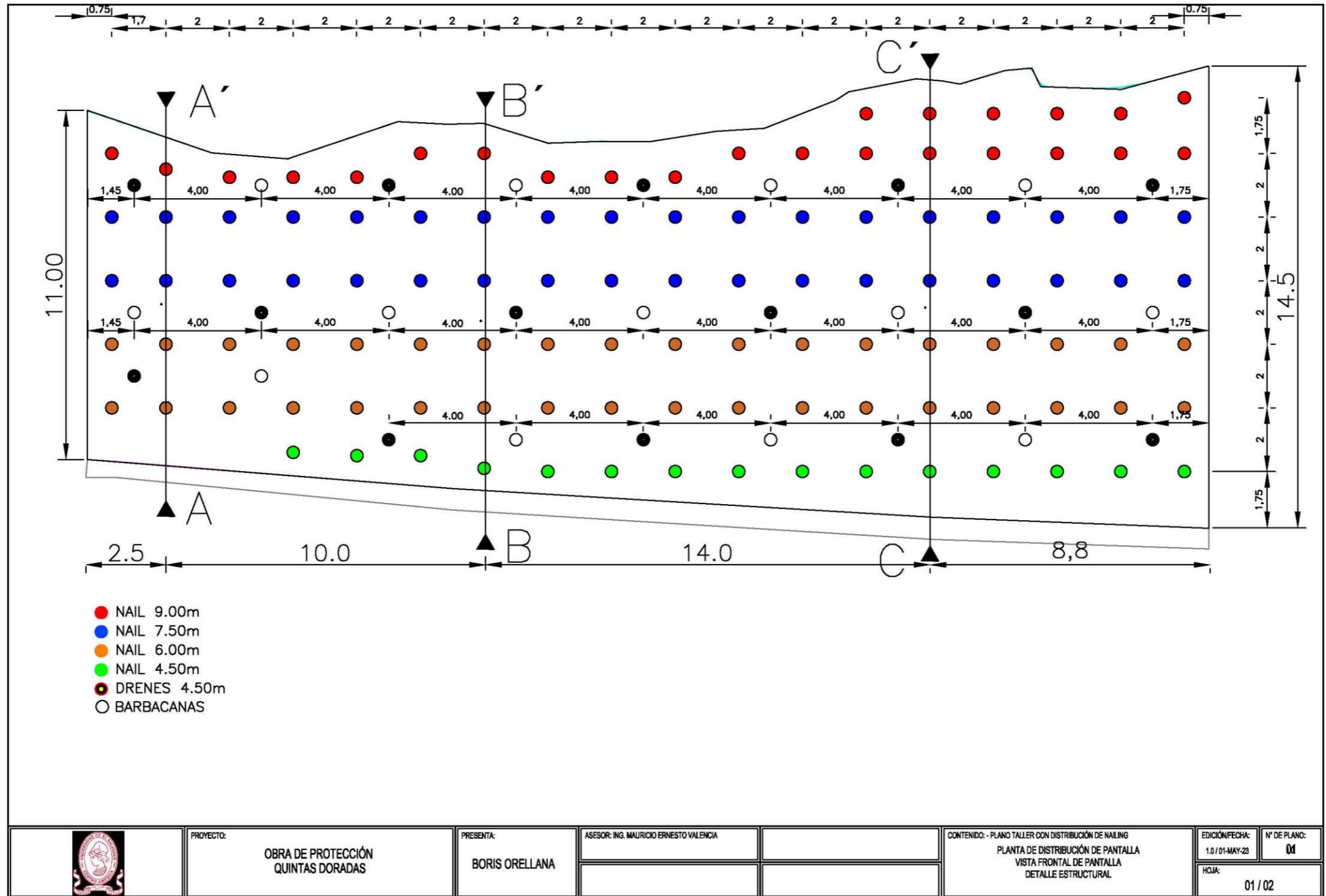
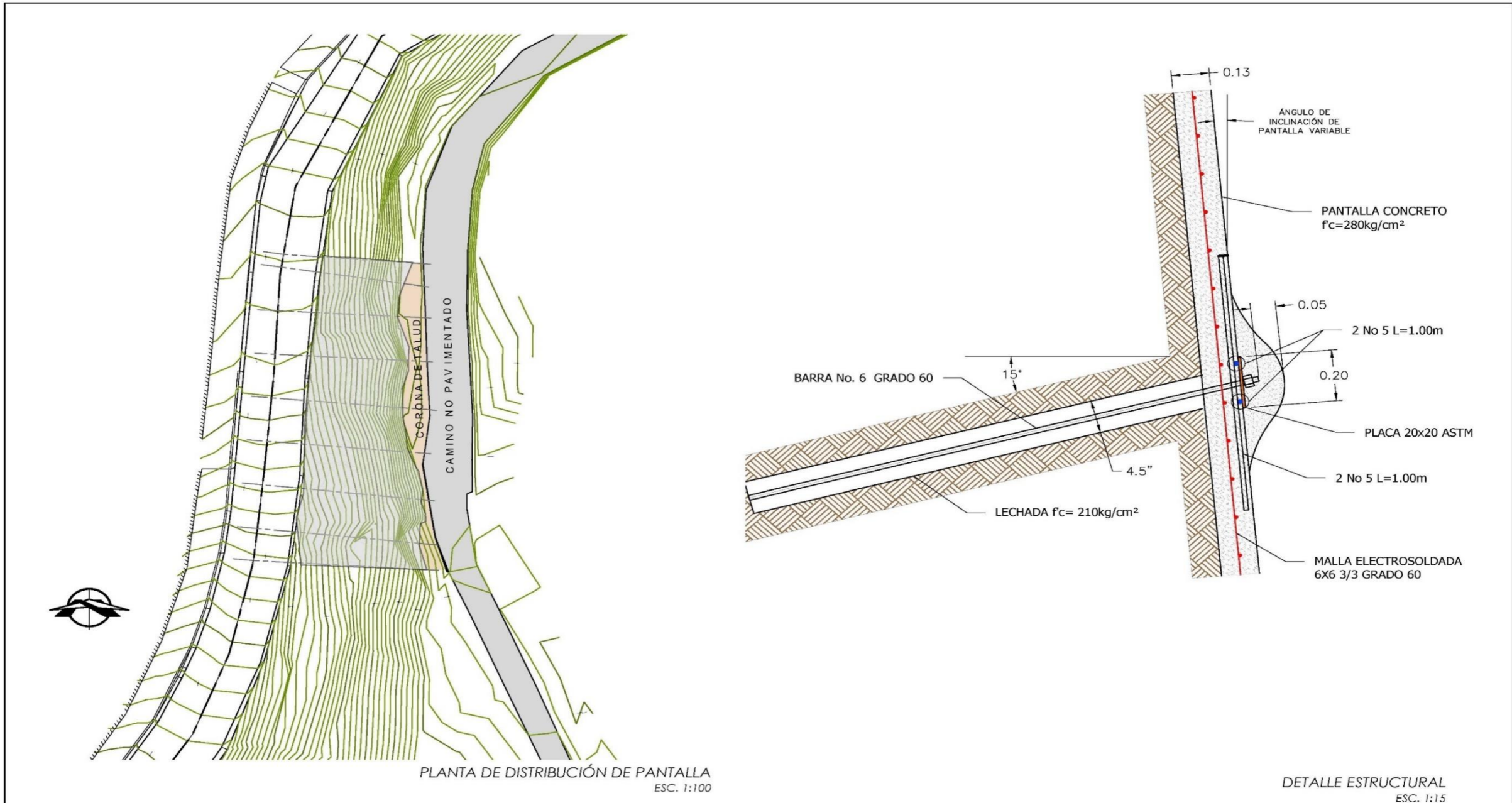


Ilustración 13. Plano de distribución de Nailing.




	PROYECTO: <b>OBRA DE PROTECCIÓN QUINTAS DORADAS</b>	PRESENTA: <b>BORIS ORELLANA</b>	ASESOR: ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA	CONTENIDO: - PLANO TALLER CON DISTRIBUCIÓN DE NAILING PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE PANTALLA VISTA FRONTAL DE PANTALLA DETALLE ESTRUCTURAL	EDICIÓN/FECHA: 1.0 / 01-MAY-23	N° DE PLANO: <b>01</b>
					HOJA: 01 / 02	

Ilustración 14. Vista frontal y transversal de diseño.

## CAPÍTULO VI: PRESUPUESTO

Los datos plasmados en este presupuesto son basados en los precios actuales del mercado ya sea para alquiler de maquinaria, materiales de ejecución, personal, etc.

