



**Universidad industrial de Santander**  
**Manejo del programa swedge para el**  
**Estudio de estabilidad de taludes en roca**



**MANEJO DEL PROGRAMA SWEDGE PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN ROCA.**

**LUIS EDUARDO PRADA MANTILLA**  
**NELSON EDUARDO ARDILA DAVILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS**  
**BUCARAMANGA**

**2013**



Universidad industrial de Santander  
Manejo del programa swedge para el  
Estudio de estabilidad de taludes en roca



MANEJO DEL PROGRAMA SWEDGE PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN ROCA.

LUIS EDUARDO PRADA MANTILLA  
NELSON EDUARDO ARDILA DAVILA

Trabajo De Grado Presentado Como Requisito  
Parcial Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil

Director:  
Ing. MSc. WILFREDO DEL TORO RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA

2013

## **DEDICATORIA**

***Este trabajo está dedicado a nuestro señor Dios Jesucristo; a todos los profesores que participaron en nuestra formación educativa, a nuestra familia y amigos que nos motivaron, y estuvieron presentes en todo momento.***

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	15
1. MARCO TEORICO .....	16
1.1 TALUD .....	16
1.2 FALLAS EN TALUDES .....	16
1.2.1 Desprendimientos .....	16
1.2.2 Derrumbes .....	17
1.2.3 Avalanchas .....	17
1.2.4 Flujos .....	17
1.2.5 Repteo .....	17
1.3 FALLA POR CUÑA .....	18
1.4 DIACLASA .....	20
1.5 BUZAMIENTO .....	20
1.6 RUMBO.....	20
1.7 COHESIÓN.....	20
1.8 LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA.....	21
2. IDENTIFICACIÓN DEL TALUD Y ANÁLISIS DE LAS POSIBLES FALLAS POR CUÑA PRESENTES EN ÉL .....	22
2.1 ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO .....	23
2.1.1 Análisis estación K50-420.....	23
2.1.2 Análisis estación K50-490 y K50-545 .....	24
2.1.3 Análisis estación K50-640.....	24
3. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE UN TALUD EN EL SOFTWARE SWEDGE 4.0.....	26
3.1 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO .....	27
3.1.1 Datos de entrada .....	27
3.1.1.1 Geometría .....	27
3.1.1.1.1 Datos Básicos .....	27

3.1.1.1.2 Otras opciones geométricas .....	31
3.1.1.2 Fuerzas .....	32
3.1.1.2.1 Water Pressure (presión del agua) .....	32
3.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO .....	36
4. ESTABILIZACIÓN DEL TALUD CON EL SOFTWARE SWEDGE.....	44
4.1 CONCRETO LANZADO.....	44
4.2 ANCLAJES O PERNOS.....	45
CONCLUSIONES. ....	48
REFERENCIAS .....	50
BIBLIOGRAFIA.....	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura1</b> Cuña directa.....	18
<b>Figura2</b> Cuña inversa.....	19
<b>Figura3</b> Falla en cuña .....	19
<b>Figura4</b> Buzamiento.....	20
<b>Figura5</b> Plano estereográfico de un talud .....	21
<b>Figura6</b> Proyección estereográfica K50-420 .....	23
<b>Figura7</b> Proyección estereográfica K50-490 y K50-545.....	24
<b>Figura8</b> proyección estereográfica K50-640 .....	24
<b>Figura9</b> Ventana Project settings .....	26
<b>Figura10</b> Tipos de vistas de un talud en Swedge.....	26
<b>Figura11</b> Ventana input data .....	27
<b>Figura12</b> Resultados obtenidos en el software Roc lab .....	28
<b>Figura13</b> Vistas en Swedge del talud de estudio .....	30
<b>Figura14</b> Resultado detallado del análisis básico del talud de estudio .....	30
<b>Fig.15</b> talud con grietas de tensión donde se observa el ancho de la banca .....	31
<b>Figura16</b> Resultado del análisis del talud de estudio incluido el efecto del agua..	33
<b>Figura17</b> Resultado del análisis del talud de estudio con efectos del agua y sísmico.....	34
<b>Figura18</b> Vista lateral del talud antes de fallar .....	35
<b>Figura19</b> Vista lateral del talud durante la falla .....	35
<b>Figura20</b> Perspectiva del talud durante la falla .....	35
<b>Figura21</b> Datos de entrada Joint Set 1 para analisis probabilistico.....	37
<b>Figura22</b> Datos de entrada Joint Set 2 para analisis probabilistico.....	37
<b>Figura23</b> Datos de entrada slope para analisis probabilistico .....	37
<b>Figura24</b> Datos de entrada Upper Face para analisis probabilistico .....	38
<b>Figura25</b> Datos entrada force para analisis probabilistico.....	38
<b>Figura26</b> Ventana Sampling método probabilístico.....	39

<b>Figura27</b>	Resultado detallado del análisis probabilístico del talud de estudio.....	39
<b>Figura28</b>	Histograma del factor de seguridad .....	40
<b>Figura29</b>	Histograma del peso de la cuña.....	40
<b>Figura30</b>	Curva S del factor de seguridad.....	41
<b>Figura31</b>	Diagrama de dispersión factor de seguridad vs peso de la cuña.....	41
<b>Figura32</b>	Regresión lineal datos de la figura31 .....	42
<b>Figura33</b>	Datos de una curva S exportada a Excel .....	43
<b>Figura34</b>	ventana shotcrete.....	44
<b>Figura35</b>	Resultado del análisis detallado del talud de estudio incluido el concreto lanzado .....	45
<b>Figura36</b>	Vista lateral del talud con 1 anclaje activo de 10 m de longitud .....	46
<b>Figura37</b>	Ajuste de las propiedades de anclajes.....	47
<b>Figura38</b>	Resultado del análisis detallado del talud de estudio estabilizado mediante anclajes activos .....	47

## LISTA DE TABLAS

Tabla1 Datos estructurales del sector.....	22
Tabla 2 coeficiente sismico de la zona .....	34

## RESUMEN

### TÍTULO:

MANEJO DEL PROGRAMA SWEDGE PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCA\*

### Autores:

Luis Eduardo Prada Mantilla, luypray@gmail.com

Nelson Eduardo Ardila Dávila\*\*, eduard.222@hotmail.com

### Palabras Clave:

Talud, falla en cuña, marco geológico, software swedge, factor de seguridad, histograma, concreto lanzado, pernos.

### Breve reseña del proyecto:

Este artículo se basa en el estudio y observación del software Swedge, para el análisis de taludes en roca propensos a fallar en cuña, por medio del estudio de un talud ubicado al sur oeste del departamento de Santander en Colombia.

Se presenta una reflexión acerca de la potencialidad del software, partiendo del estudio estereográfico mediante el software Dips con el que se detectó la intersección de dos discontinuidades que generaron falla por cuña, Además se calculó el factor de seguridad del talud, generando un modelo determinístico de Swedge, por medio del marco geológico, el levantamiento topográfico y el software Roc Lab; con los cuales se logró obtener los datos de entrada que solicita el software, tales como la cohesión, el ángulo de fricción de cada familia de diaclasas, la altura del talud, el peso unitario del talud, y las fuerzas externas que afectan la estabilidad del talud, como los son la filtración del agua, y la fuerza sísmica; y una vez identificados todos estos datos se calculó el factor de seguridad del talud.

También se presenta el análisis probabilístico para conocer la probabilidad de falla que tiene el talud mediante distribuciones normales y uniformes que se adecuan mejor el comportamiento del talud, representándolo en histogramas y otros tipos importante de gráficas. Y para finalizar se presenta la estabilización del talud, mediante dos técnicas de estabilización muy utilizadas y que el software Swedge nos permite usar, las cuales son, el concreto lanzado y el uso de pernos.

---

\*Trabajo de grado desarrollado en la modalidad de investigación

\*\*Facultad de ingenierías Físico –mecánicas, Escuela de ingeniería Civil  
Director: Ing. MSc. Wilfredo Del Toro Rodríguez

## ABSTRACT

**Title:**

MANEJO DEL PROGRAMA SWEDGE PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCA\*

**Authors:**

Luis Eduardo Prada Mantilla, luypray@gmail.com

Nelson Eduardo Ardila Dávila\*\*, eduard.222@hotmail.com

**Keywords:**

Slope, wedge failure, geological framework, Swedge software, safety factor, histogram, shotcrete, bolts.

**Project Brief**

This article is based on the study and observation of the Swedge software, for the analysis of rock slopes prone to failure wedge, through the study of one slope located at the south west of the department of Santander in Colombia.

It presents a reflection about the potentiality of software, since the stereographic study through Dips software, which was detected with the intersection of two discontinuities that produced wedge failure, In addition we calculated the safety factor of the slope , generating a deterministic model Swedge , through geological framework , the topographic and Roc Lab software , with which it was possible to obtain the input data requested by the software , such as cohesion , the friction angle of each family of joints , the height of the slope , the unit weight of the slope, and external forces that affect slope stability , as are water filtration and seismic force , and once identified all these data we calculated the safety factor of the slope.

