



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL POR EL MÉTODO DE  
LAS DOVELAS DEL TALUD DE LA CASA DE MÁQUINAS  
DEL APROVECHAMIENTO ALAZÁN DEL PROYECTO  
HIDROELÉCTRICO MAZAR DUDAS**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Ingeniera Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones**

**AUTORA:**

Andrea Vicenta Merchán Coronel

**DIRECTOR:**

Juan Pablo Riquetti Morales

**CUENCA – ECUADOR**

**2014**

## DEDICATORIA

Detrás de todo éxito se encuentra el apoyo incondicional de nuestros seres queridos, que con su paciencia, palabras de aliento y el simple hecho de acompañarnos a lo largo del camino recorrido, nos han brindado la fortaleza para seguir adelante y llegar a la meta. Es por estas y más razones que el trabajo presentado, tiene una dedicatoria especial a mi familia que ha sido mi pilar en momentos de flaqueza, mi consuelo en épocas de desesperanzas y mi motivación para seguir luchando.

A mi madre, la persona con la que siempre conté, la que siempre estuvo para levantarme si caía y la persona a la que le debo todo, y a mi abuelo Marco que ha sido como padre, de él aprendí el amor al trabajo y al esfuerzo, el amor a los libros y a esta hermosa carrera, a él le debo mis sueños y mis esperanzas.

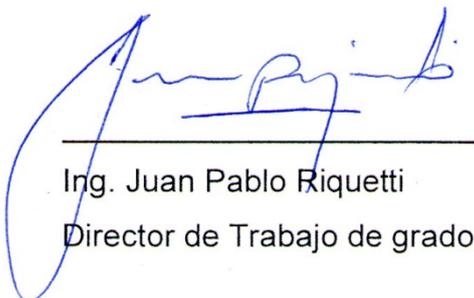
03-04-14

## RESUMEN

### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL POR EL MÉTODO DE LAS DOVELAS DEL TALUD DE LA CASA DE MÁQUINAS DEL APROVECHAMIENTO ALAZÁN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MAZAR DUDAS.

Conocer la situación actual del sector para confirmar el problema de estabilidad que presenta el talud y proponer una solución al problema que sea técnica y económicamente factible. Teniendo como puntos relevantes plantear modelos de estabilidad de taludes con la topografía inicial del sitio analizado, con ello establecer la situación actual del sector estudiado y proponer una configuración geométrica del talud que asegure la estabilidad y seguridad del mismo. Para lograrlos se recurrirá a modelar un perfil del talud con ayuda del software GeoStudio, las características físicas y mecánicas del suelo que se deducirán por medio de ensayos geotécnicos y tablas y realizar los análisis de precios unitarios de los rubros involucrados y el presupuesto aproximado. Los resultados obtenidos afirmaron la condición inestable del sector; tras un minucioso análisis se logró una condición estable y segura del talud, y asegurar la viabilidad del proyecto tanto técnica como económicamente.

**PALABRAS CLAVES:** Talud, cohesión, ángulo de fricción, estabilidad, factor de seguridad.



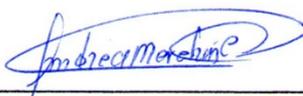
---

Ing. Juan Pablo Riquetti  
Director de Trabajo de grado



---

Ing. Paúl Cordero  
Director escuela de Ingeniería civil y  
gerencia de construcciones



---

Srta. Andrea Merchan

Autor

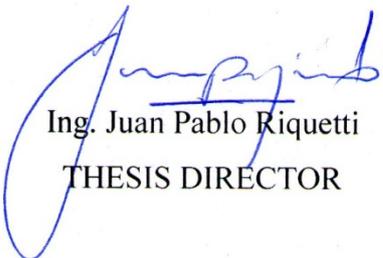
*Coronel*  
08-24-14

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE ALAZAN WATER RESOURCES POWERHOUSE SLOPE GENERAL STABILITY AT THE MAZAR-DUDAS HYDROELECTRIC PROJECT BY THE MATCH-CAST SEGMENT METHOD

This analysis aims to know the current situation of the sector to confirm the slope stability problem, and recommend a technically and economically feasible solution. An important point is to propose slope stability models with the initial topography of the analyzed site so as to establish the current status of the studied sector and propose a geometric configuration of the slope to ensure its stability and safety. In order to achieve this, a slope profile will be modeled with the help from GeoStudio software. The physical and mechanical characteristics of the soil will be deducted by geotechnical tests and tables as well as the analysis of the items unit prices and the approximate budget. The results confirmed the unstable condition of the sector. After a careful analysis a stable and safe condition of the slope was achieved, and in this way it was possible to ensure the technical and economic viability of the project

**KEYWORDS:** Slope, Cohesion, Friction Angle, Stability, Safety Factor.

  
Ing. Juan Pablo Riquetti  
THESIS DIRECTOR

  
Ing. Paul Cordero  
SCHOOL DIRECTOR

  
Andrea Merchán  
AUTHOR

  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
DPTO. IDIOMAS

  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA _____	ii
RESUMEN _____	iii
ABSTRACT _____	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS _____	v
ÍNDICE DE TABLAS _____	viii
ÍNDICE DE FIGURAS _____	ix
ÍNDICE DE ANEXOS _____	x
INTRODUCCIÓN _____	1

### **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES Y ENSAYOS DE CAMPO**

1.1 Introducción. _____	3
1.2 Antecedentes. _____	3
1.3 Levantamiento de información _____	4
1.3.1 Obtención de la topografía con la configuración actual del talud. _____	4
1.3.2 Ensayos de laboratorio. _____	4
1.3.2.1 Toma de muestras superficiales del talud. _____	4
1.3.2.2 Granulometría del suelo. _____	5
1.3.2.3 Proctor estándar. _____	7
1.3.3 Determinación de las propiedades mecánicas del suelo. _____	9

### **CAPÍTULO 2: SUSTENTO TEÓRICO DEL MÉTODO DE CÁLCULO**

2.1 Introducción _____	10
2.2 Análisis Granulométrico. _____	10
2.2.1 Análisis mecánico del suelo. _____	10
2.2.2 Curva de distribución granulométrica. _____	11
2.3 Relaciones volumétricas y clasificación de Suelos. _____	12
2.3.1 Relaciones entre peso específico, relación de vacíos, contenido de agua y densidad de sólidos. _____	14
2.3.2 Límites de consistencia. _____	15

2.3.2.1 Limite líquido (LL).	16
2.3.2.2 Limite plástico. (PL)	17
2.3.2.3 Límite de contracción.	17
2.3.3 Carta de plasticidad.	18
2.3.4 Clasificación de suelos.	19
2.3.4.1 Sistema de clasificación AASHTO.	19
2.3.4.2 Sistema unificado de clasificación de suelos, (SUCS).	21
2.4 Compactación de suelos.	23
2.4.1 Prueba proctor estándar.	24
2.4.2 Prueba proctor modificado.	25
2.5 Resistencia al cortante del suelo.	26
2.5.1 Criterio de falla de Mohr-Coulomb.	26
2.5.2 Determinación de parámetros mecánicos del suelo.	27
2.6 Estabilidad de taludes.	27
2.6.1 Factor de seguridad.	28
2.6.2 Métodos de equilibrio límite.	29
2.6.3 Método de las dovelas.	30
2.6.4 Método de simplificado de las dovelas de Bishop.	31

### **CAPÍTULO 3: CÁLCULOS, INTERPRETACIÓN Y SOLUCIÓN**

3.1 Parámetros considerados	33
3.2 Geometría del talud inicial	34
3.3 Modelación del problema en el software.	36
3.3.1 Definición del problema	38
3.3.2 Resultados obtenidos.	40
3.4 Solución del problema	40
3.4.1 Definición de la nueva geometría	41
3.4.2 Modelación en el software.	42
3.4.2.1 Definición de la nueva configuración	42
3.4.2.2 Resultados obtenidos	43

**CAPÍTULO 4: ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO**

4.1 Especificaciones técnicas _____	45
4.2 Metodología de construcción <sup>3</sup> _____	51
4.3 Análisis de precios unitarios _____	52
4.4 Presupuesto referencial_____	57
CONCLUSIONES _____	58
RECOMENDACIONES _____	60
BIBLIOGRAFÍA _____	61