Codigo y nombre de Obra					julio-23																agosto-23								septiembre-23							
QUINTAS DORADAS					SEMANA 27				SEMANA 28				SEMANA 29				SEMANA 30				SEMANA 31				SEMANA 32				SEMANA 33				SEMANA 34			
ITEM	PRODUCCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	Dias 7				Dias 7				Dias 7				Dias 7				Dias 7				Dias 10				Dias 9				Dias 7			
					CANTIDAD		VALOR		CANTIDAD		VALOR		CANTIDAD		VALOR		CANTIDAD		VALOR		CANTIDAD		VALOR		CANTIDAD		VALOR		CANTIDAD		VALOR					
COSTOS RODIO-SWISSBORING					Unidad	No personas	DIARIO				SEMANA				SEMANA				SEMANA				SEMANA				SEMANA									
					USD		CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR						
Personal Mensual - Locales - (Ej: Adm)																																				
Ingeniero Residente	Dia	1.00	\$	57.20	\$	57.20	7.00	\$	400.40	7.00	\$	400.40	7.00	\$	400.40	7.00	\$	400.40	7.00	\$	400.40	10.00	\$	572.00	9.00	\$	514.80	7.00	\$	400.40						
Encargado de obra	Dia	1.00	\$	82.16	\$	82.16	5.00	\$	410.80	7.00	\$	575.12	7.00	\$	575.12	7.00	\$	575.12	7.00	\$	575.12	10.00	\$	821.60	5.00	\$	410.80	0.00	\$	-						
Delegado de seguridad	Dia	1.00	\$	41.60	\$	41.60	7.00	\$	291.20	7.00	\$	291.20	7.00	\$	291.20	7.00	\$	291.20	7.00	\$	291.20	10.00	\$	416.00	4.00	\$	166.40	0.00	\$	-						
	Dia		\$	-	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-	0.00	\$	-						
<b>TOTALES PERSONAL MES</b>					<b>\$</b>	<b>180.96</b>		<b>1,102.40</b>		<b>1,266.72</b>		<b>1,266.72</b>		<b>1,266.72</b>		<b>1,266.72</b>		<b>1,266.72</b>		<b>1,266.72</b>		<b>1,809.60</b>		<b>1,092.00</b>		<b>400.40</b>										
Personal Diario - Local con contrato de Ob																																				
Inyectista	Dia	1.00	\$	45.46	\$	45.46	7.00	\$	318.24	7.00	\$	318.24	7.00	\$	318.24	7.00	\$	318.24	7.00	\$	318.24	10.00	\$	454.63	4.00	\$	181.85	0.00	\$	-						
Ayudante Perforacion	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Ayudante Perforacion	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	3.00	\$	110.63	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Ayudante Inyeccion/Lanzado	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Ayudante Inyeccion/Lanzado	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	3.00	\$	110.63	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Chofer de obra	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Albañil #1	Dia	1.00	\$	55.57	\$	55.57	0.00	\$	-	3.00	\$	166.70	7.00	\$	388.96	7.00	\$	388.96	7.00	\$	388.96	10.00	\$	555.66	4.00	\$	222.26	0.00	\$	-						
Albañil #2	Dia	1.00	\$	55.57	\$	55.57	0.00	\$	-	3.00	\$	166.70	7.00	\$	388.96	7.00	\$	388.96	7.00	\$	388.96	10.00	\$	555.66	4.00	\$	222.26	0.00	\$	-						
Ayudante Albañil	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	3.00	\$	110.63	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Ayudante Albañil	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	3.00	\$	110.63	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Lanzador	Dia	1.00	\$	45.46	\$	45.46	0.00	\$	-	0.00	\$	-	7.00	\$	318.24	7.00	\$	318.24	7.00	\$	318.24	10.00	\$	454.63	4.00	\$	181.85	0.00	\$	-						
Auxiliar de Obra	Dia	1.00	\$	60.62	\$	60.62	3.50	\$	212.16	3.50	\$	212.16	7.00	\$	424.32	7.00	\$	424.32	7.00	\$	424.32	10.00	\$	606.17	4.00	\$	242.47	0.00	\$	-						
Ayudante Albañil	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	3.00	\$	110.63	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-						
Ayudante Albañil	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	0.00	\$	-	4.00	\$	147.50	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-									
Ayudante Albañil	Dia	1.00	\$	36.88	\$	36.88	0.00	\$	-	0.00	\$	-	4.00	\$	147.50	7.00	\$	258.13	10.00	\$	368.75	4.00	\$	147.50	0.00	\$	-									
Albañil #3	Dia	1.00	\$	55.57	\$	55.57	0.00	\$	-	0.00	\$	-	4.00	\$	222.26	7.00	\$	388.96	10.00	\$	555.66	4.00	\$	222.26	0.00	\$	-									
<b>TOTALES PERSONAL DIARIO</b>					<b>\$</b>	<b>686.99</b>		<b>1,046.66</b>		<b>2,191.31</b>		<b>3,903.74</b>		<b>4,421.01</b>		<b>4,808.96</b>		<b>6,869.94</b>		<b>2,747.98</b>		<b>0.00</b>														
Alquiler de maquinaria					UND	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR						
DH-21 Perforadora Comacchio	Dia	1.00	\$	20.15	\$	20.15	3.50	\$	70.53	5.00	\$	100.75	7.00	\$	141.05	7.00	\$	141.05	7.00	\$	141.05	10.00	\$	201.50	4.00	\$	80.60	0.00	\$	-						
CI-09 Central de Inyecciones Domine	Dia	1.00	\$	15.35	\$	15.35	0.00	\$	-	0.00	\$	-	7.00	\$	107.45	7.00	\$	107.45	7.00	\$	107.45	10.00	\$	153.50	4.00	\$	61.40	0.00	\$	-						
CF-20 Carretilla Manitou MT 1740	Dia	1.00	\$	43.24	\$	43.24	5.00	\$	216.20	5.00	\$	216.20	7.00	\$	302.68	7.00	\$	302.68	7.00	\$	302.68	10.00	\$	432.40	4.00	\$	172.96	0.00	\$	-						
Pick-Up L200	Dia	1.00	\$	25.50	\$	25.50	7.00	\$	178.50	7.00	\$	178.50	7.00	\$	178.50	7.00	\$	178.50	7.00	\$	178.50	10.00	\$	255.00	9.00	\$	229.50	7.00	\$	178.50						
Contenedor Bodega	Dia	1.00	\$	1.55	\$	1.55	0.00	\$	-	7.00	\$	10.85	7.00	\$	10.85	7.00	\$	10.85	7.00	\$	10.85	10.00	\$	15.50	4.00	\$	6.20	0.00	\$	-						
<b>TOTAL AI</b>					<b>\$</b>	<b>105.79</b>		<b>465.23</b>		<b>506.30</b>		<b>740.53</b>		<b>740.53</b>		<b>740.53</b>		<b>740.53</b>		<b>1,057.90</b>		<b>550.66</b>		<b>178.50</b>												
Alquileres Externos					UND	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR						
CASA OFICINA/HABITACION (20/07)	Dia	1.00	\$	18.33	\$	18.33	4.00	\$	73.33	7.00	\$	128.33	7.00	\$	128.33	7.00	\$	128.33	7.00	\$	128.33	10.00	\$	183.33	19.00	\$	348.33	0.00	\$	-						
COMPRESOR 185 CFM	Dia	1.00	\$	63.33	\$	63.33	0.00	\$	-	0.00	\$	-	7.00	\$	443.31	7.00	\$	443.31	7.00	\$	443.31	10.00	\$	633.30	0.00	\$	-	0.00	\$	-						
PICK UP OBRA (11/07)	Dia	1.00	\$	40.00	\$	40.00	14.00	\$	560.00	7.00	\$	280.00	7.00	\$	280.00	7.00	\$	280.00	7.00	\$	280.00	10.00	\$	400.00	5.00	\$	200.00	0.00	\$	-						
BANOS (14/07)	Dia	1.00	\$	8.00	\$	8.00	11.00	\$	88.00	7.00	\$	56.00	7.00	\$	56.00	7.00	\$	56.00	7.00	\$	56.00	10.00	\$	80.00	4.00	\$	32.00	0.00	\$	-						
ABRAZADERAS (40u/2307)	Dia	1.00	\$	3.33	\$	3.33	2.00	\$	6.67	7.00	\$	23.33	7.00	\$	23.33	7.00	\$	23.33	7.00	\$	23.33	10.00	\$	33.33	20.00	\$	66.67	0.00	\$	-						
RETROEXCAVADORA REQUENO	Dia	1.00	\$	264.00	\$	264.00	0.00	\$	-	0.00	\$	-	6.00	\$	1,584.00	6.00	\$	1,584.00	6.00	\$	1,584.00	9.00	\$	2,376.00	0.00	\$	-	0.00	\$	-						
GENERADOR	Dia	1.00	\$	25.00	\$	25.00	0.00	\$	-	0.00	\$	-	3.00	\$	75.00	3.00	\$	75.00	3.00	\$	75.00	3.00	\$	75.00	0.00	\$	-	0.00	\$	-						
SEGURIDAD NOCTURNA (13/07)	Dia	1.00	\$	29.00	\$	29.00	12.00	\$	348.00	7.00	\$	203.00	7.00	\$	203.00	7.00	\$	203.00	7.00	\$	203.00	10.00	\$	290.00	4.00	\$	116.00	0.00	\$	-						
<b>TOTAL ALQ. EXTER</b>					<b>\$</b>	<b>451.00</b>		<b>1,076.00</b>		<b>690.67</b>		<b>2,792.98</b>		<b>2,792.98</b>		<b>2,792.98</b>		<b>2,792.98</b>		<b>4,070.97</b>		<b>763.00</b>		<b>0.00</b>												
Energia, Combustibles y Lubricantes					Galones	COSTO	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR						
MANITOU CF20	gl.	25.00	\$	4.14	\$	103.50	0.00																													