Also we presented probabilistic analysis for the probability of failure that has the slope by normal and uniform distributions which are better suited behavior of the slope, representing it in histograms and other important types of graphs. And finally presents slope stabilization, using two widely used techniques for stabilizing and Swedge software allows us to use, which are, shotcrete and the use of bolts.

---

\* Final undergraduate Project developed in the research modality

\*\* Physics and Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: MSc Eng. Wilfredo Del Toro Rodriguez

## INTRODUCCIÓN

La geotecnia se ha constituido en una de las ramas más importantes de la ingeniería civil; tener un conocimiento claro del comportamiento de un talud, influye en la prevención y mitigación de efectos no deseados sobre obras civiles, como la construcción de vías o túneles entre otras. Por esto es necesario realizar estudios in situ y en el laboratorio para conocer los mecanismos de rotura del talud y analizar las características y el comportamiento del mismo.

Debido al relieve a la diversidad de formaciones geológicas en nuestro territorio nacional, se considera fundamental investigar y profundizar en el análisis de los taludes en macizos rocosos susceptibles a fallar por cuñas.

Al ser consiente del avance tecnológico en el ámbito ingenieril, se considera necesario utilizar la tecnología para el análisis de los taludes, siendo esto beneficioso para la exactitud del comportamiento del talud y poder así lograr unos resultados precisos en el estudio de taludes rocosos con tendencia a presentar falla por cuña.

Por ello ésta investigación se basara en el estudio, observación y análisis del software Swedge, modelando un talud actual, resaltando su eficacia y facilidad mediante los métodos de análisis determinístico y probabilístico.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 TALUD

Se le denomina talud a la superficie de suelo o roca inclinada con respecto a la horizontal.

### 1.2 FALLAS EN TALUDES

Se presentan fallas en taludes debido a la disminución de la resistencia al cortante y/o al aumento de esfuerzos cortantes.

Existen factores que originan o aceleran la presencia de fallas en los taludes, estos factores se conocen como procesos geomorfológicos y físicos.

Procesos geomorfológicos y físicos:

- La tectónica y neotectónica
- La erosión
- La lluvia
- Las inundaciones
- Los sismos
- Las erupciones volcánicas, etc.

Las fallas más comunes que presentan los taludes son las siguientes [1]:

#### 1.2.1 Desprendimientos.

Se presentan de las siguientes formas:

- Caída libre: Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre.
- Volcadura: Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad

### 1.2.2 Derrumbes

Se presentan de la siguientes formas:

- Planar: Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana.
- Cuña: La falla en cuña ocurre cuando la masa de roca se desliza a lo largo de dos discontinuidades que se interceptan en un ángulo oblicuo a la superficie del talud.
- Rotacional: Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida.
- Deslizamiento de escombros: Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.

### 1.2.3 Avalanchas

Se presentan de las siguientes formas:

De roca o escombros: movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.

### 1.2.4 Flujos

Se presentan de la siguiente forma:

De escombros: Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.

### 1.2.5 Repteo:

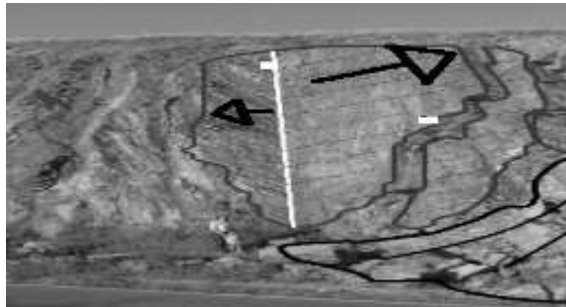
Movimiento lento e imperceptible talud abajo de una masa de suelo o suelo-roca.

### 1.3 FALLA POR CUÑA

La rotura por cuña se produce a través de dos discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas, etc.) oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable.

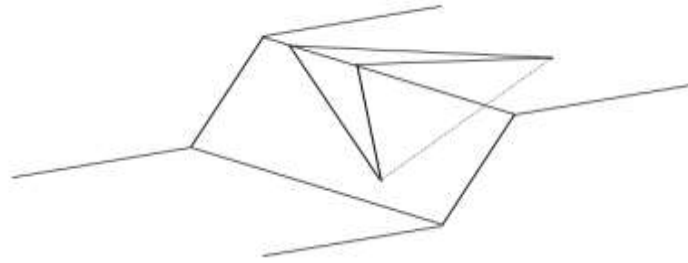
Este tipo de falla se presenta frecuentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada en orientación y buzamiento de las diaclasas. Es sin duda una de las fallas más comunes observables en carreteras, sobre cualquier cantera y en zonas montañosas.

Se pueden presentar dos tipos de falla por cuña, la directa e inversa. Es decir cuando la superficie de debilidad o discontinuidad se inclinan en sentido diferente se le conoce como cuña directa (fig.1), cuando se presentan las dos discontinuidades en el mismo sentido se denomina cuña inversa (fig. 2).



**Figura1** Cuña directa

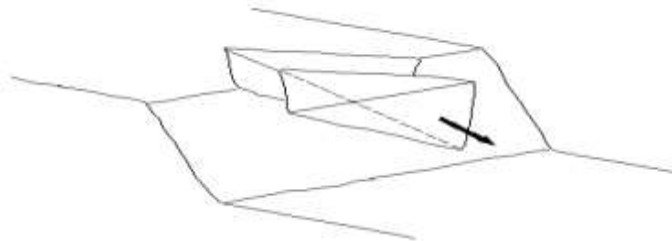
Fuente: [http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA\\_DE\\_ROCAS\\_2.pdf](http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf)



**Figura2** Cuña inversa

Fuente: [http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA\\_DE\\_ROCAS\\_2.pdf](http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf)

Para que se presente un deslizamiento de la cuña es necesario que la línea de intersección de las dos discontinuidades tenga una menor inclinación que el plano del talud, además que aflore o surja en este, al igual que los planos que conforman las cuñas afloren en el terreno natural. [3]



**Figura3** Falla en cuña

Fuente: [http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA\\_DE\\_ROCAS\\_2.pdf](http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf)

El factor de seguridad de la cuña está definido por las fuerzas que oponen el deslizamiento y las que lo inducen. Esas son el peso de la cuña, empujes de agua, esfuerzos sísmicos, fuerzas de anclaje, fuerzas de reacción y las fuerzas resistentes: cohesión y fricción.

Las diaclasas, la cohesión, buzamiento y rumbo permiten caracterizar los taludes.

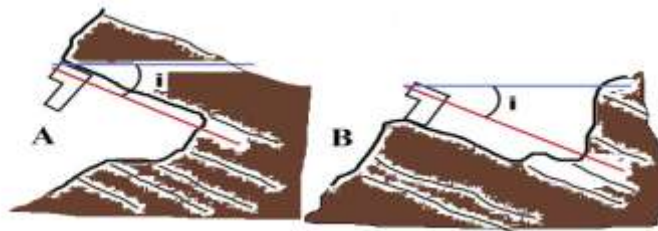
## 1.4 DIACLASA

Las diaclasas son fracturas en las que no hay desplazamiento entre bloques de rocas.

Constituyen las grietas y fisuras presentes en la mayoría de las rocas de la corteza.

Tienen una anchura, una extensión y una profundidad muy variable.

## 1.5 BUZAMIENTO



**Figura4** Buzamiento

Fuente: autores

El buzamiento es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de una superficie de un estrato, filón o falla con su proyección sobre el plano horizontal.

## 1.6 RUMBO

Es el Angulo respecto al norte, que forma la línea de intersección del estrato con un plano horizontal.

## 1.7 COHESIÓN

Es la cualidad por la cual las partículas del terreo se mantienen unidas en virtud de fuerzas externas, La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo [2].

## 1.8 LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

Se emplea en Geología para representar la orientación de elementos geométricos de las capas y estructuras, para calcular relaciones mutuas entre ellas [4].

Para que se produzca cuña deben existir dos planos cuya intercepción queda fuera de la superficie abarcada por el plano del talud en proyección estereográfica.



**Figura5** Plano estereográfico de un talud

Fuente: autores

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL TALUD Y ANÁLISIS DE LAS POSIBLES FALLAS POR CUÑA PRESENTES EN ÉL

El primer paso realizado en este estudio fue la identificación del talud, para ello el consultor de la obra proporcionó el marco geológico, los planos topográficos y un anexo fotográfico del talud.

La zona de estudio está ubicada en el margen geológico regional sobre el flanco occidental de la cordillera oriental cerca al municipio de Landázuri al sur oeste del departamento de Santander, donde aflora parte de la secuencia litoestratigráfica cretácica colombiana. La unidad aflorante corresponde a la formación la luna conformada por shales oscuros duros y finamente laminados con algunas intercalaciones de calizas oscuras de 50 a 130m de espesor, shales blandos, con espesores de 230m y shales calcáreos con intercalaciones de caliza y chert, cuyo espesor puede alcanzar 180 m.