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1. Tamaño de la apertura de los tamices estándar. _____	11
Tabla 2.2. Sistema de clasificación AASHTO (materiales granulares) _____	19
Tabla 2.3. Sistema de clasificación AASHTO (materiales limo-arcilla) _____	20
Tabla 2.4 Sistema unificado de clasificación _____	22
Tabla 3.1 Tabla de características mecánicas de los suelos _____	33
Tabla 3.2 Tabla resumen de resultados _____	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva de compactación _____	9
Figura 2.4. Carta de plasticidad_____	18
Figura 2.5 Curva de compactación _____	24
Figura 2.6 Falla del talud_____	28
Figura 2.7 . Superficie de falla de radio r y centro o _____	30
Figura 2.8 Fuerzas que actúan sobre la n-ésima dovela (método de las dovelas)	31
Figura 3.1. Emplazamiento de la casa de máquinas _____	35
Figura 3.2 Topografía del derrumbe del sector _____	35
Figura 3.3. Perfil actual del terreno _____	36
Figura 3.4 Programa Geostudio 2012-slope/w: Definición del método _____	37
Figura 3.5 Programa Geostudio 2012-slope/w: Modelación del talud _____	38
Figura 3.6 Programa Geostudio 2012-slope/w: Definición de características del suelo _____	39
Figura 3.7 Programa Geostudio 2012-slope/w: Radios y centro probables_____	39
Figura 3.8 Programa Geostudio 2012-slope/w: Resultados iniciales_____	40
Figura 3.9 Perfil propuesto _____	41
Figura 3.10. Perfil propuesto vs. Perfil actual _____	42
Figura 3.11 Programa Geostudio 2012-slope/w: Radios y centros nueva geometría _____	43
Figura 3.12 Programa Geostudio 2012-slope/w: Resultados obtenidos _____	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Fotografías del sitio

Anexo 2 Plano bermas, perfiles y secciones

Andrea Vicenta Merchán Coronel

Trabajo de Grado

Ing. Juan Pablo Riquetti

Abril, 2014

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GENERAL POR EL MÉTODO DE LAS DOVELAS  
DEL TALUD DE LA CASA DE MÁQUINAS DEL APROVECHAMIENTO ALAZÁN  
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MAZAR DUDAS**

**INTRODUCCIÓN**

De manera general, con este trabajo se pretende realizar un análisis de la estabilidad inicial del talud estudiado y en función de los resultados obtenidos brindar una nueva configuración geométrica. De esta forma asegurar que el talud sea estable y seguro. También, se elaborará un estudio técnico y económico de factibilidad de la solución brindada

El trabajo se justifica perfectamente debido a que actualmente, tras la construcción de las obras referentes al proyecto hidroeléctrico Mazar Dudas y sus diferentes aprovechamientos, se identificó que el talud del sitio donde se emplazará la casa de máquinas del aprovechamiento Alazán presenta problemas de deslizamientos periódicos, poniendo en riesgo la construcción de la misma y su funcionamiento posterior. Además, se debe tomar a consideración el impacto económico de este problema, al realizar limpiezas constantes de los derrumbes en el sitio. Por las razones expuestas anteriormente, está debidamente justificada la necesidad de realizar una evaluación de la estabilidad actual del talud y proponer una nueva geometría del mismo.

Los objetivos que se plantearon para la realización del trabajo se centran básicamente en analizar la estabilidad general del talud de acuerdo a su configuración inicial y en función de los resultados obtenidos definir una geometría estable, como objetivo general. Los objetivos específicos se centran en los pasos que nos llevarán a efectuar el trabajo estos son:

- Definir los parámetros del suelo necesarios para calcular la estabilidad del talud.
- Plantear modelos de estabilidad de taludes con la topografía inicial del sitio analizado, con ello establecer la situación actual del sector estudiado.

- Proponer una configuración geométrica del talud que asegure la estabilidad y seguridad del mismo.
- Realizar un análisis técnico y de factibilidad de la alternativa de solución propuesta.
- Evaluar económicamente la alternativa presentada.

Para cumplir con los objetivos propuesto se deberá llevar a como una metodología adecuada; en primera instancia se deberá escoger el perfil del talud que va a ser analizado; del mismo sector se tomarán muestras superficiales del suelo, con lo cual suponemos que el talud tiene una configuración homogénea.

Las muestras obtenidas se utilizarán para realizar ensayos de granulometría, tanto de la fracción fina, como de la gruesa; con estos resultados preliminares se define una curva granulométrica y los porcentajes de finos y gruesos pasantes y retenidos en los diferentes tamices.

Mediante un ensayo proctor que consiste en someter a una muestra de suelo, contenida dentro de un cilindro, a una energía de compactación proporcionada por un martillo; se determinará el peso volumétrico del suelo a través de una relación del peso del suelo compactado dentro del cilindro sobre el volumen del mismo. Para definir las propiedades mecánicas del suelo se obtendrán los valores de cohesión, (c), y ángulo de fricción, ( $\Phi$ ), de tablas a partir de la clasificación de suelos.

Con la geometría inicial del talud y sus con los parámetros del suelo definidos se procederá a modelar la situación actual del sitio con el uso de un software de cálculo, en este caso se hará uso del programa Geo estudio 2012 (Slope/w), puesto que el factor de seguridad de un talud es el mínimo de millones de superficies de fallas. Una vez determinado el estado actual y este resultara en un factor de seguridad menor a 1,5, se propondrá una nueva configuración, igualmente modelada en el software la cual deberá cumplir con los criterios de estabilidad y seguridad.

Finalmente se recurrirá a un análisis técnico y económico de la solución propuesta; definiendo las técnicas constructivas a adoptarse y realizando los análisis de precios unitarios correspondientes y determinando las cantidades de obra elaborar un presupuesto referencial.

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES Y ENSAYOS DE CAMPO**

#### **1.1 Introducción**

Para empezar con el análisis de estabilidad del talud, es necesario definir su geometría actual, así como sus propiedades físicas y mecánicas del suelo que lo conforma; por lo tanto es necesario realizar un levantamiento topográfico que nos permita visualizar de manera clara la estructura actual del talud y, además, nos brinde un punto base para de ser necesario esquematizar una nueva geometría. Por otro lado los ensayos debidamente normados que se describirán en este capítulo serán de vital importancia en todo en proceso del estudio realizado.

#### **1.2 Antecedentes**

En función de la importancia de la obra que se realiza en el sitio como es la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Mazar Dudas ubicado en las parroquias orientales de Taday, Pindilig y Rivera (Zhoray), en los sectores Alazán, San Antonio y Tampancha, del cantón Azogues de la provincia del Cañar. El proyecto global implica la construcción de carreteras de acceso, obra civil, montaje electromecánico y eléctrico.

En este proceso se detectó que dentro de la geometría vial del sector, se presentan problemas de estabilidad de los taludes, es decir de deslizamientos periódicos y en específico en la ubicación de la casa de máquinas del aprovechamiento Alazán, estabilizar el talud de la misma es una prioridad para asegurar la seguro construcción y funcionamiento de la misma.

### **1.3 Levantamiento de información**

Para tener una idea global del problema y proponer una solución al mismo es necesario realizar una visualización general del problema, para lo cual es necesario realizar una visita al sitio. La información obtenida de esta visita nos puede dar una clara idea de la configuración del talud y sus condiciones.

#### **1.3.1 Obtención de la topografía con la configuración actual del talud**

El levantamiento topográfico es necesario con el fin de determinar la configuración inicial del talud, cotas, desniveles, y ubicación de estructuras colindantes ente caso específico la ubicación de la estructuras para casa de máquinas y tuberías.

Dado el carácter inestable del sector se obtuvo un levantamiento topográfico de uno de los derrumbes más recientes del talud, con los datos obtenidos de este se procedió a través de un utilitario CAD a definir la superficie, curvas de nivel, y perfiles transversales del talud. En base a este levantamiento se tomaran las secciones en los sectores que se crean y se escogerá un perfil que será modelado para la verificación de la estabilidad actual.

#### **1.3.2 Ensayos de laboratorio**

Para llevar a cabo los ensayos necesarios para determinar las características y propiedades del suelo del talud que se estudiara serán necesarias la recolección de muestras de suelo. Debido a los derrumbes en el sitio no existía una capa vegetal visible, dejando al descubierto material conformante del talud. Los ensayos realizados se encuentran normados y se describen a continuación.

##### **1.3.2.1 Toma de muestras superficiales del talud**

Como inicialmente se supondrá que el talud es homogéneo en cuanto al material que lo constituye, se procederá al muestreo del material, estas muestras fueron tomadas a una profundidad aproximada de un metro en relación a la capa superficial expuesta.

### 1.3.2.2 Granulometría del suelo

Para la clasificación granulométrica del suelo propuesto por Casagrande mediante el método S.U.C.S., se tomarán en cuenta tanto la fracción gruesa del material como la fina, el procedimiento se describe a continuación.

#### 1.3.2.2.1 Fracción fina

El procedimiento siguiente rige para diámetros de partículas menores a 4,76mm. Es decir de material pasante del tamiz número 4.

1. Se deberá pesar 500 gr del material pasante del tamiz número 4, este material deberá ser lavado a través del tamiz número 200.
2. El material lavado se lleva al horno a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5$  por 24 horas.
3. Transcurridas las 24 horas pesamos el material y lo pasamos por los tamices, #10, #40 y #200. Así mismo pesamos el material retenido en cada tamiz.

Tabla 1.1 Porcentajes de peso retenido y pasante de los tamices fracción fina

TAMIZ	Peso Reten.	Peso Reten.	Porcentaje	Porcentaje
	Parcial	Acumulado	Retenido	que Pasa
Nº 10	28,40	28,40	5,68	94,32
Nº 40	53,30	81,70	16,34	83,66
Nº 200	46,60	128,30	25,66	74,34
PASA 200	243,40	371,70		

#### 1.3.2.2.2 Fracción gruesa

El procedimiento siguiente rige para diámetros de partículas mayores a 4.76mm.