Transportes	UND	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR
Manitou (ida y vuelta)	Día	4.00	\$ 200.00	\$ 800.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	3.00	\$ 600.00	0.00	\$ -	1.00	\$ 200.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	4.00	\$ 800.00
Contenedor Bodega (ida y vuelta)	Día	2.00	\$ 160.00	\$ 320.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 160.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 160.00	0.00	\$ -	2.00	\$ 320.00
Retroexcavadora Chapa-Quintas (ida y vuelta)	Día	2.00	\$ 375.00	\$ 750.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 375.00	0.00	\$ -	1.00	\$ 375.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 750.00
Retroexcavadora proyecto Chapa	Día	1.00	\$ 300.00	\$ 300.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.50	\$ 150.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.50	\$ 150.00	0.00	\$ -	1.00	\$ 300.00
compresor 185CFM	Día	2.00	\$ 125.00	\$ 250.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 125.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 125.00	0.00	\$ -	2.00	\$ 250.00
Flete Acero/electromalla	Día	2.00	\$ 250.00	\$ 500.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 250.00	1.00	\$ 250.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 500.00
<b>TOTAL TRANSPORTES</b>				<b>\$ 2,920.00</b>		<b>0.00</b>		<b>0.00</b>		<b>160.00</b>		<b>1,500.00</b>		<b>250.00</b>		<b>575.00</b>		<b>435.00</b>		<b>0.00</b>		<b>\$ 2,920.00</b>
Materiales de ejecución	UND	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR
CEMENTO INYECCION	sacos	400.00	\$ 8.25	\$ 3,300.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	50.00	\$ 412.50	90.00	\$ 742.50	100.00	\$ 825.00	100.00	\$ 825.00	60.00	\$ 495.00	0.00	\$ -	400.00	\$ 3,300.00
BARRAS No3 G-60 de 12.00 PINES	ud	60.00	\$ 8.40	\$ 504.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	10.00	\$ 84.00	16.00	\$ 134.40	16.00	\$ 134.40	18.00	\$ 151.20	0.00	\$ -	0.00	\$ -	60.00	\$ 504.00
BARRAS No6 G-60 de 12.00 Nailing	ud	26.00	\$ 33.53	\$ 871.78	0.00	\$ -	0.00	\$ -	3.00	\$ 100.59	7.00	\$ 234.71	8.00	\$ 268.24	8.00	\$ 268.24	0.00	\$ -	0.00	\$ -	26.00	\$ 871.78
BARRAS No6 G-60 de 9.00 nailing	ud	103.00	\$ 25.14	\$ 2,589.42	0.00	\$ -	0.00	\$ -	23.00	\$ 578.22	23.00	\$ 578.22	23.00	\$ 578.22	23.00	\$ 578.22	11.00	\$ 276.54	0.00	\$ -	103.00	\$ 2,589.42
BARRAS No5 G-60 de 12.00 Punzonamiento	ud	54.00	\$ 24.00	\$ 1,296.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	6.00	\$ 144.00	10.00	\$ 240.00	12.00	\$ 288.00	10.00	\$ 240.00	16.00	\$ 384.00	0.00	\$ -	54.00	\$ 1,296.00
Electromalla 6x6 calibre 3/3 grado 60 (area 10.4)	ud	65.00	\$ 53.00	\$ 3,445.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	12.00	\$ 636.00	20.00	\$ 1,060.00	17.00	\$ 901.00	16.00	\$ 848.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	65.00	\$ 3,445.00
Concreto para Lanzado 4000PSI (Con control de temperatura)	m3	120.00	\$ 155.00	\$ 18,600.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	15.00	\$ 2,325.00	35.00	\$ 5,425.00	34.00	\$ 5,270.00	36.00	\$ 5,580.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	120.00	\$ 18,600.00
bomba de lanzado	ud	8.00	\$ 180.00	\$ 1,440.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 180.00	2.00	\$ 360.00	2.00	\$ 360.00	2.00	\$ 360.00	1.00	\$ 180.00	0.00	\$ -	8.00	\$ 1,440.00
Alambre de amarre (2q)	qq	3.00	\$ 212.00	\$ 636.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.50	\$ 106.00	0.50	\$ 106.00	1.00	\$ 212.00	1.00	\$ 212.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	3.00	\$ 636.00
Tubo PVC 2 in x 6mts (100 PSI)	ud	8.00	\$ 12.50	\$ 100.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 25.00	2.00	\$ 25.00	2.00	\$ 25.00	2.00	\$ 25.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	8.00	\$ 100.00
Placas 20x20x3/4"	ud	144.00	\$ 9.31	\$ 1,340.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	29.00	\$ 269.86	43.00	\$ 400.14	42.00	\$ 390.83	30.00	\$ 279.17	0.00	\$ -	0.00	\$ -	144.00	\$ 1,340.00
Fabricacion de Placas	ud	144.00	\$ 2.50	\$ 360.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	29.00	\$ 72.50	43.00	\$ 107.50	42.00	\$ 105.00	30.00	\$ 75.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	144.00	\$ 360.00
Pintura Anticorrosiva barras	gl	10.00	\$ 13.25	\$ 132.50	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 26.50	2.00	\$ 26.50	2.00	\$ 26.50	2.00	\$ 26.50	2.00	\$ 26.50	0.00	\$ -	10.00	\$ 132.50
Pintura Anticorrosiva plafas	gl	5.00	\$ 13.25	\$ 66.25	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 13.25	1.00	\$ 13.25	1.00	\$ 13.25	2.00	\$ 26.50	0.00	\$ -	5.00	\$ 66.25
Poliducto 3/4"	rollo	11.50	\$ 29.00	\$ 333.50	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 58.00	4.00	\$ 116.00	4.00	\$ 116.00	1.50	\$ 43.50	0.00	\$ -	0.00	\$ -	11.50	\$ 333.50
Antisol	tonel	1.50	\$ 331.86	\$ 497.79	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.25	\$ 82.97	0.50	\$ 165.93	0.50	\$ 165.93	0.25	\$ 82.97	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.50	\$ 497.79
Provision de materiales	ud	0.00	\$ 3,000.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ 0.00
Tuercas y Arandelas	ud	155.00	\$ 1.30	\$ 201.50	0.00	\$ -	0.00	\$ -	25.00	\$ 32.50	45.00	\$ 58.50	40.00	\$ 52.00	45.00	\$ 58.50	0.00	\$ -	0.00	\$ -	155.00	\$ 201.50
Tubería Mundi (40x120)	ud	1.00	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.35	\$ 700.00	0.35	\$ 700.00	0.30	\$ 600.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 2,000.00
Maderas para andamios	ud	1.00	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.35	\$ 700.00	0.35	\$ 700.00	0.30	\$ 600.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 2,000.00
Ajuste Por Contabilidad - Dependes del Mes	ud	0.00	\$ -	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ 0.00
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 39,713.74</b>		<b>0.00</b>		<b>0.00</b>		<b>5,133.64</b>		<b>11,193.65</b>		<b>11,131.37</b>		<b>10,866.54</b>		<b>1,388.54</b>		<b>0.00</b>		<b>\$39,713.74</b>
Subcontratas	UND	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR
Servicio de Seguridad Nocturno	MES	0.00	\$ -	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ 0.00
Topografía	VISITAS	4.00	\$ 350.00	\$ 1,400.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 350.00	1.00	\$ 350.00	1.00	\$ 350.00	1.00	\$ 350.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	4.00	\$ 1,400.00
CONTROL DE CALIDAD	VISITAS	10.00	\$ 150.00	\$ 1,500.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 300.00	2.00	\$ 300.00	2.00	\$ 300.00	2.00	\$ 300.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	10.00	\$ 1,500.00
Prueba PulIOUT	VISITAS	2.00	\$ 1,500.00	\$ 3,000.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	1.00	\$ 1,500.00	1.00	\$ 1,500.00	0.00	\$ -	0.00	\$ -	2.00	\$ 3,000.00
<b>TOTAL SUBCONTRATOS</b>				<b>\$ 5,900.00</b>		<b>0.00</b>		<b>0.00</b>		<b>650.00</b>		<b>650.00</b>		<b>2,150.00</b>		<b>2,150.00</b>		<b>300.00</b>		<b>0.00</b>		<b>5,900.00</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>						<b>\$ 3,988.36</b>		<b>\$ 5,592.78</b>		<b>\$ 19,941.28</b>		<b>\$ 27,889.81</b>		<b>\$ 28,465.48</b>		<b>\$ 33,489.40</b>		<b>\$ 8,424.21</b>		<b>\$ 578.90</b>		<b>\$ 128,370.21</b>

Tabla 8. Presupuesto para ejecución de obra

**Costo total de la obra: \$128,370.21**

## CONCLUSIONES

- Para disminuir las deformaciones excesivas en la parte superior del muro y permitir la redistribución adecuada de las presiones del suelo a los segmentos interiores de la pantalla de revestimiento del sistema, se debe hacer énfasis en un dimensionamiento adecuado del voladizo del muro en ambas direcciones y en las revisiones por flexión y cortante para la evaluación de la resistencia del mismo.
- Para evitar la influencia de momentos actuantes de grandes magnitudes en la pantalla de concreto lanzado, o que la resistencia axial de los nails se vea reducida, se deben definir en forma adecuada las separaciones entre los nails, tomando en cuenta los valores mínimos y máximos establecidos por la metodología de diseño.
- Para determinar la longitud de los nails en forma adecuada se debe tomar en cuenta la combinación de factores críticos como: las propiedades del suelo (resistencia al corte del suelo), resistencia al arrancamiento de los nails, la geometría del sistema (inclinación de la cara y relleno del muro), y la presencia de sobrecargas en el sistema.

- En El Salvador, en la mayoría de los casos, la pantalla de revestimiento del Soil Nailing se construye con una sola capa de concreto lanzado y no considera una conexión empernada, por lo que es necesario proporcionar un espesor que sea adecuado para proveer una resistencia suficiente para los modos de falla por flexión y cortante por punzonamiento en la cabeza del nail.
- El diseño de la placa de acero en la cabeza del nail (analogía de placa base de columna) no es crítico en el proceso de diseño, debido a que las fuerzas axiales son considerablemente menores a las que se desarrollan en muros con anclajes activos.
- La resistencia interna de los nails por flexión y cortante no es crítica en la evaluación de los modos internos de falla del muro, ya que su contribución a la estabilidad total del sistema es muy pequeña (aproximadamente un 10%) debido a la esbeltez de estos.
- Para el cálculo de la resistencia de diseño al arrancamiento del nail se debe considerar la incidencia de factores determinantes, como la adherencia del suelo o de la roca circundante y las dimensiones del nail (diámetro y longitud), todo con el fin de desarrollar una resistencia adecuada que se movilice en el área perimetral del nail.

- En estos sistemas, cuando los nails tienen una longitud adecuada, los modos de falla por deslizamiento y volteo no representan una condición crítica en la consecución de la estabilidad externa del sistema, debido a que la masa de suelo reforzada, por sus dimensiones, genera una resistencia que a menudo es superior a las fuerzas desestabilizadoras actuantes.
- Al realizar el análisis en el programa GEO5 se nos es más fácil el cálculo de la estabilidad del talud previamente realizando el diseño por normativa FHWA.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar una longitud de voladizo que varíe en el rango de un tercio a dos tercios de la separación promedio de los nails. En todo caso, se debe procurar no exceder 1.5 m. Además, deberá realizarse las respectivas evaluaciones por flexión y cortante, al igual que cualquier otra estructura de concreto reforzado.
- En cuanto a la separación de los nails (horizontal y vertical), se recomienda que se utilice el rango sugerido por la FHWA, el cual varía de 1.25 a 2.0 metros, siendo 1.5 metros un valor bastante utilizado en la práctica local e internacional. Además, por simplicidad en el proceso de diseño y de construcción, es adecuado proponer que tanto las separaciones verticales como horizontales sean iguales.
- Cuando se utilice una única capa de concreto lanzado, se recomienda que para un pre-dimensionamiento, el espesor efectivo de dicha capa sea al menos de 15 centímetros, medido desde el borde inferior de la placa hasta la cara del suelo. Además, se deberá realizar la revisión de los modos de falla en la pantalla de revestimiento correspondientes a flexión y al cortante por punzonamiento.