Se colocaron 4 estaciones y se recolectaron una serie de datos representativos de la familia de diaclasas en cada una de ellas:

**Tabla 10** Datos estructurales sector K 50 + 500

Abscisa	Formación Geológica	Estratificación		Diaclasas		Diaclasas	
		Rumbo	Buzam.	Rumbo	Buzam.	Rumbo	Buzam.
K 50+420	La Luna	N60E	64NW	N42W	83NE	N78E	22SE
K 50+490	La Luna	N50E	45NW	N42W	83NE	N78E	22SE
K 50+545	La Luna	N50E	45NW	N42W	83NE	N78E	22SE
K 50+640	La Luna	N50W	58NE	N27E	82NW	N60W	55W

Fuente: Consultor

**Tabla1** Datos estructurales del sector

Fuente: Torres ingeniería S.A.S.

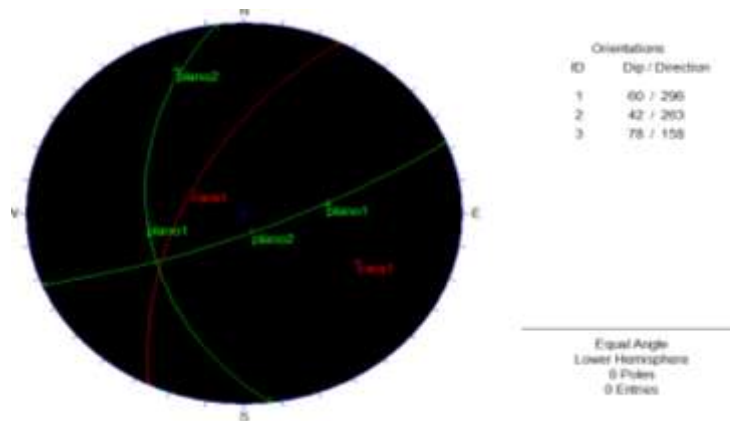
Para el análisis de un talud en macizo rocoso se identificó el tipo de falla que se presenta en el mismo, para ello se realizó un análisis estereográfico ya que siempre que se presente diferentes estructuras geológicas en un talud se presentara una falla.

## 2.1 ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO

Para el análisis de la proyección estereográfica y manejo de la información de los datos de orientaciones obtenidos en campo se utiliza el programa Dips 5.1 y se ha realiza una interpretación en cada una de las estaciones.

El software Dips utiliza el estereograma para distinguir o conocer el tipo de falla presentada en el talud. Mediante Dips se procede a analizar el talud seleccionado y se modela con los datos geológicos obtenidos in situ.

### 2.1.1 Análisis estación K50-420



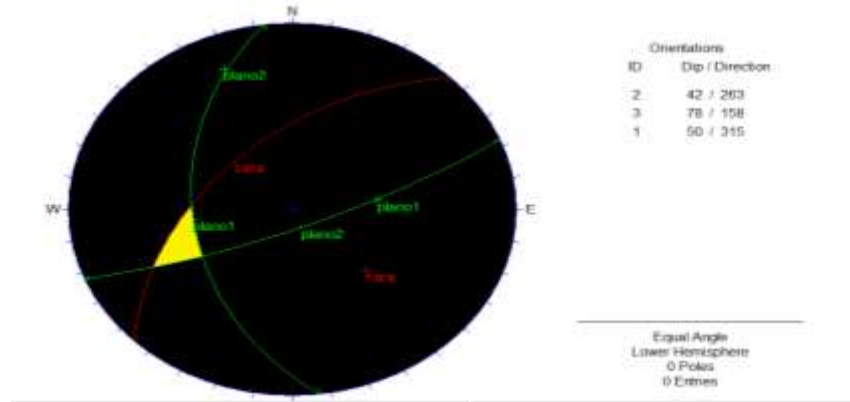
**Figura6** Proyección estereográfica K50-420

Fuente: autores

Se observa que se presenta falla en cuña dado que la proyección del plano 1 (símbolo+) está sobre la línea del plano 2 y viceversa pero es una falla muy

pequeña ya que la cara del talud está muy cercana a la intersección de los dos planos. [5].

### 2.1.2 Análisis estación K50-490 y K50-545

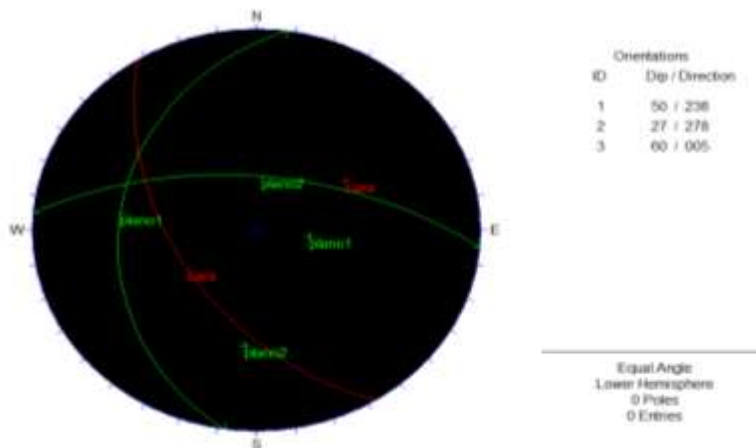


**Figura7** Proyección estereográfica K50-490 y K50-545

Fuente: autores

En este caso también se presenta la falla en cuña y la cara del talud está más retirada de la intersección de los planos, por lo tanto presenta una falla de gran tamaño que se debe estudiar.

### 2.1.3 Análisis estación K50-640



**Figura8** proyección estereográfica K50-640

Fuente: autores

En este modelo, mediante los datos de diaclasas se observó que las características del terreno cambian completamente, lo cual se corrobora en el análisis estereográfico, en donde se concluye que en este tramo no se presenta falla por cuña [5].

Una vez realizados los análisis estereográficos se concluye que en el talud se presenta una falla por cuña que debe ser analizada y es la encontrada en las estaciones K50-490 y K50-545

### 3. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE UN TALUD EN EL SOFTWARE SWEDGE

#### 4.0

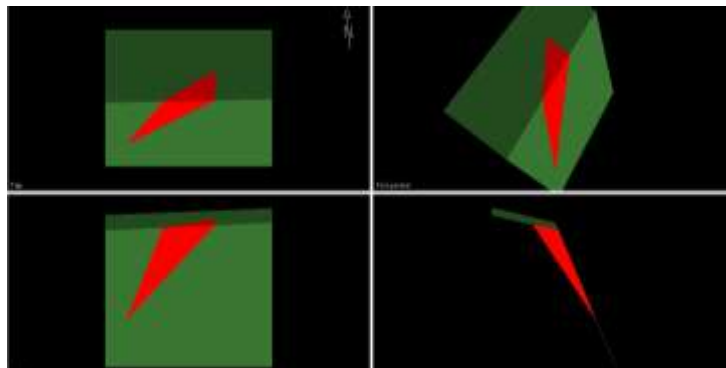
Una de las ventajas de utilizar el software para el análisis de un talud que presenta falla en cuña, es que permite programar dos tipos de análisis: determinístico y probabilístico, trabajando tanto en unidades métricas como inglesas [6].



**Figura9** Ventana Project settings

Fuente: autores

Además permite visualizar el talud desde 4 diferentes vistas o ejes los cuales son parte superior, frontal y lateral, y perspectiva en esta última se puede observar el talud en 3d en la dirección que se desee esto ayudaría a estimar las dimensiones de la cuña.



**Figura10** Tipos de vistas de un talud en Swedge

Fuente: autores

### 3.1 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO

#### 3.1.1 Datos de entrada

En esta parte del estudio y análisis se observan todos los datos de entrada que requiere el software para analizar un talud y se modificara estas opciones para obtener así diferentes respuestas al aumentarlas y disminuirlas y el porqué de las variaciones en los resultados; determinando así su influencia en la estabilidad del talud. Para ello debemos ir a la pestaña analysis→input data.

**Figura11** Ventana input data

Fuente: autores

En Esta opción se encuentran dos pestañas, Geometría y fuerzas:

#### 3.1.1.1 Geometría

##### 3.1.1.1.1 Datos Básicos. **Joint sets**

En este ítem se ingresan los datos del conjunto de discontinuidades que definen la falla en el talud los cuales son los mismos que se muestran en el análisis estereográfico.