1. Cuarteamos el material con el fin de tener un material uniforme y tomamos tres muestras para humedad.
2. Pesamos el material, y se empieza a pasar el material por los tamices (2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", #4).
3. Pesamos el material retenido en los diferentes tamices y el material pasante del tamiz #4.

Tabla 1.2 Porcentajes de peso retenido y pasante de los tamices fracción gruesa

TAMIZ	Peso Reten.	Peso Reten.	Porcentaje	Porcentaje
	Parcial	Acumulado	Retenido	que Pasa
3"				
2 1/2 "				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
Nº 4		0,00	0,00	100,00
PASA Nº 4	3278,00			

### 1.3.2.2.3 Clasificación SUCS

Para una debida clasificación se tomaran en cuenta lo siguiente:

1. El material es considerado grueso si retiene más 50% en el tamiz #200. Del este material grueso se deriva gravas y arenas, es una grava si el material es retenido en más del 50% en el tamiz #4 caso contrario se considera arena.
2. Gravas y arenas pueden ser bien graduada o pobremente graduada si menos del 5% del material pasa por el tamiz #200, además, se consideran los valores de Cu y Cc siendo Cu y Cc:

$$\text{Coeficiente de uniformidad: } cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Coeficiente de curvatura: } cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Determinados dentro de la curva granulométrica.

3. Las gravas y arenas pueden clasificarse como GM, GC, SM, o SC si más del 12 % del material pasa por el tamiz #200, es decir M para limo y C para arcilla, conjuntamente con ello se debe tomar en cuenta la carta de plasticidad para la designación limo o arcilla.
4. Las gravas y arcillas se podrán clasificar como: GW-GC, GW-GM, SW-SC, SW-SM, GP-GC, GP-GM, SP-SC o SP-SM en función del porcentaje que pasa a través del tamiz #200 se encuentre entre el 5 y 12%.

5. Se considera como suelo de grano fino cuando más del 50% del material pasa por el tamiz #200. Estos pueden ser ML, OL, o CL, en función del límite líquido es menos que 50%.
6. También pueden ser MH, OH, o CH si los límites líquidos son mayores al 50%.
7. Los límites líquidos y plásticos se obtienen de ensayos con el material cuya fracción es menor 0,42 mm, (pasante tamiz #40).

En cuanto a la plasticidad los ensayos de laboratorio arrojaron WL (límite líquido)=38% < 50%. En función de ello se obtuvo que el suelo es un CL, arcilla inorgánica de plasticidad baja a media.

### **1.3.2.3 Proctor estándar**

Con el fin de obtener la densidad máxima del suelo se recurrió a ejecutar este ensayo para el mismo se siguió el procedimiento siguiente.

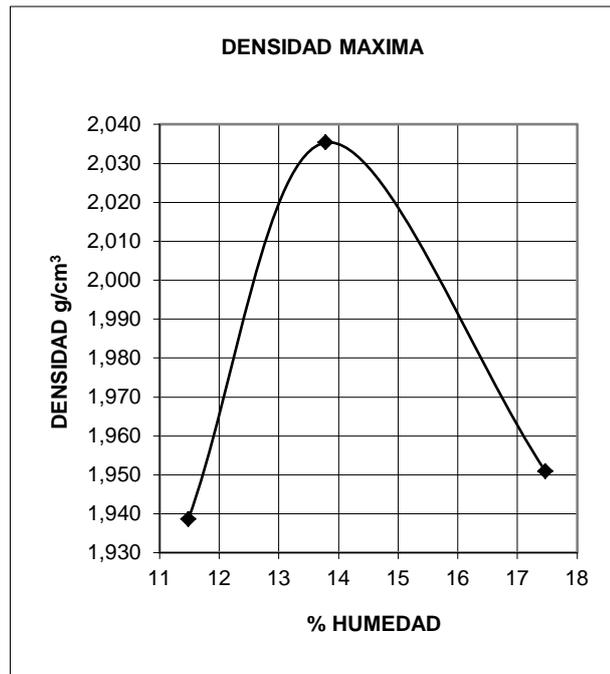
1. El material cuarteado se pasa por el tamiz #4 y se divide en tres muestras iguales, (puntos).
2. Para cada punto se agregara agua para para variar la humedad del material.
3. Para cada punto se tomaran dos muestras para obtener la humedad.
4. Se llenaran los moldes en tres capas y 25 golpes cada una. Se enrasa el material.

Los resultados obtenidos en laboratorio son los siguientes:

Tabla 1.3 Resultados del ensayo proctor estándar

<b>ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)</b>						
MÉTODO D.	MOLDE # 1	Peso	3100	GR		
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde = 3	Volumen	905	CC		
PROCTOR ESTÁNDAR	# Golpes / Capa = 25	Diámetro	4	PULG		
<b>DENSIDAD DE LABORATORIO</b>						
Molde #	1	2	3			
Humedad inicial (cc)	120	200	290			
Peso suelo hum + Molde	5056	5196	5174			
Densidad Húmeda	2,61	2,316	2,292			
Densidad Seca ( kg/cm <sup>3</sup> )	1,939	2,035	1,951			
<b>Den. Máxima = 2,035 g/cm<sup>3</sup></b>						
<b>Hum. Optima = 13,80 %</b>						
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMA</b>						
Molde #	1		2		3	
Tarro #	25	26	40	41	48	49
Peso húmedo + tarro	82,16	87,85	36,26	33,12	34,70	33,45
Peso seco + tarro	74,48	79,17	32,69	29,90	30,3	29,54
Peso de tarro	5,72	5,59	6,53	6,79	7,15	6,68
% de Humedad	11,17	11,80	13,65	13,93	17,84	17,10
% Promedio humedad	11,48		13,79		17,47	
Observaciones :						

Figura 1.1 Curva de compactación



#### 1.3.2.3.1 Obtención del peso volumétrico húmedo

Como se mencionó anteriormente del ensayo proctor se obtendrá el peso volumétrico húmedo de la tabla 1.3 se tiene el máximo valor que corresponde a 23,16 g/cm<sup>3</sup>.

#### 1.3.3 Determinación de las propiedades mecánicas del suelo

Una vez obtenidas las características físicas del suelo mediante los ensayos descritos mediante tablas se procede a identificar las propiedades mecánicas del suelo para ello se recopiló información de formaciones geológicas semejantes, además de similitudes en cuanto al clima.

En función de la clasificación del suelo y el peso específico del mismo se procede a determinar tanto el ángulo de fricción del suelo como la cohesión, siempre tomando los valores más bajos, de las tablas consultadas, como medida de seguridad adicional.

## **CAPÍTULO 2**

### **SUSTENTO TEÓRICO DEL MÉTODO DE CÁLCULO**

#### **2.1 Introducción**

La base teórica que sustenta un proyecto es de vital importancia para el éxito del mismo, además, conocer e interpretar las características de suelos y como afectan éstas a los resultados obtenidos son conocimientos valiosos al momento de modelar alternativas y proponer soluciones al problema descrito.

En el caso que se trata en el presente trabajo, es necesario no solamente interpretar las características y propiedades del suelo que conforma el talud, sino también entender cada parámetro inmerso en el método de cálculo de análisis de estabilidad utilizado, es por ello la necesidad de plasmar todos los fundamentos de la mecánica de suelos y la descripción del método de las dovelas por Bishop.

#### **2.2 Análisis Granulométrico**

Dada la importancia del análisis de los suelos, en un principio se asumía que las características del suelo se podían definir a partir de la composición del mismo; hipótesis que posteriormente se descartó, pese a ello se puede decir que un suelo mal graduado es más adecuado que un suelo bien graduado, es decir, un suelo cuyo tamaño de partículas es uniforme.

##### **2.2.1 Análisis mecánico del suelo**

Se denomina como análisis mecánico del suelos a los métodos empleados para determinar los diferentes tamaños de partículas que constituyen un tipo de suelo, expresado en función del porcentaje de peso seco total. Existen dos métodos principales, el cribado usado para tamaños de partículas comprendidas entre

0,075mm y 2,00mm, y el análisis hidrométrico, para partículas cuyo tamaño es menor a 0,075mm.

El análisis por cribado consiste en hacer pasar la muestra de suelo seco por una serie de tamices, comenzando con la malla de mayor abertura hasta llegar a la más pequeña. En la tabla siguiente se describen los tamaños de los tamices usados.

Tabla 2.1. Tamaño de la apertura de los tamices estándar.