- Se recomienda que para el diseño de la pantalla de revestimiento mediante la evaluación de los modos de falla, se contemple la posibilidad y factibilidad de utilizar como refuerzo principal (siempre que el espesor de la pantalla sea adecuado), barras de acero corrugadas (comúnmente N°3, grado 60) en ambos sentidos, con una separación de al menos 15 cm en lugar de la malla de alambre electro-soldado para incrementar la resistencia a flexión.
- En la evaluación del modo de falla por punzonamiento en la pantalla de revestimiento, la consideración de la contribución del suelo debajo de la pantalla para resistir la fuerza cortante incrementa la resistencia nominal en la cabeza del nail hasta en un 15%, pero para ser más conservadores en el diseño, se recomienda no hacer uso de dicha consideración, lo que supone tener un pequeño margen de tolerancia frente a este tipo de falla.
- Para la evaluación de los modos internos de falla de un muro Soil Nailing, se recomienda poner especial atención a la evaluación de la falla por arrancamiento, la falla por deslizamiento en la interfaz barra-grout y la falla de ruptura por tensión en el nail, considerando que los modos de falla por flexión y cortante no son críticos para el diseño.
- Se recomienda que para el cálculo de la resistencia de diseño al

arrancamiento de los nails se considere un diámetro que varíe entre 10 y 30 centímetros, ya que con este rango se puede garantizar una resistencia adecuada por adherencia, debido a que se genera un área perimetral resistente a lo largo de toda la longitud de este.

- Al emplear las cartas de diseño elaboradas por la FHWA para muros Soil Nailing, e ingeniero diseñador debe tomar en cuenta la protección adicional contra la corrosión al calcular las áreas de acero de los nails por medio de las tensiones nominales obtenidas en el proceso de diseño. Por lo tanto, se recomienda como práctica conservadora, incrementar el área de acero requerida en un 10% antes de hacer la elección correspondiente de la barra.
- Cuando se evalúe el modo de falla interna por ruptura del nail debido a la tensión, se recomienda utilizar barras de acero corrugadas de diámetro igual o mayor que el de la barra N°6 (19 mm), con un esfuerzo de fluencia no menor a 420 MPa (grado 60).
- Para la evaluación de la estabilidad externa del muro bajo condición sísmica, se recomienda utilizar la teoría de Mononobe-Okabe, con un coeficiente sísmico horizontal,  $k_h$  de 0.16 (según Normativa Nacional),

considerando la seguridad estructural y los recursos económicos disponibles. Sin embargo, algunos expertos proponen utilizar un coeficiente de 0.20, aunque este tendría como consecuencia el diseño de una estructura orientada a la seguridad pero implicaría mayores costos económicos.

- Para la utilización de la técnica del concreto lanzado (shotcrete), se recomienda atender las especificaciones y requerimientos propuestos por el ACI para garantizar el mejor desempeño del elemento de concreto. Los requisitos del concreto lanzado también se pueden encontrar en las publicaciones de la FHWA para sistemas de muros Soil Nailing y para muros anclados.
- En cuanto a las pruebas de carga en los sistemas de muros con anclajes activos y a los sistemas Soil Nailing, se recomienda atender las especificaciones establecidas por la FHWA para establecer el nivel de resistencia y la calidad de los elementos instalados en el terreno.

## BIBLIOGRAFÍA

- “INGENIERIA GEOLOGICA” Luis González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo. Pearson Educación, Madrid 2002.
- “MANUAL DE CONSTRUCCION GEOTÉCNICA”, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Tomos I y II, Año 2002.
- “RIESGOS GEOLÓGICOS” Instituto Geológico y Minero de España
- “INGENIERÍA DE CARRETERAS” Vol. 2, Carlos Kraemer, José Pardillo, Sandro Rocci, Manuel Romana, Víctor Sánchez. Mc. Graw Hill 2004.
- “INVESTIGACIÓN Y MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS” Transportation Research Board (1996), Special report 247. Washington, 675 p.
- “DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES”, Jaime Suárez Díaz
- “MANUAL DE INGENIERÍA DE TALUDES”, Instituto Geominero de España, Año 2000.
- Tesis: “APLICACIONES DEL CONCRETO LANZADO EN ESTABILIZACIÓN DE TALUDES ANCLADOS Y REVESTIMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES”, por Alvarado Velásquez, Arteaga Mena, Coreas, Lorenzo, Universidad de El Salvador, 2004.
- Tesis: “CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL AMSS Y APLICACIÓN A LA EVALUACIÓN DE

AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS”, Universidad Centroamericana  
“José Simeón

- Tesis: “TECNICAS DE MITIGACIÓN PARA EL CONTROL DE DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y SU APLICACIÓN A UN CASO ESPECÍFICO”, por Alberti José, Canales Rodolfo, Sandoval Brenda, Universidad de El Salvador, 2006.
- “SOIL NAILING WALLS REFERENCE MANUAL”, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, February 2015
- “EVALUACIÓN DEL RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA (GUÍA METODOLÓGICA)”, Castro Marín, Valencia Núñez, Ojeda Moncayo, Muñoz Carmona, Fonseca González.

## ANEXOS

## Análisis de estabilidad de taludes

Programa: Estabilidad de Taludes

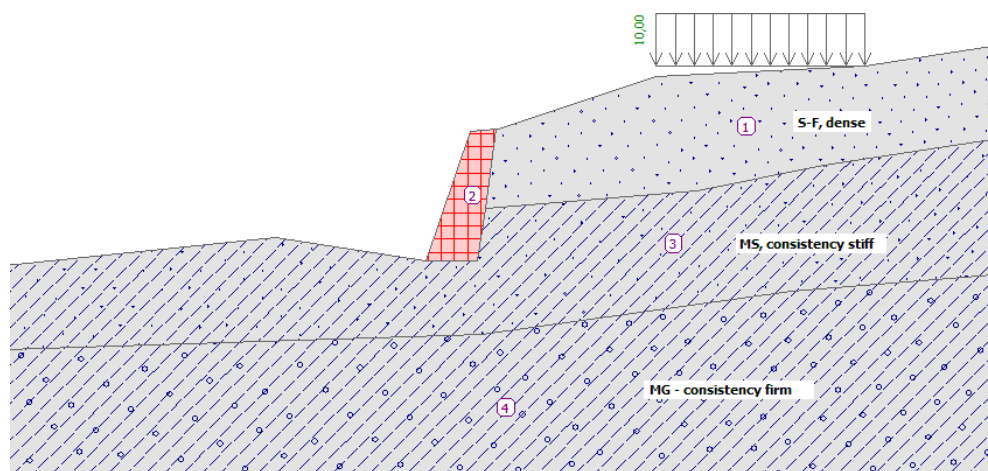
Archivo: Demo\_manual\_08.gp2

En este capítulo, vamos a mostrarle cómo verificar la estabilidad de taludes con superficies de deslizamiento circular y poligonal (utilizando su optimización), y las diferencias entre los métodos de análisis de estabilidad de taludes.

### Asignación

Realizar un análisis de estabilidad de taludes de pendiente diseñada con un muro de gravedad.

Esta es una situación permanente de diseño. El factor de seguridad requerido es  $SF = 1,50$ . No hay agua en el talud.



Esquema de asignación

### Solución

Para resolver este problema, vamos a utilizar el programa GEO5 „Estabilidad de taludes”. En este capítulo, vamos a explicar paso a paso como resolver este problema:

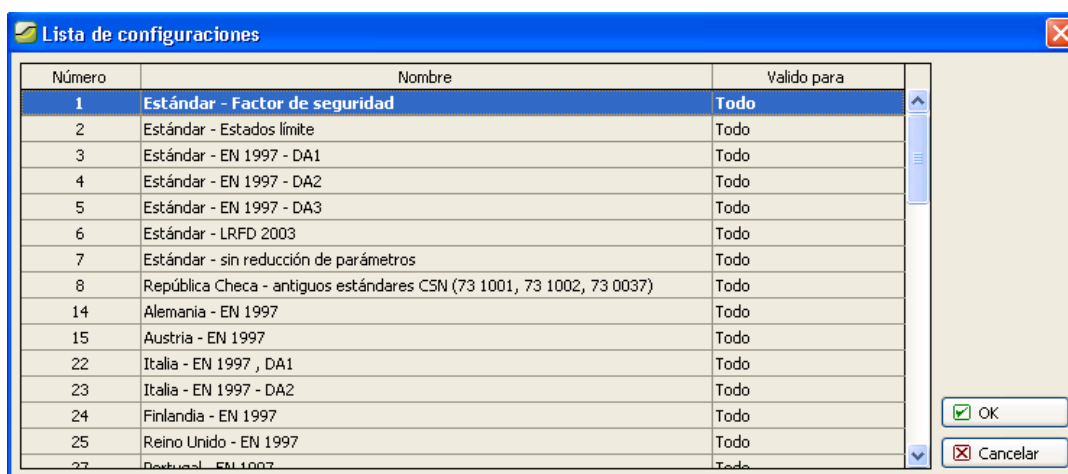
- Análisis nro. 1: optimización de la superficie de deslizamiento circular (Bishop)
- Análisis nro. 2: Verificación de la estabilidad de taludes para todos los métodos

*Anexo 1. Manual básico para introducción de datos en programa GEO5*

- Análisis nro. 3: Optimización de la superficie de deslizamiento poligonal (Spencer)
- Resultado de análisis (conclusión)

Entrada de geometría y otros parámetros

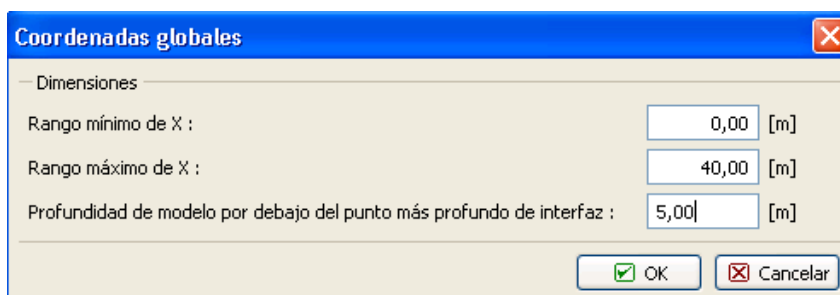
En el cuadro "Configuración" haga clic en "Seleccionar" y elija opción de nro. 1 - "Estándar -factor de seguridad".



Cuadro „Lista de configuración”

En primer lugar, en el cuadro de "Interfaz" ingresar el rango de coordenadas.

La "Profundidad del punto de interfaz más profundo" es sólo para la visualización del ejemplo - que no tiene ninguna influencia en el análisis.



Luego modelamos las capas de interfaz, respecto del terreno utilizando estas coordenadas:

	Interface 1		Interface 2		Interface 3		Interface 4	
	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]
1	0,00	-4,75	16,80	-4,54	19,17	-2,48	0,00	-8,07
2	10,81	-3,64	18,87	-4,57	27,61	-1,75	19,06	-7,50
3	16,80	-4,54	19,17	-2,48	32,66	-0,74	31,40	-5,77
4	18,59	0,63	19,62	0,71	40,00	0,36	40,00	-5,05
5	19,62	0,71						
6	19,71	0,71						
7	26,00	2,80						
8	34,30	3,20						
9	40,00	4,12						

*Añadiendo puntos de interfaz*

Luego, defina los parámetros del suelo, y asígnelos al perfil.