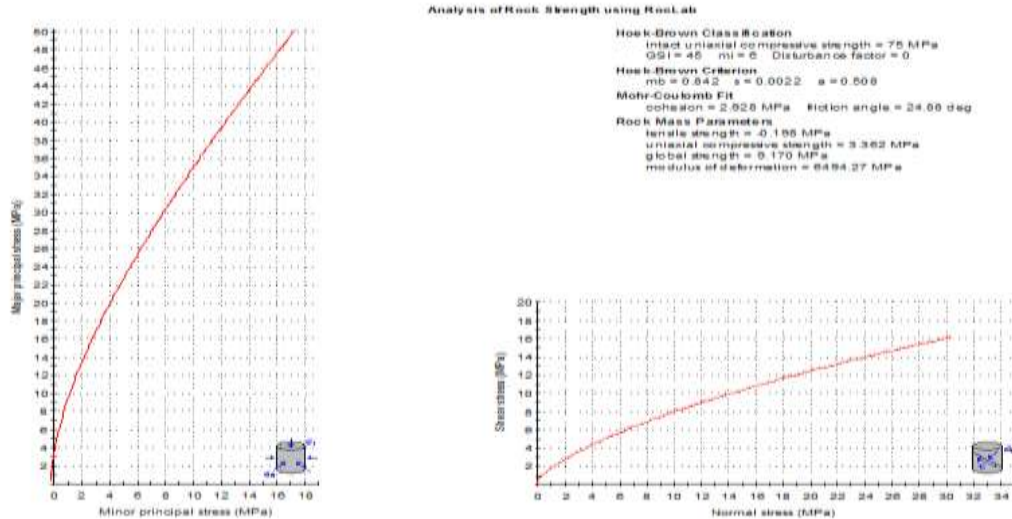
## Upper Slope and Face Slope (Pendiente superior y pendiente Cara)

Se Ingresan los datos de las Direcciones de la Pendiente superior y pendiente de la cara, no necesariamente tienen que ser la misma.

Al aumentar la pendiente de la cara del talud y la pendiente superior se observa como el factor de seguridad disminuye, de lo contrario el factor de seguridad aumentaría.

## Cohesión y ángulo de fricción del talud

Para hallar estos valores se recurrió el software Roc lab 1.0 tomando como base la información del marco geológico y las fotos del proyecto proporcionadas, obteniendo:



**Figura12** Resultados obtenidos en el software Roc lab

Fuente: autores

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

**Discontinuidad 1:** C1=2.928 MPa; phi=24,88deg

**Discontinuidad 2:** C2 =1.561MPa; phi=24,88deg

Con los datos obtenidos se concluyo que al aumentar la cohesión de cualquiera de las dos caras de falla aumentara el factor de seguridad , lo mismo sucede con el angulo de fricción pero en menor proporción; es decir, la estabilidad se vera más afectada por la cohesión que por el ángulo de fricción.

### **Slope Height (altura inclinada)**

Es la distancia vertical medida desde el plano 1, hasta la cara superior del talud o la grieta de tensión del mismo, esta altura determina el tamaño de la cuña y siempre será solicitada en los datos de entrada que se seleccione la opción bench width (ancho de la banca).

La altura inclinada del talud utilizado para el análisis es de 30m.

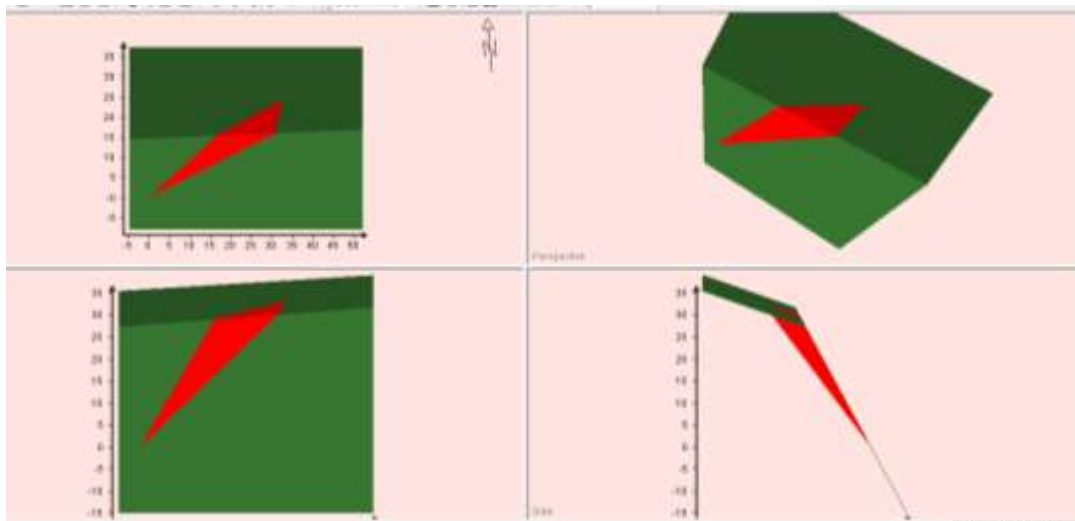
La altura inclinada es un dato muy importante ya que cambia la geometría del talud totalmente, por ende al aumentar su altura inclinada aumentara el área del talud y su peso, por lo tanto el talud será más inestable.

### **Unit weight (peso unitario)**

Es el peso unitario; es obtenido mediante ensayos de laboratorio aunque ya existen valores promedios definidos para cada tipo de roca; para el talud de estudio se tomó de  $2.5 \text{ ton}/\text{m}^3$ .

Al modificar el peso se observa que entre mayor sea el peso unitario mayor serán las fuerzas internas del talud y tendera a desestabilizarlo.

Con estos datos básicos ya se puede obtener del programa un análisis muy subestimado en condiciones casi que ideales y observar el talud.



**Figura13** Vistas en Swedge del talud de estudio

Fuente: autores

Para ver la una información detallada del análisis se usó la opción analysis→ info viewer.

**Analysis Results:**

Analysis type=Deterministic  
 Safety Factor=1.86262  
 Wedge height(on slope)=30 m  
 Wedge width(on upper face)=8.92484 m  
 Wedge volume=440.289 m<sup>3</sup>  
 Wedge weight=1100.72 tonnes  
 Wedge area (joint1)=156.18 m<sup>2</sup>  
 Wedge area (joint2)=221.777 m<sup>2</sup>  
 Wedge area (slope)=219.521 m<sup>2</sup>  
 Wedge area (upper face)=62.9094 m<sup>2</sup>  
 Normal force (joint1)=821.586 tonnes  
 Normal force (joint2)=241.087 tonnes  
 Driving force=695.961 tonnes  
 Resisting force=1296.31 tonnes

**Figura14** Resultado detallado del análisis básico del talud de estudio

Fuente: autores

Con tan solo estos datos el factor de seguridad es de 1.863 por lo tanto el talud es estable pero se debe tener en cuenta que solo se ha modelado el talud con condiciones básicas.

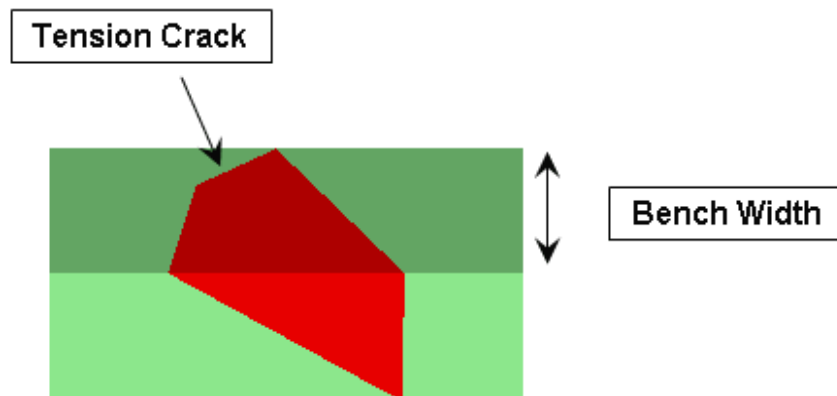
### 3.1.1.1.2 Otras opciones geométricas. **Bench Width (ancho de la banca)**

Si se desea, el usuario puede escalar el tamaño de la cuña de acuerdo con el Ancho de la banca. El ancho de banca se define como la distancia perpendicular desde la cresta de la ladera al vértice trasero de la cuña en el talud superior, como se observa en la Fig.13.2

Al ser la característica que define la altura del talud al igual q la altura inclinada, se observa que cambia la geometría del talud totalmente al aumentar el ancho de banca se aumentara el área del talud y su peso, por lo tanto el talud será más inestable.

### **Tensión crack (grieta de tensión)**

Si el talud presenta grietas de tensión debido a las fuerzas tensionales debe activarse y definirse esta opción. La longitud de la grieta de tensión es la distancia de la cresta grieta de la de tensión, medido a lo largo del plano1, como se observa en la Fig.15



**Fig.15** talud con grietas de tensión donde se observa el ancho de la banca

Fuente: manual virtual del software swedge

En este talud no se presenta este tipo de grietas pero no obstante se quiso citar y aplicar esta opción pues es una de las ventajas del software si presentara grietas de tensión cambiaria totalmente la geometría del talud y la falla, por lo tanto el factor de seguridad.

3.1.1.2 Fuerzas. En esta pestaña el software permite agregar fuerzas que afectaran el talud, a continuación serán nombradas y caracterizadas.