Tamiz No.	Apertura (mm)
3"	76,100
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,510
#4	4,760
#10	2,000
#40	0,420
#100	0,149
#200	0,074

### 2.2.2 Curva de distribución granulométrica

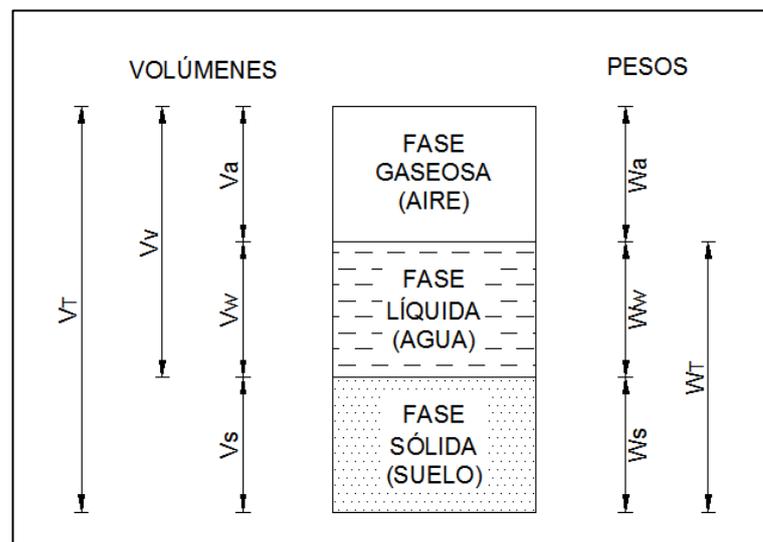
La curva que expresa la relación entre el porcentaje de peso que pasa por los tamices y el tamaño de las partículas dentro de una escala semilogarítmica se conoce como curva granulométrica. De acuerdo a la distribución de las partículas

se puede distinguir un suelo bien graduado o no uniforme y un suelo mal graduado o uniforme.

### 2.3 Relaciones volumétricas y clasificación de Suelos

En todo tipo de suelo se pueden distinguir tres fases: fase gaseosa, fase líquida y fase sólida. La fase sólida está constituida por la parte mineral del suelo, la fase líquida de manera general por el agua aunque pueden estar presentes otros líquidos de menor significancia, finalmente la fase gaseosa comprende sobretodo el aire. A continuación se presenta el esquema de las fases del suelo.

Figura 1.1 Esquema de las fases del suelo



(Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 52)

Dónde:

$V_T$ = Volumen total.

$V_v$ = Volumen de vacío.

$V_a$ = Volumen de aire.

$V_w$ = Volumen de agua.

$V_s$ = Volumen de suelo.

$W_a$ = Peso del aire.

$W_w$ = Peso del agua.

$W_s$ = Peso del suelo.

$W_T$ = Peso total.

En el grafico 2.1 se puede observar que la fase gaseosa y fase solida constituyen el volumen de vacíos, mientras que la fase solida el volumen de sólidos, y se tienen tres relaciones volumétricas, la relación de vacíos (e) expresada como la razón entre el volumen de vacíos y volumen de sólidos.

Ecuación 2.1. Relación de vacíos.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

La porosidad (n), expresada como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total:

Ecuación 2.2. Porosidad

$$n = \frac{V_v}{V_T} \times 100$$

Finalmente el grado de saturación como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Ecuación 2.3. Grado de saturación

$$s = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

Además también se deben considerar las relaciones gravimétricas, tales como el contenido de humedad (w), definido como la relación del peso del agua y el peso del suelo, dada por la expresión:

Ecuación 2.4. Contenido de humedad

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Y el peso específico del suelo ( $\gamma$ ) es el peso del suelo por unidad de volumen:

Ecuación 2.5. Peso específico

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

En ocasiones es necesario conocer el peso por volumen unitario de suelo excluida el agua, denominándose peso específico seco.

Ecuación 2.6. Peso específico seco

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

### 2.3.1 Relaciones entre peso específico, relación de vacíos, contenido de agua y densidad de sólidos

Para establecer las relaciones entre peso específico, relación de vacíos y contenido de agua, es necesario considerar un volumen de suelo donde el volumen de suelo sea igual a 1, de esta manera se deduce que el volumen de vacíos es numéricamente igual a la relación de vacíos, (e).

Siendo  $G_s$  la densidad de sólidos tenemos:

Ecuación 2.7. Peso de sólidos en función de la densidad de sólidos.

$$W_s = G_s \cdot \gamma_w$$

Ecuación 2.8. Peso del agua en función del contenido del agua

$$W_w = w \cdot W_s = w \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

Dónde:

$w$ = contenido de agua

$\gamma_w$ = peso específico del agua.

Conociendo el peso específico del agua  $9,81 \text{ kN/m}^3$ , y de acuerdo a las ecuaciones anteriores:

Ecuación 2.9 Peso específico

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{1 + e} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + w \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{G_s \cdot \gamma_w (1 + w)}{1 + e}$$

Con  $\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e}$ , el grado de saturación  $S = \frac{w \cdot G_s}{e}$  y si la muestra se encuentra saturada el peso específico saturado se define como:

Ecuación 2.10 Peso específico saturado

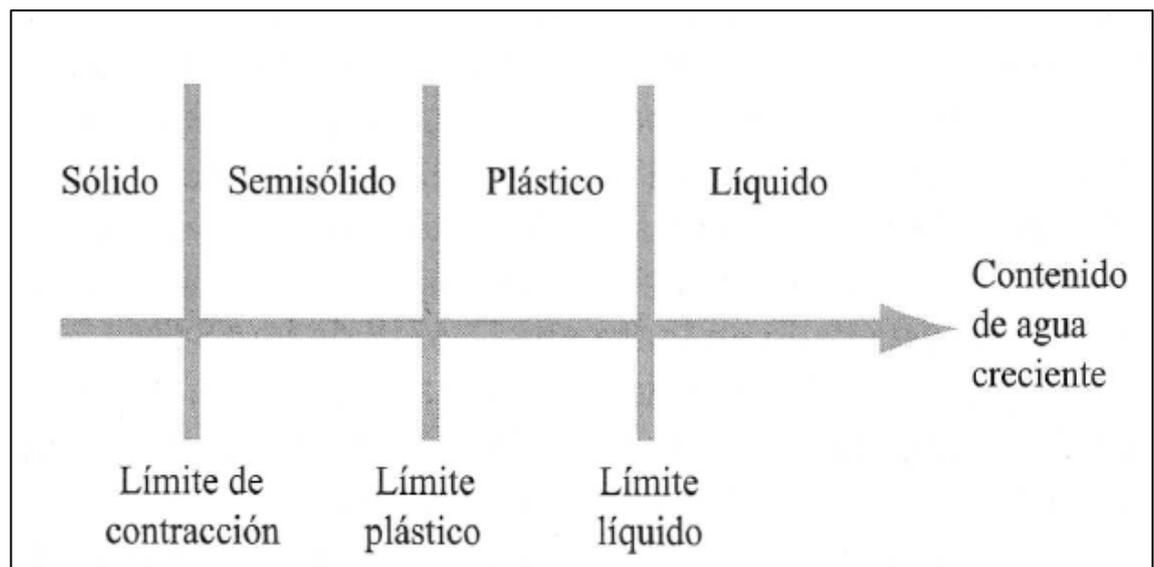
$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e}$$

### 2.3.2 Límites de consistencia

Conocida la plasticidad como “la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse...” (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 127), se hace necesario cuantificar la plasticidad de las arcillas, (suelos cuya naturaleza cohesiva se debe al agua que sus partículas absorben), para este fin a principios de 1900 el científico Albert Mauritz Atterberg, desarrollo un método mediante el cual se definió los estados de consistencia que un suelo susceptible a ser plástico puede alcanzar en relación a su contenido de humedad.

Dichos estados son: estado líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido; como estos estados suceden naturalmente en un suelo al secarse no existe una frontera definida entre ellos, por lo cual Atterberg definió las primeras convenciones para ello, definiéndoles como límites de consistencia.