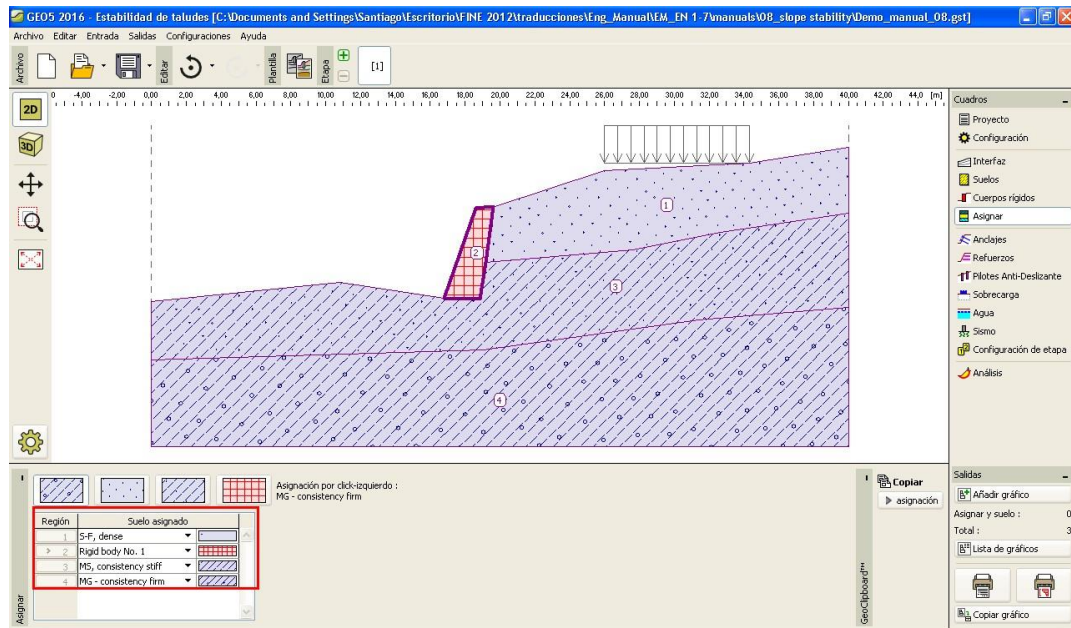
*Tabla de parámetros de suelos*

Suelo (Clasificación de suelo)	Unidad de peso $\gamma [kN/m^3]$	Ángulo de fricción interna $\varphi_{ef} [^\circ]$	Cohesión del Suelo $c_{ef} [kPa]$
MG – limo gravoso, Consistencia firme	19,0	29,0	8,0
S-F – Arena de trazos finos, suelo denso	17,5	31,5	0,0
MS – Limo arenoso, consistencia rígida, $S_r > 0,8$	18,0	26,5	16,0

*Nota: En este análisis, estamos verificando la estabilidad de los taludes a largo plazo. Por lo tanto estamos resolviendo esta tarea con los parámetros efectivos de la fuerza de deslizamiento de los suelos ( $\varphi_{ef}$ ,  $c_{ef}$ ). Foliación de los suelos – parámetros diferentes o empeorados de suelo en una dirección - no se consideran en las tierras asignadas.*

Modelar el muro de gravedad como un cuerpo rígido con un peso unitario de  $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$ .

La superficie de deslizamiento no pasa a través de este objeto, porque es una zona con una gran rigidez. (Más información en AYUDA - F1)



Cuadro "Asignación"

En el siguiente paso, definir la sobrecarga, la cual consideramos permanente y del tipo franja ubicada en la superficie del terreno.

Nombre : Surchage No. 1

Datos generales

Tipo : Franja

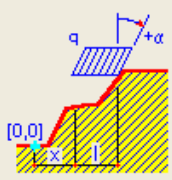
Tipo de acción : Permanente

Ubicación : sobre el terreno

Origen :  $x = 26,00$  [m]

Longitud :  $l = 8,30$  [m]

Pendiente :  $\alpha = 0,00$  [°]



Magnitud :  $q = 10,00$  [kN/m<sup>2</sup>]

OK Cancelar

Cuadro „Nueva sobrecarga“

*Nota: Una sobrecarga se ingresa a 1 m del ancho de la pendiente. La única excepción es la sobrecarga concentrada, donde el programa calcula el efecto de la carga por el perfil analizado. Para obtener más información, consulte la ayuda (F1).*

No tenga en cuenta el cuadro "Terraplén", "Corte tierra", "Anclajes", "Refuerzos" y "Agua". El cuadro "Sismo" no tiene ninguna influencia en este análisis, debido a que la pendiente no se encuentra en la zona de actividad sísmica.

A continuación, en el cuadro "Configuración de etapa", seleccione la situación de diseño. En este caso, consideramos que la situación de diseño es "Permanente".

Situación de diseño : permanente

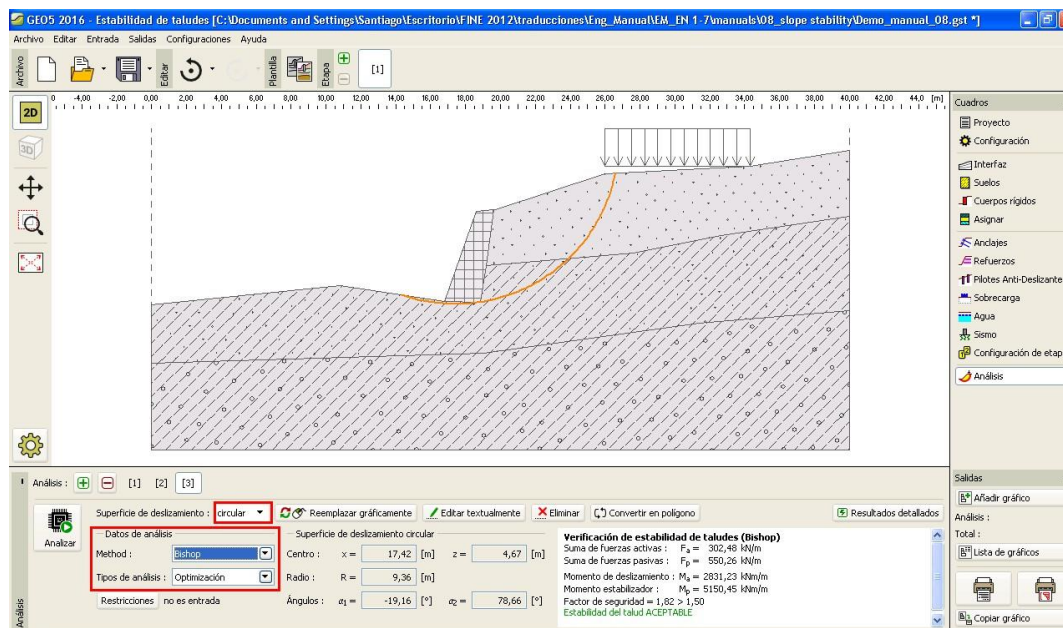
Cuadro „Configuración de etapa“

### Análisis 1 - Superficie de deslizamiento circular

Ahora abra el cuadro "Análisis", donde el usuario ingresa la superficie de deslizamiento original utilizando las coordenadas del centro ( $x$ ,  $y$ ) y su radio o utiliza el mouse directamente en el escritorio - Haga clic en la interfaz para introducir tres puntos por los que la superficie de deslizamiento pasa.

*Nota: En suelos cohesivos las superficies de deslizamiento de rotación se presentan con mayor frecuencia. Estos se modelan mediante superficies de deslizamiento circulares. Esta superficie se utiliza para encontrar áreas críticas de una pendiente analizada. Para suelos no cohesivos, el análisis de una superficie de deslizamiento poligonal debe realizarse también con la verificación de la estabilidad de taludes (ver HELP - F1).*

Ahora, seleccione " Bishop " como método de análisis y, a continuación, establecer el tipo de análisis como "Optimización". Luego, realice la verificación real, presionando el botón "Analizar".



Cuadro „Análisis” Bishop –Optimización de superficie de deslizamiento circular

*Nota: La optimización consiste en encontrar la superficie de deslizamiento circular con la estabilidad-la más pequeña - superficie de deslizamiento crítica. La optimización de las superficies de deslizamiento circulares en el programa Estabilidad de taludes evalúa toda la pendiente, y es muy fiable. Para diferentes superficies de deslizamiento iniciales, obtendremos el mismo resultado para una superficie de deslizamiento crítica.*

El nivel de estabilidad definido por la superficie de deslizamiento crítica cuando se utiliza el método de evaluación "Bishop" es ACEPTABLE

$$SF = 1,82 > SF_s = 1,50 \text{ ACEPTABLE}$$

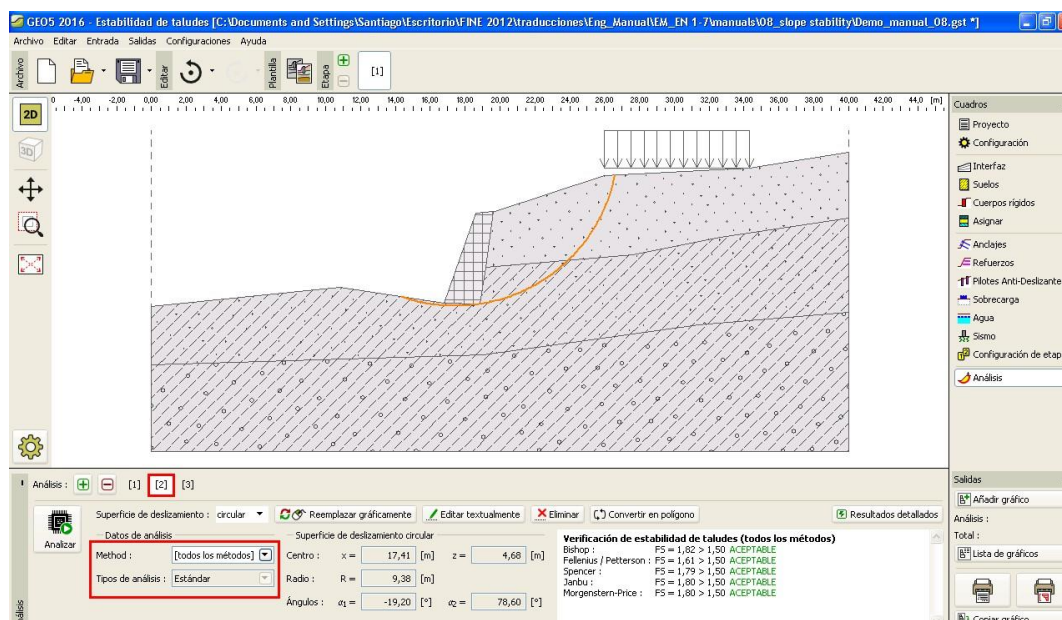
Análisis 2 – Comparación con diferentes métodos

Ahora seleccione otro análisis en la barra de herramientas en la esquina superior derecha de su cuadro de Análisis de GEO5.