3.1.1.2.1 Water Pressure (presión del agua). De forma predeterminada, la presión del agua no es aplicada en el software; por lo tanto el análisis es aplicable a una pendiente seca pero por razones climatológicas y de ubicación el talud de estudio es propenso a tener filtraciones de agua, esto conlleva a fallas debido al aumento de esfuerzos en el talud.

En el software se presentan Tres diferentes opciones para definirla:

**Filled Fissures (fisuras rellenas)**

La opción Fisuras Llena asume que hay condiciones de precipitación muy intensa, y que en consecuencia, las fisuras están completamente llenas de agua.

**% Filled Fissures (% Fisuras rellenas)**

La opción % Fisuras rellenas permite al usuario especificar la altura media de agua en las fisuras, como un porcentaje del estado de éstas.

**Custom Pressure (Presión personalizada)**

La opción de presión de agua personalizada permite al usuario especificar la presión del agua promedio real en cada plano, de forma independiente. Esta es la opción más flexible de presión de agua, y puede ser útil si los datos reales de presión de agua están disponibles en los planos de falla de la cuña.

Se trabajó con la segunda opción, y se asumió que el porcentaje de filtrado es del 70% ya que es un terreno natural en el cual el único factor impermeabilizante es quizás las características de la roca y la pobre vegetación presente que se puede observar en el registro fotográfico proporcionado.

Se concluye que el talud pasa de ser estable a ser inestable totalmente con un  $FS=0.977$  como se observa en la fig.16:

**Analysis Results:**

Analysis type=Deterministic  
Safety Factor=0.97716  
Wedge height(on slope)=30 m  
Wedge width(on upper face)=8.92484 m  
Wedge volume=440.289 m<sup>3</sup>  
Wedge weight=1100.72 tonnes  
Wedge area (joint1)=156.18 m<sup>2</sup>  
Wedge area (joint2)=221.777 m<sup>2</sup>  
Wedge area (slope)=219.521 m<sup>2</sup>  
Wedge area (upper face)=62.9094 m<sup>2</sup>  
Normal force (joint1)=525.554 tonnes  
Normal force (joint2)=-179.283 tonnes  
Driving force=718.677 tonnes  
Resisting force=702.263 tonnes

*Water Pressures/Forces:*  
Average pressure on fissures=1.89546 tonnes/m<sup>2</sup>  
Water force on joint1=296.032 tonnes  
Water force on joint2=420.37 tonnes

**Figura16** Resultado del análisis del talud de estudio incluido el efecto del agua

Fuente: autores

**External Force (fuerzas externas)**

En ella se incluyen Una o más fuerzas externas que puedan afectar el talud por ejemplo, una aceleración producida por una explosión actuando en una dirección conocida o un peso muerto en la superficie del talud.

En el talud de estudio no se presentaron este tipo de fuerzas.

**Coefficiente Sísmico**

Es Un número adimensional que define la aceleración sísmica como una fracción de la aceleración debida a la gravedad. Este coeficiente se estableció en la

norma sismo resistente colombiana de 2010[8]. Que para el caso es de 0.15 (tabla2)

Landázuri	68385	0.15	0.15	Intermedia
-----------	-------	------	------	------------

**Tabla 2 coeficiente sismico de la zona**  
**Fuente :Norma sismo resistente NSR10**

Al incluir esta fuerza sísmica el factor de seguridad baja considerablemente haciendo el talud más inestable con un FS=0.77.

**Analysis Results:**

Analysis type=Deterministic  
Safety Factor=0.771632  
Wedge height(on slope)=30 m  
Wedge width(on upper face)=8.92484 m  
Wedge volume=440.289 m3  
Wedge weight=1100.72 tonnes  
Wedge area (joint1)=156.18 m2  
Wedge area (joint2)=221.777 m2  
Wedge area (slope)=219.521 m2  
Wedge area (upper face)=62.9094 m2  
Normal force (joint1)=424.978 tonnes  
Normal force (joint2)=-208.796 tonnes  
Driving force=849.918 tonnes  
Resisting force=655.824 tonnes

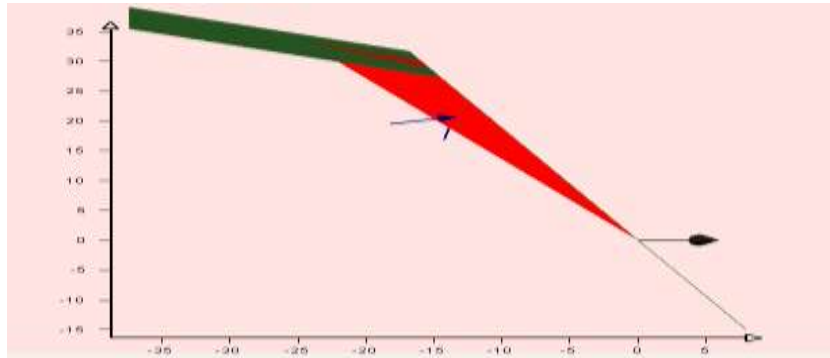
*Water Pressures/Forces:*  
Average pressure on fissures=1.89546 tonnes/m2  
Water force on joint1=296.032 tonnes  
Water force on joint2=420.37 tonnes

*Seismic Force:*  
Seismic force=165.108 tonnes

**Figura17** Resultado del análisis del talud de estudio con efectos del agua y sísmico

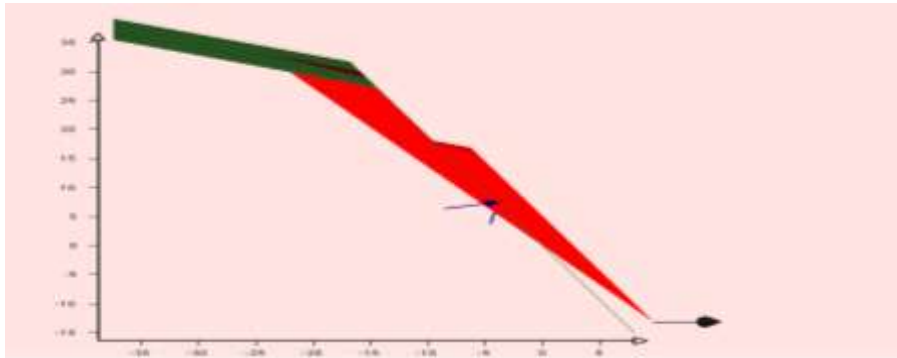
Fuente: autores

El software permite interactuar con el talud en donde se observa como ocurrirá la falla del talud, obteniendo de esto una idea adecuada para su prevención y estabilización además permite apreciar las fuerzas aplicadas al talud como se observa en las fig.18, fig. 19 y fig.20. [6]



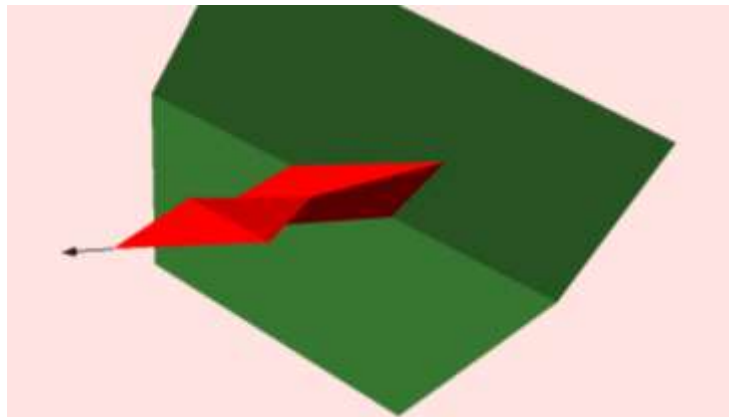
**Figura18** Vista lateral del talud antes de fallar

Fuente: autores



**Figura19** Vista lateral del talud durante la falla

Fuente: autores



**Figura20** Perspectiva del talud durante la falla

Fuente: autores

### 3.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO

En este método de análisis se puede observar y conocer la potencialidad del software, en el cual a partir de unos datos de entrada estadísticos, genera el número solicitado de muestras (taludes) posibles, para obtener una distribución de factor de seguridad, y calcular la probabilidad de falla.

En este caso para el ingreso de datos se presentan 7 pestañas, en las cuales se debe especificar el tipo distribución que se desea utilizar en cada uno de ellos, su desviación estándar y su máximo y mínimo relativo. Los tipos de distribución pueden ser:

**Distribución normal** (o gaussiana) es el más común tipo de función de distribución de probabilidad, y se utiliza generalmente para los estudios probabilísticos en ingeniería geotécnica.

**Distribución uniforme:** esta distribución puede ser utilizada para simular una variación aleatoria entre dos valores, donde todos los valores en el rango son igualmente probables.

Cabe destacar que en este análisis del software solo se utilizaron distribuciones normales y uniformes pero cabe resaltar que el software permite utilizar además distribuciones de tipo triangular, beta, exponencial y Log normal.