Figura 2.2 Límites de Atterberg



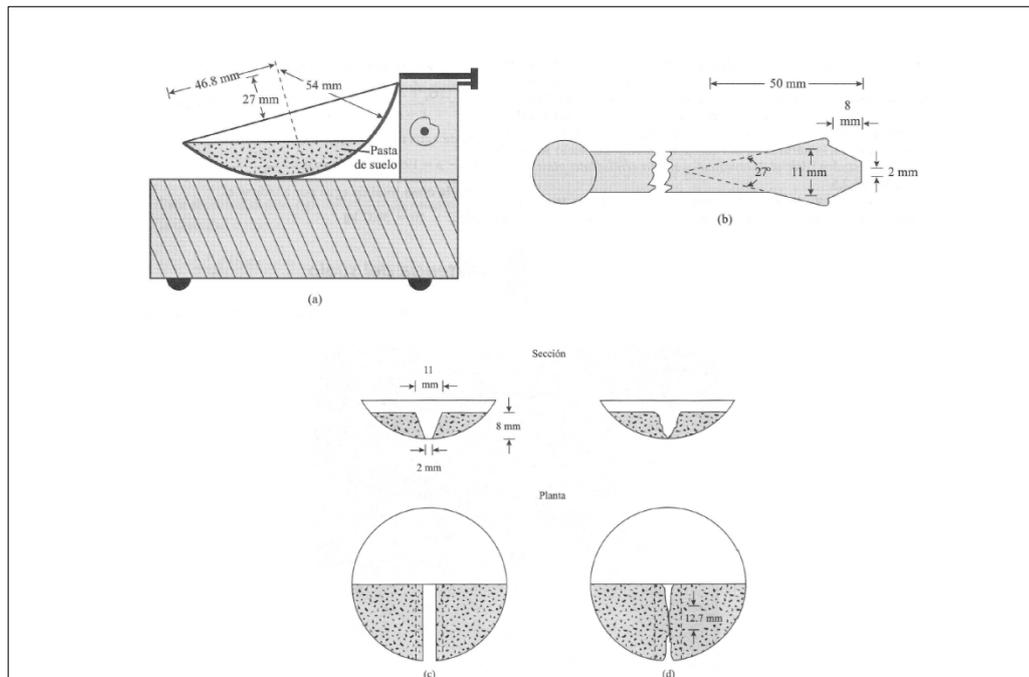
(Das, 2001, pág. 27)

### 2.3.2.1 Límite líquido (LL)

Definido como el contenido de agua necesario para cerrar una ranura de 12,7mm a la largo de una ranura a los 25 golpes.

El ensayo para su determinación consiste en colocar una muestra de suelo remoldeado dentro de una capsula, en el cual se forma una ranura, la misma que debe cerrarse golpeando secamente la capsula sobre una superficie dura.

Figura 2.3 ensayo de casa grande



(Das, 2001, págs. 28,29)

### 2.3.2.2 Limite plástico (PL)

Se conoce como límite plástico al contenido de agua expresado en porcentaje al cual el suelo al ser enrollado a un diámetro de 3,2mm sin desmoronarse.

Para determinarse se realiza una prueba sencilla que consiste en enrollar rápidamente y a mano una muestra de suelo, sobre una placa de vidrio, hasta formar un cilindro de diámetro no especificado, el desmoramiento y agrietamiento del cilindro indican que se ha llegado al límite plástico.

El índice de plasticidad se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

### 2.3.2.3 Límite de contracción

Se define como límite de contracción al contenido de agua expresado en porcentaje al cual el suelo deja de sufrir cambios en su volumen.

**Índice de liquidez:** se denomina índice de liquidez a la razón dada por la consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural. Y se expresa de acuerdo a la ecuación siguiente:

Ecuación 2.11. Ecuación del índice de liquidez

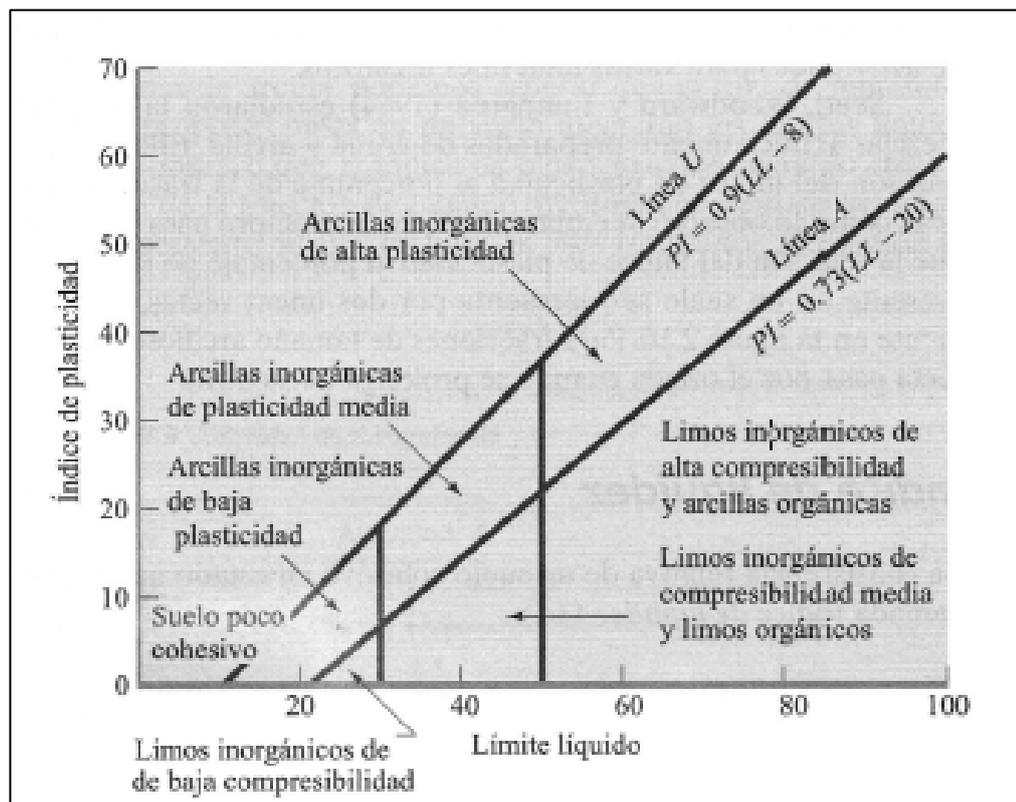
$$LI = \frac{w-PL}{LL-PL}$$

Donde  $w$  es el contenido de humedad del suelo in situ.

### 2.3.3 Carta de plasticidad

Determinados los límites líquido y plástico por medio de ensayos simples de laboratorio, Casagrande tras realizar estudios de la relación entre índice de plasticidad respecto al límite líquido de varios suelos, propuso una carta de plasticidad; en la cual se muestra una línea A empírica dada por la ecuación:  $PI=0,73(LI-20)$ , dicha línea separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos.

Figura 2.1. Carta de plasticidad



### 2.3.4 Clasificación de suelos

Dada la variedad de suelos que se pueden encontrar en la naturaleza, la importancia de clasificarlos dentro de grupos son similares propiedades, para lograr esta clasificación se recurre a dos metodologías, la primera conocida como sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) y la segunda sistema de clasificación de la *American association of state highway officials* (AASHTO).

#### 2.3.4.1 Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929, desde entonces ha sufrido varias versiones, actualmente el sistema presenta la clasificación del suelo dentro de siete grupos basados en: el tamaño del grano y en la plasticidad del suelo. Cabe recalcar que esta metodología se desarrolló para carreteras.

Estos grupos se encuentran perfectamente diferenciados y se presenta a continuación:

Tabla 2.2. Sistema de clasificación AASHTO (materiales granulares)

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS DE LA MUESTRA QUE PASA DEL TAMIZ No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (Porcentaje que pasa)							
No. 10	50 máx.	-	-	-	-	-	-
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.	-	-	-	-
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa el No. 40							
Límite líquido	-	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	-	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de la subrasante	De excelente a bueno						

(Das, 2001, pág. 36)

Tabla 2.3. Sistema de clasificación AASHTO (materiales limo-arcilla)

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES LIMO-ARCILLA (MÁS DEL 35% DE LA MUESTRA QUE PASA DEL TAMIZ No. 200)				
	A-4	A-5	A-6	A-7	
A-7-5*				A-7-6†	
Clasificación de grupo					
Análisis por cribado (Porcentaje que pasa)					
No. 10	-	-	-	-	
No. 40	-	-	-	-	
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características de la fracción que pasa el No. 40					
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Tasa general de la subrasante	De medio a pobre				
* Para A-7-5, $PI \leq LL-30$					
† Para A-7-6, $PI > LL-30$					

(Das, 2001, pág. 36)

Para una correcta clasificación de suelos además de denotar el grupo al que pertenece se incorpora un número conocido como índice de grupo, como parámetro de evaluación de la calidad de la subrasante, el mismo que se escribe a continuación del grupo o subgrupo entre paréntesis.

Ecuación 2.12. Índice de grupo

$$GI = (F - 35) * [0,2 + 0,005(LL - 40) + 0,01(F - 15)(PI - 10)]$$

Dónde:

F= Porcentaje que pasa por el tamiz 200.

LL= límite líquido

PI= Índice de plasticidad.

#### **2.3.4.2 Sistema unificado de clasificación de suelos, (SUCS)**

Originalmente propuesto por Casagrande en 1942, el sistema de clasificación divide a los suelos en dos categorías: los suelos de grano grueso y los suelos de grano fino diferenciados por el porcentaje de suelo pasante del tamiz número 200.