Barra de herramientas "Análisis"

En el cuadro análisis, cambiar el tipo de análisis a "Estándar" y como método seleccionar "Todos los métodos". A continuación, haga clic en "Analizar".



Cuadro „Análisis” – Todos los métodos – tipos de análisis estándar

*Nota: Utilizando este procedimiento, la superficie de deslizamiento creada para todos los métodos se corresponde con la superficie de deslizamiento crítica de la etapa de análisis previa utilizando el método Bishop. Para obtener mejores resultados el usuario debe elegir el método y luego realizar una optimización de las superficies de deslizamiento.*

Los valores del nivel de estabilidad de taludes son:

- Bishop:  $SF = 1,82 > SF_5 = 1,50$  **SATISFACTORIO**
- Fellenius / Petterson:  $SF = 1,61 > SF_5 = 1,50$  **SATISFACTORIO**
- Spencer:  $SF = 1,79 > SF_5 = 1,50$  **SATISFACTORIO**
- Janbu:  $SF = 1,80 > SF_5 = 1,50$  **SATISFACTORIO**
- Morgenstern-Price:  $SF = 1,80 > SF_5 = 1,50$  **SATISFACTORIO**

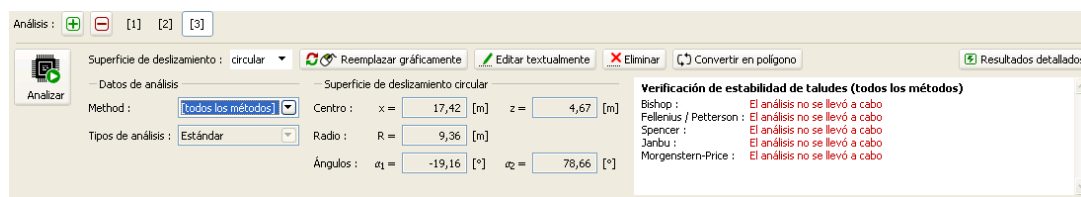
*Nota: la selección del método de análisis depende de la experiencia del usuario. Los métodos más conocidos son el método de cortes, de los cuales el más utilizado es el método Bishop. El método Bishop devuelve resultados conservadores.*

*Para pendientes reforzadas o ancladas son preferibles otros métodos más rigurosos (Janbu, Spencer y Morgenstern-Price). Estos métodos más rigurosos reúnen todas las condiciones de equilibrio, y describen mejor el comportamiento real de la pendiente.*

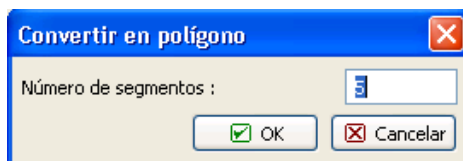
*No es necesario (o correcto) analizar una pendiente con todos los métodos de análisis. Por ejemplo, el método sueco Fellenius - Petterson produce resultados muy conservadores, por lo que los factores de seguridad podrían ser excesivamente bajos en el resultado. Debido a que este método es reconocido y en algunos países requeridos para el análisis de estabilidad de taludes, forman parte del software GEO5.*

### Análisis 3 - Superficie de deslizamiento poligonal

En el último paso del análisis ingresar la superficie de deslizamiento poligonal. Como método de análisis, seleccione "Spencer", como el tipo de análisis, seleccione "optimización", introduzca una superficie de deslizamiento poligonal y realizar el análisis.

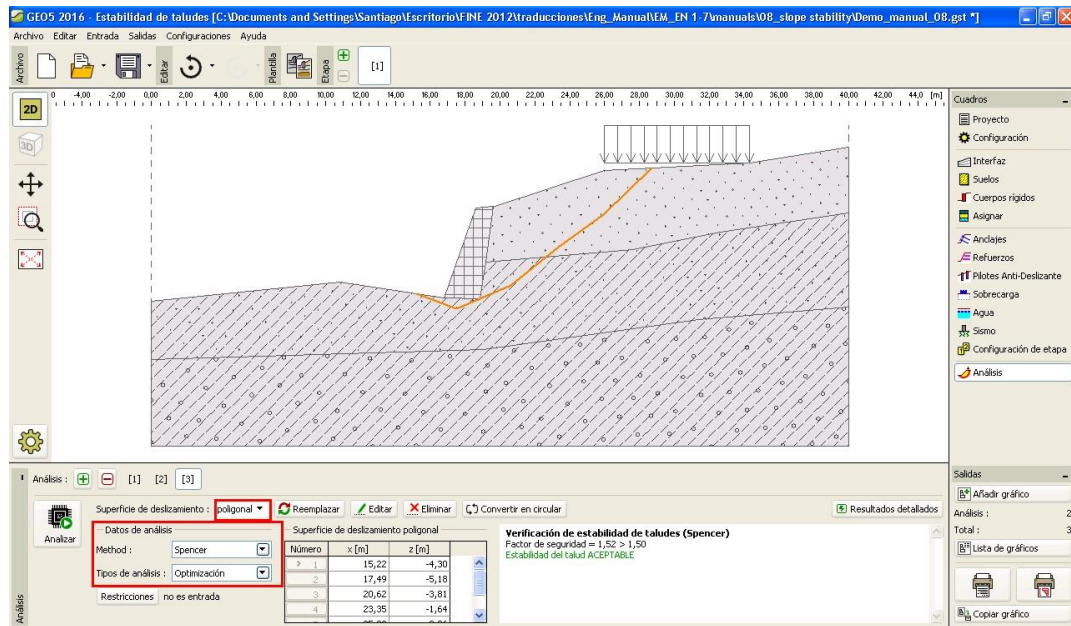


*Cuadro „Análisis” – Spencer - Optimización de superficie de deslizamiento poligonal*



*Cuadro de diálogo “Convertir en polígono”*

Como método de análisis seleccionar “Spencer”, como Tipo de análisis “Optimización”, ingrese superficie de deslizamiento poligonal y realice el análisis.

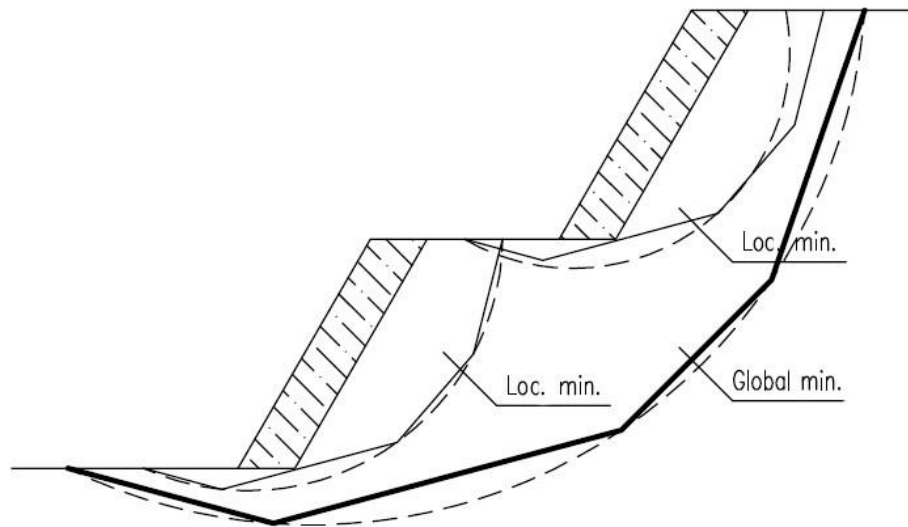


Cuadro “Análisis” – Spencer – Optimización de la superficie de deslizamiento poligonal

El valor del nivel de la superficie de deslizamiento para una superficie de deslizamiento poligonal es:

$$SF = 1,53 > SF_s = 1,50 \quad \text{SATISFACTORIO}$$

*Nota: La optimización de una superficie de deslizamiento poligonal es gradual y depende de la ubicación de la superficie de deslizamiento inicial. Esto significa que es recomendable hacer varios análisis con diferentes superficies de deslizamiento iniciales y con diferente número de secciones. La optimización de superficies de deslizamiento poligonales puede ser también afectada por mínimos locales de factor de seguridad. Esto significa que no es necesario encontrar la superficie crítica real. A veces es más eficiente para el usuario ingresar la superficie de deslizamiento poligonal inicial a partir de una forma y ubicación similar a una superficie de deslizamiento circular optimizada.*



*Mínimos locales – Superficie de deslizamiento circular y poligonal*

*Nota: Comentarios de usuarios: La superficie de deslizamiento después de la optimización "desaparece".*

*Para suelos no cohesivos, donde  $c_{ef} = 0 \text{ kPa}$  la superficie de deslizamiento crítica es la misma que la línea más inclinada de la superficie de la pendiente. Por lo que en este caso, el usuario debe cambiar los parámetros del suelo o introducir restricciones en donde la superficie de deslizamiento no pueda pasar.*

#### Conclusión

La estabilidad del talud luego de la optimización es:

- Bishop (circular - optimización):  $SF = 1,82 > SF_s = 1,50$  **SATISFACTORIO**
- Spencer (poligonal - optimización):  $SF = 1,53 > SF_s = 1,50$  **SATISFACTORIO**

La pendiente diseñada con un muro de gravedad satisface los requisitos de estabilidad.

**RODIO SWISSBORING EL SALVADOR, S.A. DE C.V.**

Km. 20 de la Carretera al Puerto La  
Libertad Desvío a San José Villa  
Nueva, Zaragoza, El Salvador

Oficina: +503 2523-6100  
Fax: +503 2523-6101

[www.rodio-swissboring.com](http://www.rodio-swissboring.com)



El Salvador, 15 de febrero de 2023

**A quien interese:**

**Universidad de El Salvador**

**Asunto: Documentación para trabajo investigativo**

**Estimados señores de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.**

Por medio de la presente, se les informa la entrega de resultados del estudio de suelos y topografía al Br. Boris Moisés Orellana López acerca del talud ubicado en Residencial Quintas Doradas, municipio de Panchimalco, San Salvador.