Los datos de entrada al software para el caso de estudio, se presentan en las figuras 21 a 25

Joint Set 1	Joint Set 2	Slope	Upper Face	Tension Crack	Forces	Sampling
<b>Dip</b> Mean Value: 42 deg Statistical Distribution: Normal Standard Deviation: 2 deg Relative Minimum: 5 deg Relative Maximum: 5 deg		<b>Dip Direction</b> Mean Value: 263 deg Statistical Distribution: Normal Standard Deviation: 2 deg Relative Minimum: 5 deg Relative Maximum: 5 deg				
<b>Cohesion</b> Mean Value: 2.928 t/m2 Statistical Distribution: Uniform Standard Deviation: 0 t/m2 Relative Minimum: 2.5 t/m2 Relative Maximum: 3.4 t/m2		<b>Friction Angle</b> Mean Value: 24.88 deg Statistical Distribution: Uniform Standard Deviation: 0 deg Relative Minimum: 20 deg Relative Maximum: 30 deg				
<input checked="" type="checkbox"/> Correlation coefficient between cohesion and friction angle: -0.5						

Figura21 Datos de entrada Joint Set 1 para analisis probabilistico

Fuente: autores

Joint Set 1	Joint Set 2	Slope	Upper Face	Tension Crack	Forces	Sampling
<b>Dip</b> Mean Value: 78 deg Statistical Distribution: Normal Standard Deviation: 2 deg Relative Minimum: 5 deg Relative Maximum: 5 deg		<b>Dip Direction</b> Mean Value: 158 deg Statistical Distribution: Normal Standard Deviation: 2 deg Relative Minimum: 5 deg Relative Maximum: 5 deg				
<b>Cohesion</b> Mean Value: 1.561 t/m2 Statistical Distribution: Uniform Standard Deviation: 0 t/m2 Relative Minimum: 1.061 t/m2 Relative Maximum: 2 t/m2		<b>Friction Angle</b> Mean Value: 24.88 deg Statistical Distribution: Uniform Standard Deviation: 0 deg Relative Minimum: 20 deg Relative Maximum: 30 deg				
<input checked="" type="checkbox"/> Correlation coefficient between cohesion and friction angle: -0.5						

Figura22 Datos de entrada Joint Set 2 para analisis probabilistico

Fuente: autores

Joint Set 1	Joint Set 2	Slope	Upper Face	Tension Crack	Forces	Sampling
<b>Dip</b> Mean Value: 62 deg Statistical Distribution: Normal Standard Deviation: 2 deg Relative Minimum: 5 deg Relative Maximum: 5 deg		<b>Dip Direction</b> Mean Value: 185 deg Statistical Distribution: Normal Standard Deviation: 2 deg Relative Minimum: 5 deg Relative Maximum: 5 deg				
<b>Slope Properties</b> Slope Height (m): 30 Unit Weight (t/m3): 2.5 <input type="checkbox"/> Bench Width (m): 8.92484 <input type="checkbox"/> Overhanging						

Figura23 Datos de entrada slope para analisis probabilistico

Fuente: autores

**Figura24** Datos de entrada Upper Face para analisis probabilistico

Fuente: autores

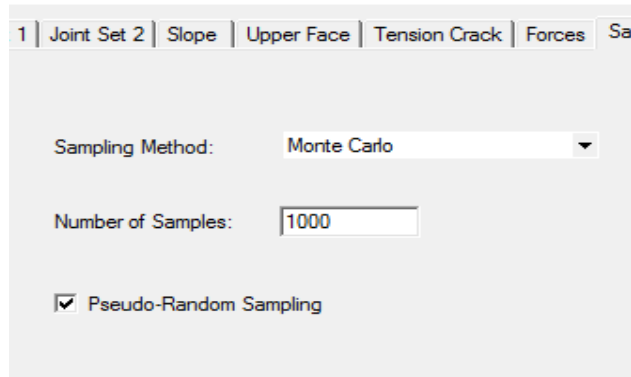
**Figura25** Datos entrada force para analisis probabilistico

Fuente: autores

Como se observa en la fig.21 las fuerzas no presentan un tipo de distribución, dado que son agentes fijos que afectaran el talud permanentemente.

Además de los datos de entrada se debe especificar el método de muestreo entre los cuales se especificado y selecciono los dos más conocidos que son, el método Monte Carlo y el método Latin hypercube.

Es necesario establecer el número de muestras a ser tomadas, entendiéndose que entre más muestras mayor exactitud como se muestra en la fig.26



**Figura26** Ventana Sampling método probabilístico

Fuente: autores

Luego de ingresar todos los datos se realizó el análisis correspondiente, mostrando los datos promedio obtenidos así como la probabilidad de que dicho talud falle.

Los datos obtenidos en este análisis fueron los siguientes (figura27):

```

Analysis Results:

Analysis type=Probabilistic
Sampling method=Monte Carlo
Pseudo-random sampling=YES
Probability of failure=0.605237
Number of samples=1000
Number of valid wedges=993
Number of failed wedges=601
Number of safe wedges=392

Current Wedge Data - Mean Wedge:
Safety factor=0.771632
Wedge height(on slope)=30 m
Wedge width(on upper face)=8.92484 m
Wedge volume=440.289 m3
Wedge weight=1100.72 tonnes
Wedge area (joint1)=156.18 m2
Wedge area (joint2)=221.777 m2
Wedge area (slope)=219.521 m2
Wedge area (upper face)=62.9094 m2
Normal force (joint1)=424.978 tonnes
Normal force (joint2)=-208.796 tonnes
Driving force=849.918 tonnes
Resisting force=655.824 tonnes
    
```

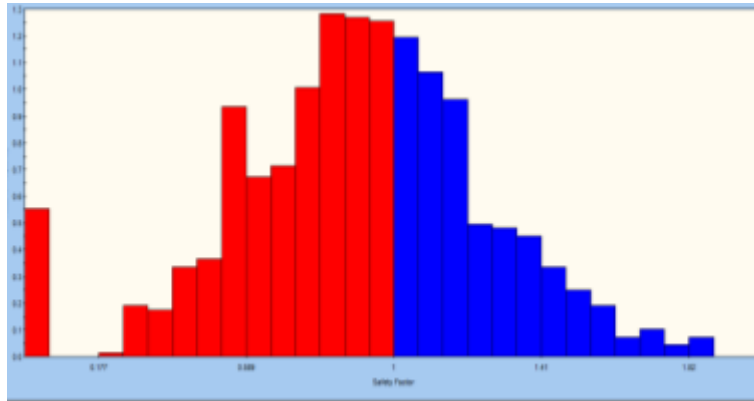
**Figura27** Resultado detallado del análisis probabilístico del talud de estudio

Fuente: autores

Se visualiza que la probabilidad de que se presente falla por cuña con estas condiciones es de  $PF=0.60$  es decir hay un 60% de probabilidades que el talud en su estado natural falle.

El software permite ver gran cantidad de histogramas, curvas s y diagramas de dispersión las cuales son muy importantes para una interpretación de datos estadísticos.

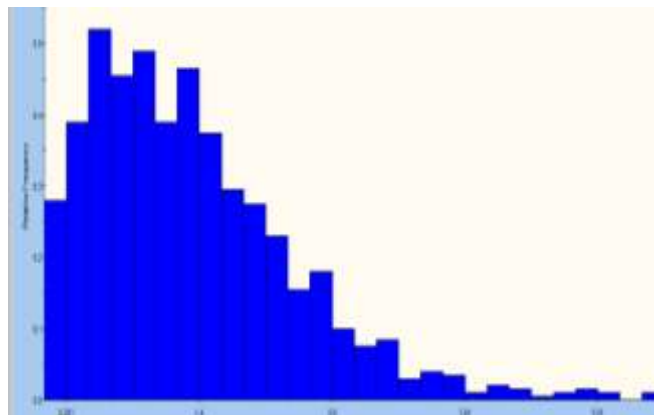
A continuación se muestra como se presentan algunos de estos histogramas:



**Figura28** Histograma del factor de seguridad

Fuente: autores

En el histograma de la figura28. Se observa cómo el 60% de las muestras (rojo) tiene un factor de seguridad inestable al igual que se representa cerca de un 5.5% de las muestras tiene un factor de seguridad cercano a 0, es decir tiene el 100% de probabilidades de fallar.

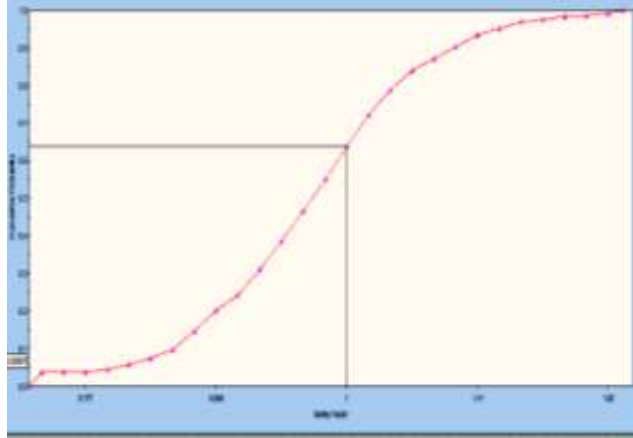


**Figura29** Histograma del peso de la cuña

Fuente: autores

En el talud de estudio se observa que el peso de mayor frecuencia (la moda) está entre 1.9 y 1,8 (tonnesx1000) con cerca del 5% de las muestras.