Dentro de la clasificación SUCS se usan los prefijos G (grava) y S (arena) para suelos de grano grueso y para los de grano fino tenemos M (limo inorgánico), C (arcillas inorgánicas), O (suelos orgánicos) y Pt (turbas). También se hace uso de sufijos tales como: W (bien graduado), P (mal graduado), L (baja plasticidad  $LL < 50$ ); H (alta plasticidad  $LL > 50$ ); en base a esta simbología y parámetros se tiene:

Tabla 2.4 Sistema unificado de clasificación

Divisiones mayores			Simbolo de grupo	Nombres típicos	Colones de clasificación para suelos granulares		
Suelo de grano grueso ( más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz N.- 200)	Grava (Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N.- 4)	Gravas limpias (pocos o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino.	Cu= D60/D10 >4 Cc=1<D30^2/D10 x D60 <3		
			GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	d - u	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó Ip<4	A los materiales sobre la línea A con 4<Ip<7 se considera y se les asigna doble símbolo
			GC		Gravas arcillosas, mezclas gravo-areno-arcillosas.	Límites de Atterberg por encima de la línea A ó Ip>7	
	Arenas ( Más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz N.- 4)	Arenas limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	Cu= D60/D10 >6 Cc=1<D30^2/D10 x D60 <3		
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	d - u	Arenas limosas, mezclas arena-limo.	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó Ip<4	A los materiales sobre la línea A con 4<Ip<7 se considera y se les asigna doble símbolo
			SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcillas.	Límites de Atterberg por encima de la línea A ó Ip>7	
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz N.- 200)	Limos y arcillas (límite líquido WL<50)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas, o lomas arcillosas con poco plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N.-200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5%- GW,GP,SW,SP Más del 3%- GM,GC,SM,SC de 5a 12%- Casos de frontera que requieren doble símbolo.			
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.				
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas, arcillas magras.				
	Limos y arcillas (límite líquido WL>50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.				
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.				
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.				
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.				

(Bowles, 1980, pág. 74)

Además, de esta tabla se debe considerar para una correcta clasificación el gráfico de plasticidad.

## 2.4 Compactación de suelos

Se define como compactación de suelos a la reducción del índice de poros, a través de medios mecánicos, incrementándose el peso específico seco del suelo.

Se puede decir que la compactación de suelos es similar a la consolidación del suelos puesto que ambas presentan reducción del índice de poros, diferenciándose entre sí por el tiempo de aplicación de la carga, ya que la consolidación es un proceso natural que efectivamente aplica carga en un periodo de tiempo mucho más extendido y provoca la expulsión de aire y agua de los poros del suelo.

La relación existente entre el peso específico seco, la humedad y la energía de compactación fueron definidas por Proctor en el año 1933, mediante un ensayo de compactación. El ensayo propuesto inicialmente consistía en colocar suelo dentro de un molde de 4" de diámetro y 12" de altura en tres capas, cada una de las capas compactadas con 25 golpes de un pistón de 5,5 Lb. Dejándolo caer libremente de una altura de 12". De este ensayo se rescató que la energía por unidad de volumen se expresa con la formula siguiente:

Ecuación 2.13 Energía por unidad de volumen del ensayo proctor

$$E_c = \frac{W * h * n * N}{V} = \frac{5,5lb * 1pie * 3 * 25}{\frac{1}{30}pie^3} = 12375 \frac{lb - pie}{pie^3}$$

(Armas Novoa, 2010, pág. 2)

Con:

n= 3 capas

N= 25 golpes/ capa

Se deduce que si se aplica la energía de compactación proctor a varias muestras de un mismo suelo pero con contenidos de humedad diferentes, el valor del peso específico húmedo será diferente.

Con valores conocidos de humedad y peso específico se calcula el peso específico seco como:

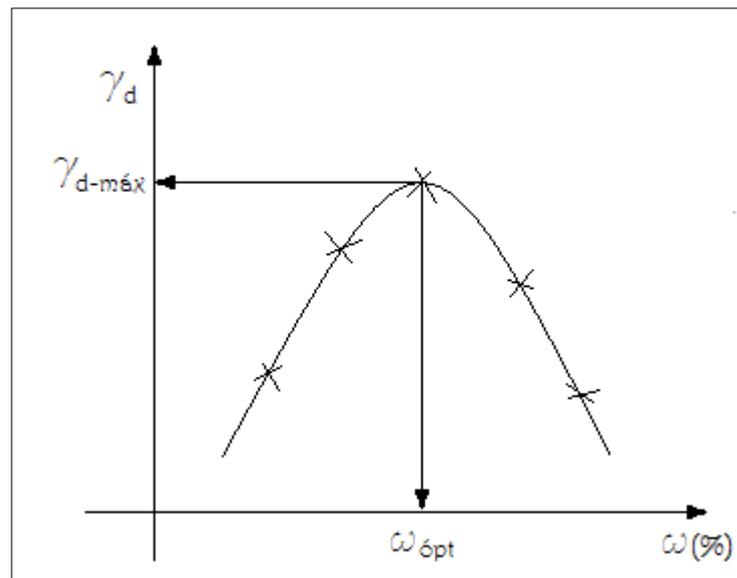
Ecuación 2.14 Peso específico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_f}{1 + \omega}$$

(Armas Novoa, 2010, pág. 2)

La curva que relaciona la humedad vs. Densidad de las diferentes muestras de un mismo suelo se conoce como curva de compactación.

Figura 2.2 Curva de compactación



(Armas Novoa, 2010, pág. 2)

Del gráfico anterior se puede rescatar el concepto de densidad máxima y humedad óptima. Siendo la humedad óptima el valor del contenido de humedad a la cual se alcanza el mayor peso específico seco.

#### 2.4.1 Prueba proctor estándar

Para la prueba del proctor estándar, el molde usado, es un molde circular de diámetro igual a 101,6 mm y un volumen de 943,3 cm<sup>3</sup>. Para las pruebas de laboratorio el molde se une a una placa base en el fondo y una extensión superior. El suelo de la muestra se mezcla con diferentes cantidades de agua y luego se compacta en tres capas iguales con ayuda de un pistón propinando 25 golpes a cada capa. El peso del pistón es de 24,4 N y se lo deja caer desde una altura igual

a 304,8mm. Para cada prueba se calcula el peso específico húmedo de compactación como:

Ecuación 2.15 Peso específico húmedo de compactación

$$\gamma = \frac{W}{V(m)}$$

(Das, 2001, pág. 52)

Además, el contenido de agua, (w), se calculara en laboratorio, de esta manera el peso específico seco se calcula como:

Ecuación 2. 16 Peso específico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

(Das, 2001, pág. 53)

Finalmente se grafica la curva de compactación con los contenidos de agua y densidades secas obtenidas.

#### 2.4.2 Prueba proctor modificado

Con la introducción de maquinaria pesada para la construcción de caminos y su uso específico para la compactación de campo, la energía de compactación propinada por el proctor estándar fue modificada para prestar mejores condiciones, a dicha prueba se la nombro prueba proctor modificada, cuya concepción es la misma que la prueba estándar pero se cuenta con un molde de mayor capacidad con un volumen igual a 943,3 cm<sup>3</sup>, así mismo se varió el peso del pistón a 445,5 N y la altura de la caída a 457,2 mm. El número de capas se modificó considerándose 5 capas, compactadas con 25 golpes del pistón. De esta manera se obtiene una energía de compactación igual a 2696 KN-m/m<sup>3</sup>.

Tras el incremento de la energía de compactación se evidencia también un incremento sustancial en el peso específico seco máximo del suelo acompañado por un decremento de la humedad óptima.

## 2.5 Resistencia al cortante del suelo

De acuerdo a Braja M Dass: “La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él”. (Das, 2001, pág. 206). Dentro de la ingeniería de suelos se hace imprescindible la comprensión de la naturaleza de la resistencia a cortante en virtud de realizar un correcto análisis de la estabilidad del suelo, capacidad de carga, estabilidad de taludes y presiones sobre estructuras de contención.

### 2.5.1 Criterio de falla de Mohr-Coulomb.

En el año 1900 Mohr propuso una teoría que afirmaba que la combinación crítica de esfuerzos normales aplicados a una masa de suelo provoca la falla del material. Esta aseveración se expresó de la forma siguiente:

Ecuación 2.17 Criterio de Mohr (envolvente de falla)

$$\tau_f = f(\sigma)$$

Dónde:  $\tau_f$  = Esfuerzo cortante sobre el plano de falla

$\sigma$  = esfuerzo normal sobre el plano de falla.

De acuerdo al criterio de resistencia presentado por Coulomb en 1773, la ecuación de la envolvente de falla se define como:

Ecuación 2.18 . Envolvente de falla (coulomb)

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Dónde:  $c$  = cohesión de suelo

$\phi$  = ángulo de fricción de suelo

A estos criterios se unen los propuestos por Terzagui el mismo que definió la ecuación fundamental de la mecánica de suelo saturados como: esfuerzo total igual a esfuerzo efectivo más esfuerzo neutro (Presión de agua de poro).

Ecuación 2.19 Ecuación fundamental de la mecánica de suelos saturados

$$\sigma = \sigma' + u$$

Si reemplazamos en  $\sigma'$  en la ecuación 16. Tenemos

$$\tau_f = C + (\sigma - u)\tan\phi$$

De esta manera se representa los estados tensionales de una masa de suelo mediante un círculo de Mohr.