Dicha información fue solicitada y pagada por medio de nosotros como RODIO SWISSBORING EL SALVADOR hacia ICIA por lo cual somos propietarios de dicha información.

Sin más, nos despedimos.

Atte.

**RODIO – SWISSBORING EL SALVADOR, S.A. DE C.V.**

Ing. Diego Gamero

Director de obras

**GUATEMALA**

12 Calle 1-24, Zona 10,  
Edificio Casa Venancia  
Of. 101 Guatemala  
Guatemala C.A. - 01010

Oficina: +502 2201-6800  
Fax: +502 2332-0956

[www.rodio-swissboring.com](http://www.rodio-swissboring.com)

**HONDURAS**

Colonia San Carlos, Avenida  
República de Colombia #201,  
Tegucigalpa Honduras

Oficina: +504 2221-6922  
Fax: +504 2236-6291

[www.rodio-swissboring.com](http://www.rodio-swissboring.com)

**NICARAGUA**

Avenida principal Barrio  
Las Palmas, de la Iglesia  
Catedrala Corazón de María  
dos casas, abajo contiguo a  
Productos Maya

Oficina: +505 2266-0247

[www.rodio-swissboring.com](http://www.rodio-swissboring.com)

**COSTA RICA**

Oficentro Multipark, edificio  
Tarraba tercer piso, ubicado  
en Guachipalín, Pasadizo de  
Concepción 200 metros al  
norte.

Oficina: +506 2215-0195  
Fax: +506 2215-0198

[www.rodio-swissboring.com](http://www.rodio-swissboring.com)

**PANAMÁ**

Urbanización Industrial La  
Esperanza Calle Gregorio Miró  
y Ricardo Miró Local No. 39  
Corregimiento Vizcarondo  
Lorenzo, San Miguelito  
Panamá Ciudad, Panamá

Oficina: +507 230-1086  
Fax: +507 230-1336

[www.rodio-swissboring.com](http://www.rodio-swissboring.com)



*Anexo 2. Carta de entrega de resultados de suelos.*



**Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.**  
Ingenieros Consultores

*Ensayos de Laboratorio*

*Ensayos de Resistencia al esfuerzo cortante (Ensayo Triaxial)*

IV.7 Se tomo **UNA (1)** muestra inalterada representativa de los suelos predominantes del sector objeto de estudio, para realizársele igual número de ensayo Triaxial, según lo establecido en la Norma ASTM D-2850, con el objeto de determinar la Ley de Resistencia al Esfuerzo Cortante de los suelos predominantes:

Sector	Clasificación	Prof. en metros	Angulo de Fricción Interna (°)	Cohesión (C) KPa	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido Humedad natural (w%)	Notas
PCA-1	Limo arenoso, café oscuro, de media plasticidad, con raicillas (ML <sup>7</sup> )	5.00 – 6.00	12.40	50.8	1.03	1.44	39.50	Muestra inalterada

*Tabla 3. Valores obtenidos en Ensayo Triaxial.*

IV.8 Para una mayor información en lo relativo a valores de Resistencia a la Penetración (valor de "N"), Contenidos de Humedad Natural (w%) y Clasificación del Subsuelo, favor referirse a las Perfil estratigráfico y registros de perforación adjuntos al presente informe.

IV.9 Se recomienda al **Ingeniero Estructural Diseñador** tomar en consideración los valores de la ley al esfuerzo cortante, así como también lo indicado en este informe para el diseño de las obras de protección proyectadas.

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

## Analysis of nailed slope

### Input data

#### Project

Task : QUINTAS DORADA  
 Author : BORIS ORELLANA  
 Date : 22/4/2023

#### Settings

(input for current task)

#### Materials and standards

Concrete structures : ACI 318-11

#### Wall analysis

Active earth pressure calculation : Coulomb  
 Passive earth pressure calculation : Coulomb  
 Earthquake analysis : Mononobe-Okabe  
 Shape of earth wedge : Calculate as skew  
 Allowable eccentricity : 0.333  
 Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor for overturning :		SF <sub>o</sub> =	1.50 [-]
Safety factor for sliding resistance :		SF <sub>s</sub> =	1.50 [-]
Safety factor for bearing capacity :		SF <sub>b</sub> =	1.50 [-]
Safety factors			
Seismic design situation			
Safety factor for overturning :		SF <sub>o</sub> =	1.10 [-]
Safety factor for sliding resistance :		SF <sub>s</sub> =	1.10 [-]
Safety factor for bearing capacity :		SF <sub>b</sub> =	1.10 [-]

#### Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor for plane slip surface :		SF <sub>pl</sub> =	1.50 [-]
Safety factor for broken slip surface :		SF <sub>br</sub> =	1.50 [-]

1
---

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

Safety factors	
Seismic design situation	
Safety factor for plane slip surface :	SF <sub>pl</sub> = 1.00 [-]
Safety factor for broken slip surface :	SF <sub>br</sub> = 1.00 [-]

#### Geometry of structure

Thickness of concrete cover  $h = 0.13$  m

No.	Depth z [m]	Coordinate x [m]
1	0.00	0.00
2	14.00	-13.00

#### Type of nails

No.	Name	Nail type	Tensile strength R <sub>t</sub> [kN]	Pull out resistance T <sub>p</sub> [kN/m]	Nail head strength R <sub>f</sub> [kN]
1	RS	user defined	78.06	19.95	41.63

#### Geometry of nails

Overall number of nails - 7

Inclination of nails from horizontal dir. = 15.00 °

Nail	Depth [m]	Distance to bench [m]	Length [m]	Spacing [m]	Type of nail
1	0.75	0.05	9.00	2.00	RS
2	2.75	0.50	9.00	2.00	RS
3	4.75	0.05	7.50	2.00	RS
4	6.75	0.50	7.50	2.00	RS
5	8.75	0.50	6.00	2.00	RS
6	10.75	0.50	6.00	2.00	RS
7	12.75	0.50	4.50	2.00	RS

#### Material of structure

Analysis of concrete structures carried out according to the standard ACI 318-11.

#### Concrete : Concrete ACI

Compressive strength  $f'_c = 20.00$  MPa

#### Longitudinal steel : A615/60

Tensile strength  $f_y = 413.69$  MPa



#### Soil parameters

Limo Arenoso

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

Unit weight :  $\gamma = 17.00 \text{ kN/m}^3$   
 Stress-state : effective  
 Angle of internal friction :  $\phi_{\text{ef}} = 20.00^\circ$   
 Cohesion of soil :  $c_{\text{ef}} = 32.50 \text{ kPa}$   
 Angle of friction struc.-soil :  $\delta = 15.00^\circ$   
 Soil : cohesionless  
 Saturated unit weight :  $\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

#### Geological profile and assigned soils

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	Assigned soil	Pattern
1	25.00	0.00 .. 25.00	Limo Arenoso	
2	-	25.00 .. ∞	Limo Arenoso	

#### Terrain profile

Terrain behind the structure is flat.

#### Water influence

Ground water table is located below the structure.

#### Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

#### Internal stability

##### Analysis No. 1 (Stage of construction 1)

##### Plane slip surface after optimization :

Slip surface angle =  $25.00^\circ$   
 Origin of slip surface at a depth of = 14.00 m  
 Gravity force = 2025.75 kN/m  
 Overall force carried by nails behind slip surf. = 100.81 kN/m  
 Forces on slip surf. driving (grav.force) = 856.12 kN/m  
 Forces on slip surf. driving (pressure) = 0.00 kN/m  
 Forces on slip surf. resist. (soil) = 1768.44 kN/m  
 Forces on slip surf. resist. (nails) = 77.22 kN/m  
 Factor of safety = 2.16 > 1.50

**Stability of slip surface is SATISFACTORY**

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

### Verification No. 1 (Stage of construction 1)

#### Forces acting on construction

Name	$F_{hor}$ [kN/m]	App.Pt. z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	App.Pt. x [m]	Design coefficient
Weight - reinforced soil	0.00	-7.47	2154.88	11.58	1.000
Active pressure	0.00	-14.00	0.00	21.00	1.000

#### Verification of complete wall

##### Check for overturning stability

Resisting moment  $M_{res} = 24963.40$  kNm/m

Overturning moment  $M_{ovr} = 0.00$  kNm/m

Safety factor = 1000.00 > 1.50

**Wall for overturning is SATISFACTORY**

##### Check for slip

Resisting horizontal force  $H_{res} = 957.62$  kN/m

Active horizontal force  $H_{act} = 0.00$  kN/m

Safety factor = 1000.00 > 1.50

**Wall for slip is SATISFACTORY**



##### Overall check - WALL is SATISFACTORY

Warning - allowable range of input data exceeded during pressure analysis!

The analysis is carried out with the modified value of structure inclination  $\alpha$ .

### Input data (Stage of construction 2)

#### Geological profile and assigned soils

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	Assigned soil	Pattern
1	25.00	0.00 .. 25.00	Limo Arenoso	
2	-	25.00 .. ∞	Limo Arenoso	

#### Terrain profile

Terrain behind the structure is flat.

#### Water influence

Ground water table is located below the structure.

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

#### Input surface surcharges

No.	Surcharge		Action	Mag.1 [kN/m <sup>2</sup> ]	Mag.2 [kN/m <sup>2</sup> ]	Ord.x x [m]	Length l [m]	Depth z [m]
	new	change						
1	Yes		permanent	10.00				on terrain

No.	Name
1	Carga Vehicular

#### Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

#### Internal stability

##### Analysis No. 1 (Stage of construction 2)

##### Plane slip surface after optimization :

Slip surface angle = 26.00 °  
Origin of slip surface at a depth of = 14.00 m

Gravity force = 2025.85 kN/m  
Overall force carried by nails behind slip surf. = 118.23 kN/m  
Forces on slip surf. driving (grav.force) = 888.07 kN/m  
Forces on slip surf. driving (pressure) = 0.00 kN/m  
Forces on slip surf. resist. (soil) = 1728.89 kN/m  
Forces on slip surf. resist. (nails) = 89.23 kN/m

Factor of safety = 2.05 > 1.50

**Stability of slip surface is SATISFACTORY**

##### Verification No. 1 (Stage of construction 2)

##### Forces acting on construction

Name	F <sub>hor</sub> [kN/m]	App.Pt. z [m]	F <sub>vert</sub> [kN/m]	App.Pt. x [m]	Design coefficient
Weight - reinforced soil	0.00	-7.47	2154.88	11.58	1.000
Active pressure	0.00	-14.00	0.00	21.00	1.000
Carga Vehicular	0.00	-14.00	-5.18	6.97	1.000

##### Verification of complete wall

##### Check for overturning stability

Resisting moment  $M_{res} = 24927.32$  kNm/m  
Overturning moment  $M_{ovr} = 0.00$  kNm/m

Safety factor = 1000.00 > 1.50

**Wall for overturning is SATISFACTORY**

##### Check for slip

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------



Resisting horizontal force  $H_{res} = 955.73$  kN/m  
 Active horizontal force  $H_{act} = 0.00$  kN/m

Safety factor = 1000.00 > 1.50  
**Wall for slip is SATISFACTORY**

**Overall check - WALL is SATISFACTORY**  
 Warning - allowable range of input data exceeded during pressure analysis!  
 The analysis is carried out with the modified value of structure inclination  $\alpha$ .