Analizando la curva S del factor de seguridad tenemos:

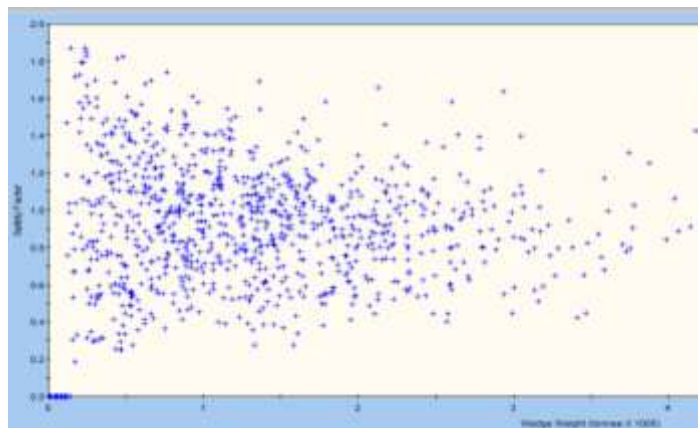


**Figura30** Curva S del factor de seguridad

Fuente: autores

Es esta curva se obtiene más del 60% de los datos presentando un factor de seguridad menor a 0.99.

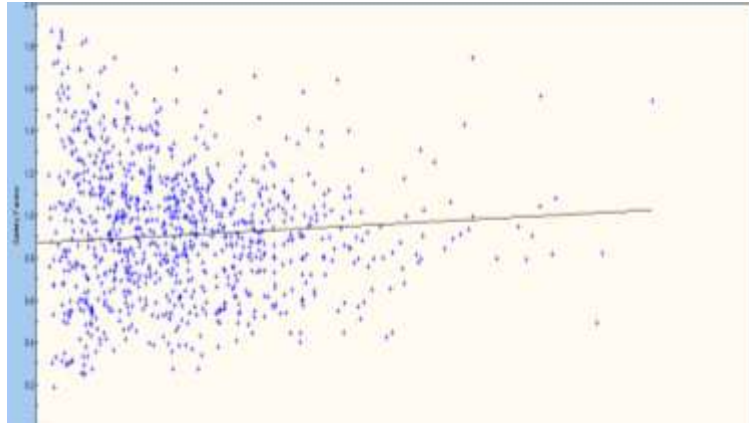
Otro de los análisis estadísticos que se le puede ordenar es el de los diagramas de dispersión, factor de seguridad vs peso de la cuña para así observar la relación de estas dos características.



**Figura31** Diagrama de dispersión factor de seguridad vs peso de la cuña

Fuente: autores

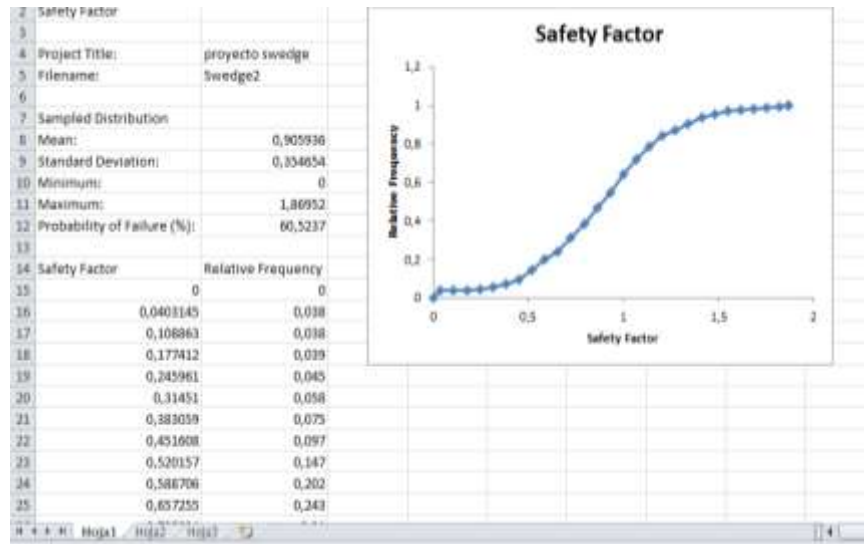
Otra ventaja de este software es que permite realizar una regresión lineal entre estos dos factores, como se representa en la siguiente figura:



**Figura32** Regresión lineal datos de la figura31

Fuente: autores

Una de las ventajas es la de permitir interactuar en las gráficas solicitadas proporcionándonos información detallada en cada punto que deseemos. Otra característica de swedge es la de exportar los datos de cualquier análisis estadístico deseado a una tabla de Excel donde se proyectan los resultados solicitados para ser utilizarlos en otro tipos de estudios más avanzados en los que se requieran. Los datos son exportados como se muestran en la figura33



**Figura33** Datos de una curva S exportada a Excel  
 Fuente: autores

#### 4. ESTABILIZACIÓN DEL TALUD CON EL SOFTWARE SWEDGE.

Para estabilizar un talud que presente falla en cuña el software presenta solo 2 tipos de herramientas de estabilización, concreto lanzado y anclajes o pernos.

Cabe destacar que también se puede modificar el % de presión de agua, ya que uno de los métodos más eficaces para estabilizar un talud es la creación de drenajes, filtros y la revegetación adecuada.

La pendiente del talud también puede ser modificada in situ por ende en el software. Así que indirectamente se pueden realizar otros métodos de estabilización.

A continuación se hará énfasis en estabilizar el talud con las dos herramientas dadas por el software, anteriormente mencionadas.

##### 4.1 CONCRETO LANZADO

Este es un método de recubrimiento el cual ayuda a controlar la erosión y el drenaje aplicado sobre la cara del talud [9]

En la plataforma del software se abre la opción support → shotcrete... (Figura34)



**Figura34** ventana shotcrete

Fuente: autores

Se aplicó una capa de 5 cm de espesor y un concreto de  $3000 \text{ psi} = 210 \text{ ton/m}^2$ .

Al aplicar el concreto lanzado tenemos:

**Analysis Results:**

Analysis type=Deterministic  
 Safety Factor=1.32678  
 Wedge height(on slope)=30 m  
 Wedge width(on upper face)=8.92484 m  
 Wedge volume=440.289 m<sup>3</sup>  
 Wedge weight=1100.72 tonnes  
 Wedge area (joint1)=156.18 m<sup>2</sup>  
 Wedge area (joint2)=221.777 m<sup>2</sup>  
 Wedge area (slope)=219.521 m<sup>2</sup>  
 Wedge area (upper face)=62.9094 m<sup>2</sup>  
 Normal force (joint1)=424.978 tonnes  
 Normal force (joint2)=-208.796 tonnes  
 Driving force=849.918 tonnes  
 Resisting force=1127.65 tonnes

*Water Pressures/Forces:*  
 Average pressure on fissures=1.89546 tonnes/m<sup>2</sup>  
 Water force on joint1=296.032 tonnes  
 Water force on joint2=420.37 tonnes

*Seismic Force:*  
 Seismic force=165.108 tonnes

*Shotcrete Force:*  
 Shotcrete force=866.151 tonnes

**Figura35** Resultado del análisis detallado del talud de estudio incluido el concreto lanzado

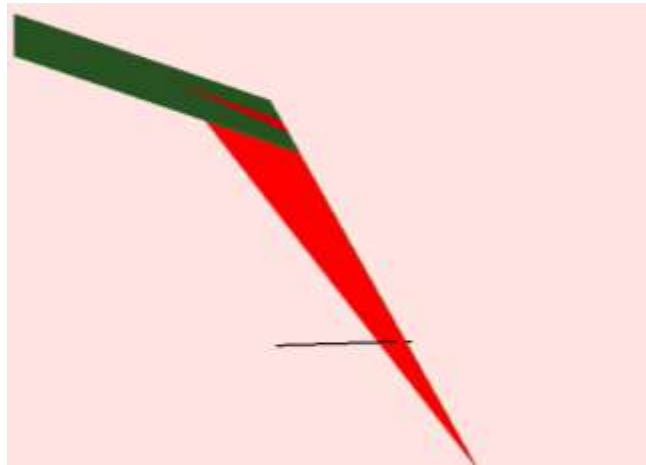
Fuente: autores

Se observó que El factor de seguridad cambio a FS=1.32 por lo tanto el talud de estudio después de aplicar el concreto lanzado es estable.