### 2.5.2 Determinación de parámetros mecánicos del suelo

Para determinar los parámetros mecánicos del suelo, tanto la cohesión como el ángulo de fricción primero es necesario definir adecuadamente estos conceptos; en primera instancia la cohesión del suelo se define como la capacidad de atracción entre partículas de suelo atribuyéndole al suelo mayor tenacidad y dureza y proporcionándole resistencia a separación. En tanto el ángulo de fricción interna del suelo se describe como la resistencia al deslizamiento causado por la fricción entre las superficies de contacto de las partículas de suelo y de su densidad.

Estos parámetros pueden ser encontrados mediante ensayos de laboratorio como: corte directo y los diferentes ensayos triaxiales.

### 2.6 Estabilidad de taludes

Dada la definición de talud como la superficie expuesta de un terreno con una pendiente conocida; los taludes pueden ser naturales o producto de un movimiento de tierra. Sobre la superficie del terreno actúa una fuerza componente de la gravedad, esta componente gravitacional entre más grande sea mayor es el riesgo que ocurra una falla es decir que la masa de suelo se deslizará hacia abajo.

Realizar el análisis de la estabilidad de taludes implica la comparación del esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo de la superficie de falla más probable y la resistencia a cortante del suelo que lo conforma.

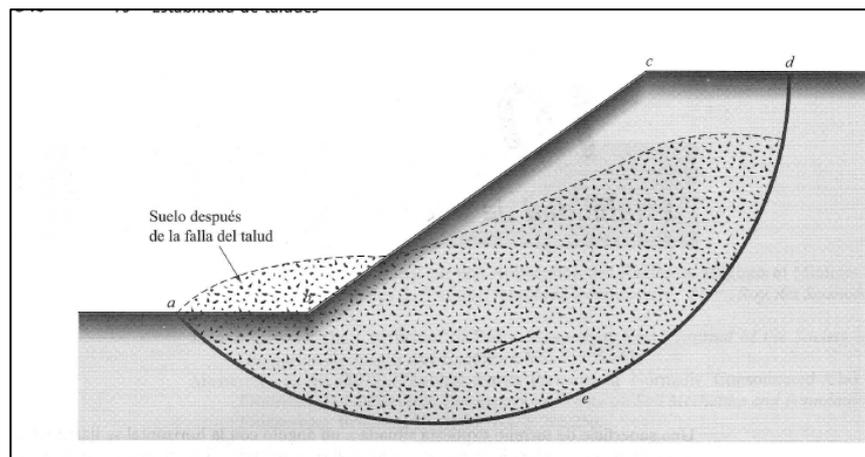
### 2.6.1 Factor de seguridad

El análisis de la estabilidad se deriva en la determinación del factor de seguridad del talud. Este factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia cortante promedio del suelo y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie de falla supuesta.

Ecuación 2.20 Factor de seguridad

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Figura 2.3 Falla del talud



(Das, 2001, pág. 340)

Como se definió anteriormente la resistencia a cortante está dada por la fórmula:

Ecuación 2.21 Esfuerzo cortante

$$\tau_f = C + \sigma' \tan \phi$$

De manera similar el esfuerzo cortante promedio se expresa por:

Ecuación 2.22 Esfuerzo cortante promedio

$$\tau_d = C_d + \sigma' \tan \phi_d$$

Donde  $C_d$  y  $\phi_d$  sean respectivamente la cohesión efectiva y ángulo de fricción efectivo.

Sustituyendo  $T_f$  y  $T_d$  en la fórmula de F.S. tenemos:

Ecuación 2.23 Factor de seguridad

$$FS = \frac{c + \sigma' \tan \phi}{c_d + \sigma' \tan \phi_d}$$

Es así, que se puede dividir el factor de seguridad en su componente cohesiva y friccionante, ambas componentes iguales entre sí:

$$F_c = \frac{c}{c_d} \text{ y } F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d}$$

$$F_c = F_\phi$$

Es así, que si el factor de seguridad calculado es igual a 1, el talud está en estado de falla inminente, por el contrario si el factor de seguridad llega a un valor de 1,5 o superior este se considera estable y seguro.

### 2.6.2 Métodos de equilibrio límite

Existen varios métodos para definir el factor de seguridad del talud objeto de análisis, uno de ellos es el método de equilibrio límite el mismo supone como punto de partida un factor de seguridad igual a 1 es decir que las fuerzas cortantes desarrolladas a lo largo de la superficie de falla son iguales a la resistencia del suelo a cortante.

Este análisis de equilibrio límite bien se lo puede realizar en la totalidad de la superficie de falla o también en fracciones de la masa deslizada, denominadas dovelas, generalmente se usan métodos iterativos para llegar a la determinación del factor de seguridad. Para la aplicación de este método se toman en consideración las siguientes aseveraciones:

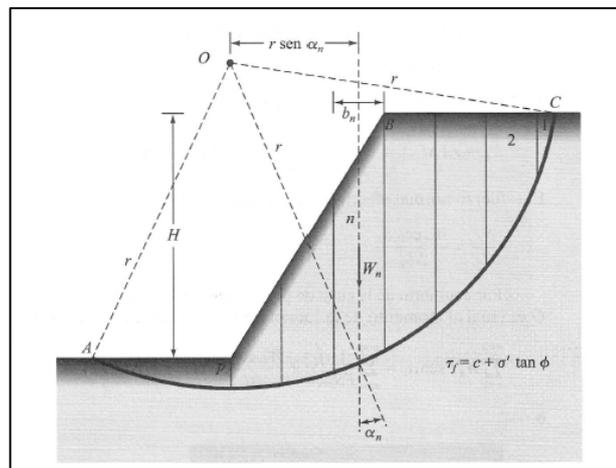
1. La masa de suelo se desliza sobre superficies de falla de formas simples tales como círculos.
2. Se establecen dos ecuaciones de equilibrio de fuerzas, tanto horizontales como verticales, y una ecuación de equilibrio de momentos, con relación a un punto cualquiera.

### 2.6.3 Método de las dovelas

El análisis por el método de las dovelas supone que el factor de seguridad es el mismo para todas y cada una de las dovelas, además, en cada una de ellas se deberá analizar el equilibrio de fuerzas que actúan en cada dovela.

Si se observa la figura que se muestra a continuación se puede apreciar al arco AC, de radio  $r$  y centro  $O$ , que representa la superficie de falla, la masa comprendida sobre este arco se deberá dividir en dovelas verticales. El ancho de cada dovela no necesariamente es el mismo.

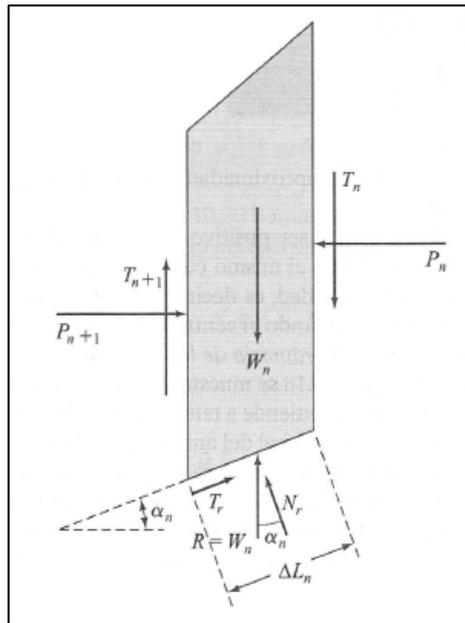
Figura 2.4 . Superficie de falla de radio  $r$  y centro  $O$



(Das, 2001, pág. 369)

Las fuerzas que actúan sobre cada una de las dovelas son:  $W_n$ , peso efectivo de la dovela, la fuerza normal  $N$  y tangencial  $T$ ,  $P_n$  y  $P_{n+1}$  corresponden a las fuerzas normales actuantes sobre los lados de las dovelas, así mismo  $T_n$  y  $T_{n+1}$  actúan paralelas a los lados de las dovelas.

Figura 2.5 Fuerzas que actúan sobre la n-ésima dovela (método de las dovelas)



(Das, 2001, pág. 369)

Aplicando equilibrio de fuerzas tanto horizontales como verticales y el equilibrio de momentos respecto a un mismo punto se deduce al factor de seguridad como:

Ecuación 2.24 Factor de seguridad método de las dovelas

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [C(\Delta L_n) + W_n \cdot \cos \alpha_n \cdot \tan \phi]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha_n}$$

Se debe considerar que la longitud  $\Delta L_n$  es aproximadamente igual a  $b_n / \cos \alpha_n$ , donde  $b_n$  es el ancho de n-ésima dovela.

#### 2.6.4 Método de simplificado de las dovelas de Bishop

En el año de 1955 Bishop propuso un método más riguroso de análisis para deslizamientos con superficie de falla circular; Bishop supuso que: “si la resistencia al corte del suelo es independiente del esfuerzo normal sobre el plano de falla, podemos definir un factor de seguridad de la superficie de deslizamiento supuesto de la forma:  $F.S = \frac{\sum M \text{ resistentes }}{\sum M \text{ motores}}$ ”.