### Input data (Stage of construction 3)

#### Geological profile and assigned soils

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	Assigned soil	Pattern
1	25.00	0.00 .. 25.00	Limo Arenoso	
2	-	25.00 .. ∞	Limo Arenoso	

#### Terrain profile

Terrain behind the structure is flat.

#### Water influence

Ground water table is located below the structure.

#### Input surface surcharges

No.	Surcharge new	change	Action	Mag.1 [kN/m <sup>2</sup> ]	Mag.2 [kN/m <sup>2</sup> ]	Ord.x x [m]	Length l [m]	Depth z [m]
1	Yes		permanent	10.00				on terrain
No.	Name							
1	Carga Vehicular							

#### Earthquake

Factor of horizontal acceleration  $K_h = 0.2000$   
 Factor of vertical acceleration  $K_v = 0.0000$   
 Water below the GWT is restricted.

#### Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

BORIS ORELLANA

QUINTAS DORADA

**Internal stability****Analysis No. 1 (Stage of construction 3)****Plane slip surface after optimization :**

Slip surface angle = 25.00 °  
 Origin of slip surface at a depth of = 14.00 m

Gravity force = 2195.98 kN/m  
 Overall force carried by nails behind slip surf. = 100.81 kN/m  
 Forces on slip surf. driving (grav.force) = 1113.67 kN/m  
 Forces on slip surf. driving (pressure) = 0.00 kN/m  
 Forces on slip surf. resist. (soil) = 1679.71 kN/m  
 Forces on slip surf. resist. (nails) = 77.22 kN/m

Factor of safety = 1.58 &gt; 1.00

**Stability of slip surface is SATISFACTORY****Verification No. 1 (Stage of construction 3)****Forces acting on construction**

Name	F <sub>hor</sub> [kN/m]	App.Pt. z [m]	F <sub>vert</sub> [kN/m]	App.Pt. x [m]	Design coefficient
Weight - reinforced soil	0.00	-7.47	2154.88	11.58	1.000
Earthquake - soil wedge	430.98	-7.47	0.00	11.58	1.000
Active pressure	0.00	-14.00	0.00	21.00	1.000
Earthq.- act.pressure	337.65	-9.50	-70.64	12.68	1.000
Carga Vehicular	0.00	-14.00	-5.18	6.97	1.000

**Verification of complete wall****Check for overturning stability**

Resisting moment  $M_{res} = 24031.71$  kNm/m  
 Overturning moment  $M_{ovr} = 6425.95$  kNm/m

Safety factor = 3.74 &gt; 1.10

**Wall for overturning is SATISFACTORY****Check for slip**

Resisting horizontal force  $H_{res} = 930.02$  kN/m  
 Active horizontal force  $H_{act} = 768.62$  kN/m

Safety factor = 1.21 &gt; 1.10



**Wall for slip is SATISFACTORY****Overall check - WALL is SATISFACTORY**

Warning - allowable range of input data exceeded during pressure analysis!  
 The analysis is carried out with the modified value of structure inclination  $\alpha$ .

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

### Input data (Stage of construction 4)

#### Geological profile and assigned soils

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	Assigned soil	Pattern
1	25.00	0.00 .. 25.00	Limo Arenoso	
2	-	25.00 .. ∞	Limo Arenoso	

#### Terrain profile

Terrain behind the structure is flat.

#### Water influence

Ground water table is located below the structure.

#### Earthquake

Factor of horizontal acceleration  $K_h = 0.2000$

Factor of vertical acceleration  $K_v = 0.0000$

Water below the GWT is restricted.

#### Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

#### Internal stability

#### Analysis No. 1 (Stage of construction 4)

##### Plane slip surface after optimization :

Slip surface angle = 25.00 °

Origin of slip surface at a depth of = 14.00 m

Gravity force = 2025.75 kN/m

Overall force carried by nails behind slip surf. = 100.81 kN/m

Forces on slip surf. driving (grav. force) = 1027.34 kN/m

Forces on slip surf. driving (pressure) = 0.00 kN/m

Forces on slip surf. resist. (soil) = 1634.79 kN/m

Forces on slip surf. resist. (nails) = 77.22 kN/m

Factor of safety = 1.67 > 1.00

**Stability of slip surface is SATISFACTORY**

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

### Verification No. 1 (Stage of construction 4)

#### Forces acting on construction

Name	$F_{hor}$ [kN/m]	App.Pt. z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	App.Pt. x [m]	Design coefficient
Weight - reinforced soil	0.00	-7.47	2154.88	11.58	1.000
Earthquake - soil wedge	430.98	-7.47	0.00	11.58	1.000
Active pressure	0.00	-14.00	0.00	21.00	1.000
Earthq.- act.pressure	337.65	-9.50	-70.64	12.68	1.000

#### Verification of complete wall

##### Check for overturning stability

Resisting moment  $M_{res} = 24067.80$  kNm/m

Overturning moment  $M_{ovr} = 6425.95$  kNm/m

Safety factor = 3.75 > 1.10

**Wall for overturning is SATISFACTORY**

##### Check for slip

Resisting horizontal force  $H_{res} = 931.90$  kN/m

Active horizontal force  $H_{act} = 768.62$  kN/m

Safety factor = 1.21 > 1.10

**Wall for slip is SATISFACTORY**

##### Overall check - WALL is SATISFACTORY

Warning - allowable range of input data exceeded during pressure analysis!

The analysis is carried out with the modified value of structure inclination  $\alpha$ .

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

**Slope stability analysis**

**Input data**

**Project**

**Settings**

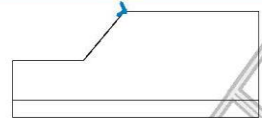



(input for current task)

**Stability analysis**

Earthquake analysis : Standard  
 Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors	
Permanent design situation	
Safety factor :	SF <sub>s</sub> = 1.50 [-]

**Interface**


No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0.00	0.00	0.13	-0.04		
2		-35.00	-14.00	-13.00	-14.00	0.00	0.00
3		-13.00	-14.00	-12.87	-14.00	0.13	-0.04
4		-35.00	-25.00	42.00	-25.00		

BORIS ORELLANA	QUINTAS DORADA
----------------	----------------

**Soil parameters - effective stress state**

No.	Name	Pattern	$\phi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	Limo Arenoso		20.00	32.50	17.00

**Soil parameters - uplift**

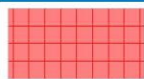
No.	Name	Pattern	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	n [-]
1	Limo Arenoso		20.00		

**Soil parameters**

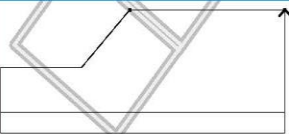
**Limo Arenoso**

Unit weight :  $\gamma = 17.00$  kN/m<sup>3</sup>  
 Stress-state : effective  
 Angle of internal friction :  $\phi_{ef} = 20.00$  °  
 Cohesion of soil :  $c_{ef} = 32.50$  kPa  
 Saturated unit weight :  $\gamma_{sat} = 20.00$  kN/m<sup>3</sup>

**Rigid bodies**

No.	Name	Sample	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	Material of structure		23.00

**Assigning and surfaces**

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		42.00	-0.04	42.00	0.00	Limo Arenoso
		0.00	0.00	0.13	-0.04	

BORIS ORELLANA QUINTAS DORADA

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
2		-12.87	-14.00	0.13	-0.04	Material of structure 
		0.00	0.00	-13.00	-14.00	
3		42.00	-25.00	42.00	-0.04	Limo Arenoso 
		0.13	-0.04	-12.87	-14.00	
		-13.00	-14.00	-35.00	-14.00	
		-35.00	-25.00			
4		-35.00	-25.00	-35.00	-30.00	Limo Arenoso 
		42.00	-30.00	42.00	-25.00	

**Nails**

No.	Start pt.		Length l [m]	Inclination $\alpha$ [°]	Spacing b [m]	Tension strength		Pull out resistance $T_p$ = 19.95 kN/m	Nail head strength $R_f$ = 41.63 kN
	x [m]	z [m]				$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m		
1	-0.70	-0.75	9.00	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	
2	-2.65	-2.75	9.00	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	
3	-4.41	-4.75	7.50	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	
4	-6.27	-6.75	7.50	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	
5	-8.12	-8.75	6.00	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	
6	-9.98	-10.75	6.00	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	
7	-11.84	-12.75	4.50	15.00	2.00	$R_t$ = 78.06 kN	$T_p$ = 19.95 kN/m	$R_f$ = 41.63 kN	

**Water**

Water type : No water

**Tensile crack**

Tensile crack not input.

**Earthquake**

Earthquake not included.

BORIS ORELLANA

QUINTAS DORADA

**Settings of the stage of construction**

Design situation : permanent

**Results (Stage of construction 1)****Analysis 1****Circular slip surface**

Slip surface parameters			
Center :	x =	-11.58 [m]	Angles :
	z =	4.09 [m]	$\alpha_1 =$
			$\alpha_2 =$
Radius :	R =	18.15 [m]	
The slip surface after optimization.			

**Nails bearing capacity**

Nail	Bearing capacity [kN/m]
1	27.43
2	18.65
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	6.97

**Slope stability verification (Bishop)**Sum of active forces :  $F_a = 984.20$  kN/mSum of passive forces :  $F_p = 1479.09$  kN/mSliding moment :  $M_a = 17863.31$  kNm/mResisting moment :  $M_p = 26845.57$  kNm/m

Factor of safety = 1.50 &gt; 1.50

**Slope stability ACCEPTABLE**