## 4.2 ANCLAJES O PERNOS

Esta estructura de contención es muy efectiva en roca especialmente cuando es estratificada, la desventaja es que requieren equipos especiales y son usualmente costosos. [9]

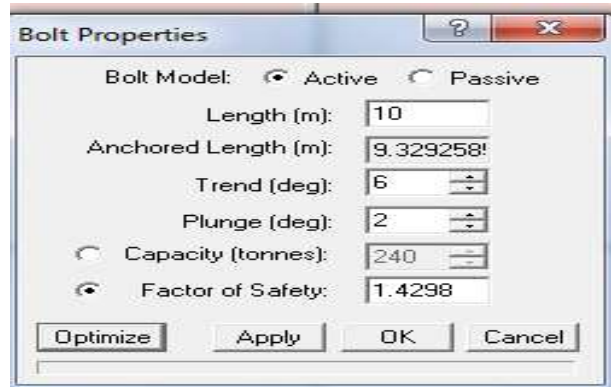
Para usar esta herramienta se aplica la opción support →add bolt y se selecciona el punto donde se desea instalar el perno, desplegándose una ventana (Fig. 37). Cualquier número de pernos se puede añadir a un modelo. Sin embargo, los pernos en swedge simplemente se comportan como vectores de fuerza que pasan a través del centroide de la cuña. La fuerza aplicada es igual a la capacidad perno. Por lo tanto, en términos del efecto sobre el factor de seguridad, múltiples pernos pueden ser simuladas por un solo tornillo, con la capacidad y la dirección equivalente.



**Figura36** Vista lateral del talud con 1 anclaje activo de 10 m de longitud

Fuente: autores

Entonces, teniendo en cuenta lo anterior se decidió colocar pernos de 10 m activos y deseando un factor de seguridad de 1.4 se le solicitó al software la opción optimizar, para saber cuántas toneladas de capacidad se necesitan, la dirección con la que deben estar puestos los anclajes y la longitud efectiva de los mismos.



**Figura37.** Ajuste de las propiedades de anclajes

Fuente: autores

Se necesitan 236 toneladas de capacidad, si tenemos anclajes de 20 toneladas utilizamos 12 pernos y tendríamos 240 toneladas de capacidad por lo tanto se aplicó dicha capacidad y se obtuvo un factor de seguridad de 1.433: junto a los siguientes resultados:

**Analysis Results:**

Analysis type=Deterministic  
Safety Factor=1.433  
Wedge height(on slope)=30 m  
Wedge width(on upper face)=8.92484 m  
Wedge volume=440.289 m<sup>3</sup>  
Wedge weight=1100.72 tonnes  
Wedge area (joint1)=156.18 m<sup>2</sup>  
Wedge area (joint2)=221.777 m<sup>2</sup>  
Wedge area (slope)=219.521 m<sup>2</sup>  
Wedge area (upper face)=62.9094 m<sup>2</sup>  
Normal force (joint1)=470.805 tonnes  
Normal force (joint2)=2.51869 tonnes  
Driving force=713.886 tonnes  
Resisting force=1023 tonnes

**Bolt Data:**

Number of bolts=1  
  
*Bolt #1*  
bolt model=active  
trend=6 deg, plunge=2 deg  
length=10 meters  
anchored length=9.32926 meters  
capacity=242 tonnes

**Figura38** Resultado del análisis detallado del talud de estudio estabilizado mediante anclajes activos

Fuente: autores

## CONCLUSIONES

Mediante el software swedge se logró variar las principales características geométricas del talud de estudio, el cual presentaba falla en cuña, logrando identificar los factores geométricos que provocan inestabilidad del mismo, y se observó cómo al aumentar por ejemplo la altura inclinada, el talud presentaba un menor factor de seguridad.

Se realizaron variaciones para ver la afectación del peso propio del talud, como era de esperarse se comprobó que entre más pesado sea el talud menor es su factor de seguridad.

En cuanto a la cohesión y fricción, dado que son fuerzas internas que unen las partículas del talud, se comprobó que al aumentarlas se afianzaba el talud y aumentaba así su factor de seguridad; pero se observó que por muy alto que sea el ángulo de fricción si la cohesión es baja el talud tendera a ser inestable.

El software permite analizar el efecto de algunas fuerzas externas sobre el talud donde se observó que uno de los principales factores que generan inestabilidad en un talud es la presión del agua ya que se logró ver, que al no incluir el efecto sísmico y agregar la presión de agua, el talud paso inmediatamente a ser inestable en cambio, si solo agregábamos el efecto sísmico se disminuía el factor de seguridad pero no era considerado peligroso; una vez incluidos ambos su combinación era catastrófica, pero el efecto del agua influía mas en el talud.

Una de las características más importantes del software swedge fue la capacidad de análisis estadístico de un talud, por medio de la recolección de datos estadísticos en la zona se logró saber cuál es la probabilidad de que en el futuro

se presente falla; En nuestro caso por ser un talud inestable, se obtuvo una gran probabilidad de fallo y se analizaron los casos más típicos que pueden presentar falla así como la relación del factor de seguridad y el peso del talud.

El software swedge 4.0 además del análisis del talud, presenta dos herramientas de estabilización muy comunes actualmente y nos permite analizar el talud después de aplicadas estas herramientas, para obtener las características deseadas; En nuestro caso prevenir la falla del talud que pondría en riesgo el funcionamiento de la vía que se está realizando y que podría generar desastres.

Como una conclusión general del software, se puede decir que es un software muy subvalorado ya que nos brinda muy buenas características al analizar taludes con fallas en cuña, es muy sencillo de utilizar, tiene una interfaz muy agradable, quizás una de las mejores interfaces en 3d y se observó la gran cantidad de opciones que tiene para analizar un talud además incluye muy buenos manuales, y se pueden realizar consultas en línea con la empresa creadora.

En cuanto a las desventajas tenemos que decir que el software puede requerir ser complementado con otro software como el Dips, es un software que no tiene versión libre y es algo costoso, además solo existe versiones en inglés y por tener algunas palabras muy técnicas puede que a las personas que no están familiarizadas con el tema no lo entiendan fácilmente.

## REFERENCIAS

- [1] Hunt, Roy E. (1984) Manual de investigación de ingeniería geotécnica. McGraw-Hill.
- [2] Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. JAIME SUAREZ DIAZ. Profesor Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia.
- [3] Aplicaciones de Mecánica de Rocas en Ingeniería. Ricardo Moffat C. (Ph.D.)
- [4] Phillips, F.C. 1975. La aplicación de la Proyección Estereográfica en Geología Estructural. Blume, Madrid. 132 pp.
- [5] Video 1º clase de Rocscience [http://www.youtube.com/watch?V=5p2k\\_kint78](http://www.youtube.com/watch?V=5p2k_kint78)  
[citado el 15 de agosto de 2012]
- [6] Documento pdf , Swedge Probabilistic analysis of the geometry and stability of surface wedges, User's Guide, 1991 - 2002 Rocscience Inc.
- [7] Tutorial en línea swedge  
[http://www.rocscience.com/help/swedge/webhelp/pdf\\_files/tutorials/Tutorial\\_05\\_Wedge\\_Size.pdf](http://www.rocscience.com/help/swedge/webhelp/pdf_files/tutorials/Tutorial_05_Wedge_Size.pdf) [citado el 17 de agosto de 2013]
- [8] Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Bogotá D.C, Colombia Enero de 2010, I apéndice A-4 página A-171
- [9] Métodos de estabilización de taludes  
<http://www.slideshare.net/johannaximena1/muros-de-contencion> [citado 9 de octubre de 2013]

## BIBLIOGRAFIA

Aplicaciones de Mecánica de Rocas en Ingeniería. Ricardo Moffat C. (Ph.D.)

Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. JAIME SUAREZ DIAZ. Profesor Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia.

Documento pdf , Swedge Probabilistic analysis of the geometry and stability of surface wedges, User's Guide, 1991 - 2002 Rocscience Inc.

Hunt, Roy E. (1984) Manual de investigación de ingeniería geotécnica. McGraw-Hill.

Métodos de estabilización de taludes <http://www.slideshare.net/johannaximena>  
1/muros-de-contencion [citado 9 de octubre de 2013]

Phillips, F.C. 1975. La aplicación de la Proyección Estereográfica en Geología Estructural. Blume, Madrid. 132 pp.

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Bogotá D.C, Colombia Enero de 2010, I apéndice A-4 página A-171

Tutorial en línea swedge [http://www.rocscience.com/help/swedge/webhelp/pdf\\_files/tutorials/Tutorial\\_05\\_Wedge\\_Size.pdf](http://www.rocscience.com/help/swedge/webhelp/pdf_files/tutorials/Tutorial_05_Wedge_Size.pdf) [citado el 17 de agosto de 2013]

Video 1º clase de Rocscience [http://www.youtube.com/watch?V=5p2k\\_kint78](http://www.youtube.com/watch?V=5p2k_kint78)  
[citado el 15 de agosto de 2012]