El efecto de las fuerzas sobre los lados de cada dovela se toma en cuenta en alguna medida. Como este es un método iterativo se parte de un Factor de Seguridad dado, se tiene la formulación siguiente:

Ecuación 2.25 Factor de seguridad de Bishop

$$FB = \frac{R \sum C \cdot \Delta L n \cdot n}{\sum W \cdot x} + \frac{R \sum (W - u \cdot bn) \cdot \xi \cdot \tan \phi}{\sum W \cdot x}$$

Dónde:

$$n = \frac{1}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \alpha}{FS}}$$

y

$$\xi = n \cdot \sec \alpha$$

## CAPÍTULO 3

### CÁLCULOS, INTERPRETACIÓN Y SOLUCIÓN

#### 3.1 Parámetros considerados

De los ensayos de suelo realizados se obtuvieron las características físicas del suelo como son la clase de suelo que conforma el talud y el peso específico del mismo. Tras la clasificación del suelo se dedujo que se está trabajando sobre una arcilla de baja compresibilidad (CL), además, el peso específico con el cual se modelará el problema es el peso específico húmedo máximo resultante del ensayo proctor siendo este valor igual a  $23,16 \text{ kN/m}^3$

En base a estos dos parámetros deducimos las características mecánicas del suelo, éstas son: el ángulo de fricción interna del suelo y la cohesión del mismo. Para este propósito se harán uso de tablas que mantengan relación con el tipo, ubicación y condiciones del sitio, es así que se usó la tabla siguiente:

Tabla 3.1 Tabla de características mecánicas de los suelos

Tipos de suelos		Ángulo de Fricción interna en grados	Cohesión C (Kg/cm <sup>2</sup> )
Granulares o no cohesivos	Arena suelta	30	
	Arena de compacidad media	32,5	
	Arena densa	35	
	Grava	35	
	Grava arenosa heterogénea	35	
	Bloques de piedra escolleras (sin presencia de arena)	35	
Suelos cohesivos	Arcilla semidura	15	0,25-0,30
	Arcillas firmes	16	0,10
	Arcillas blandas	17	0,00
	Arcilla arenosa firme	22,5	0,05
	Arcilla arenosa blanda	23,5	0,00
	Limo firme	24,5	0,02
	Limo blando	25,5	0,00

Arcilla orgánica, limo y cieno, no fibroso	10	0,00
Turba	15	0,00

(Blañon Blazquez, 2000, pág. 17.5)

De esta tabla y tomando en cuenta que las condiciones del sitio y las diferencias establecidas entre una apreciación teórica del problema y la real se dedujeron los parámetros mecánicos del suelo  $c$  y  $\Phi$  para una arcilla semidura como siguen:

$$C=28 \text{ kPa}$$

$$\Phi= 15^{\circ}$$

### 3.2 Geometría del talud inicial

Como primera instancia de este estudio se evaluara la condición inicial el talud para ello se debe definir una geometría inicial mediante el perfil obtenido del levantamiento topográfico. La sección o perfil se seleccionó en base a criterios como longitud, altitud y cercanía al lugar donde se tomó la muestra; con este previo análisis se escogió el perfil ubicado junto al emplazamiento de la tubería de presión, tal y como se muestra en el diagrama siguiente.

Figura 3.1. Emplazamiento de la casa de máquinas

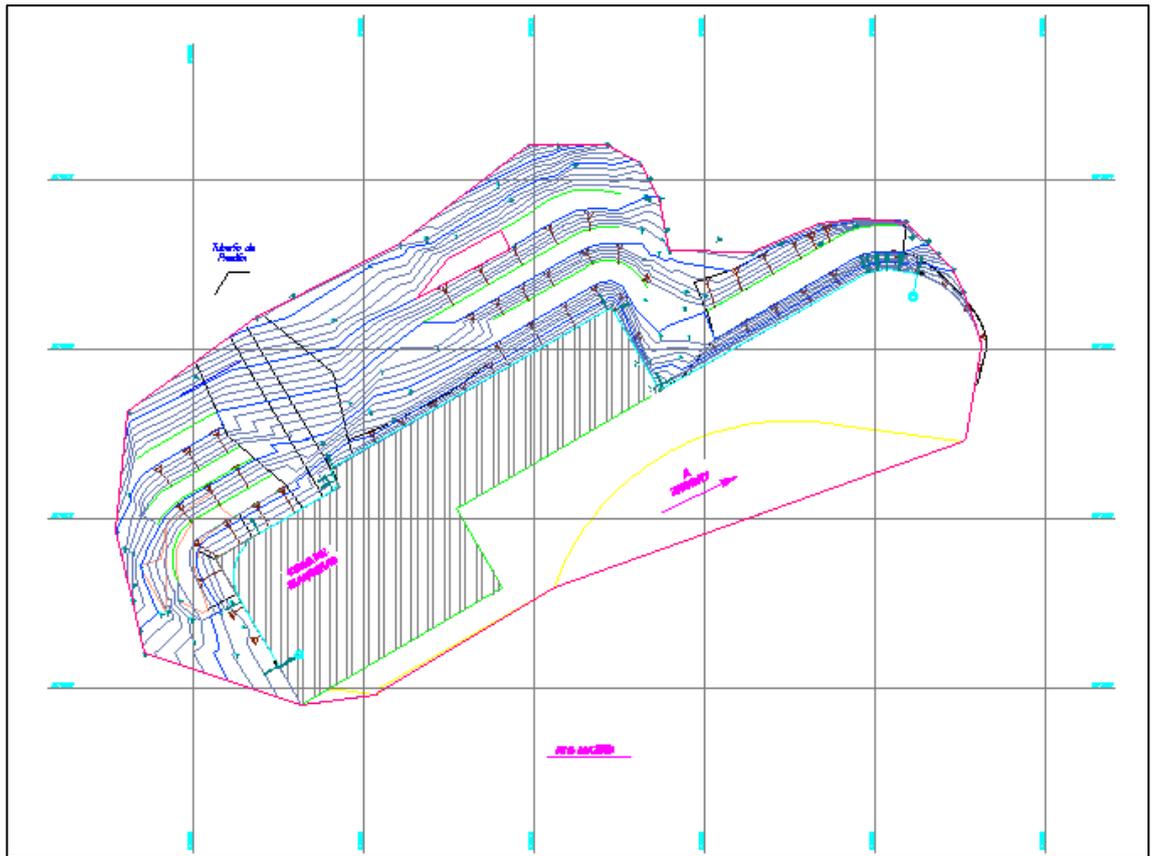
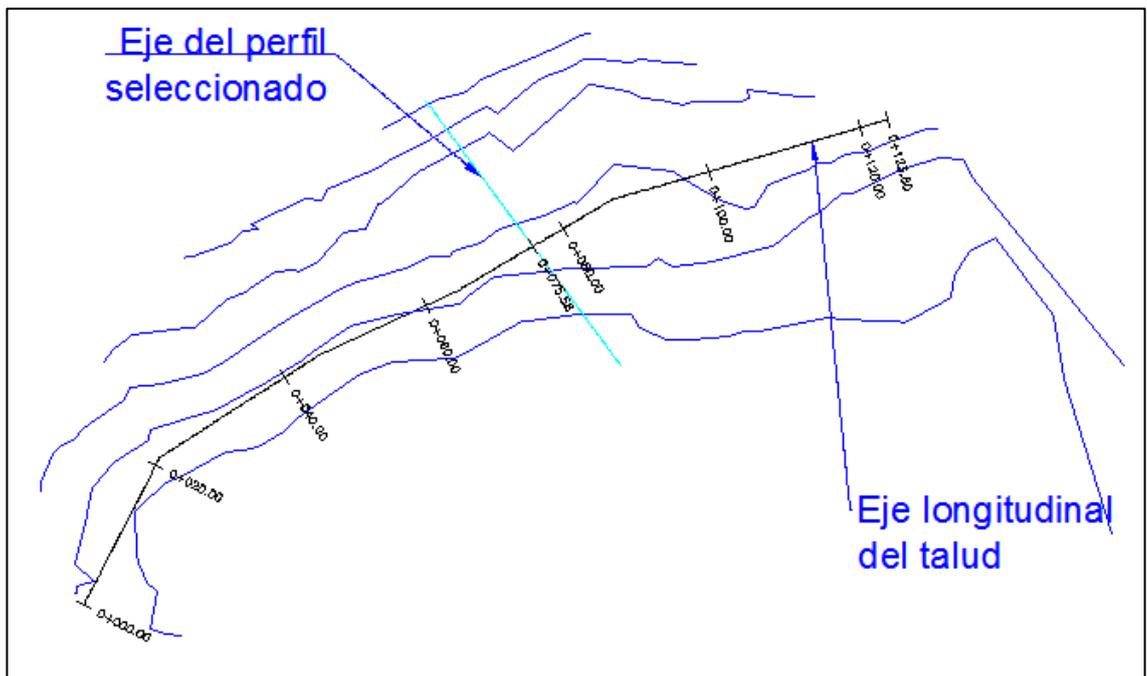
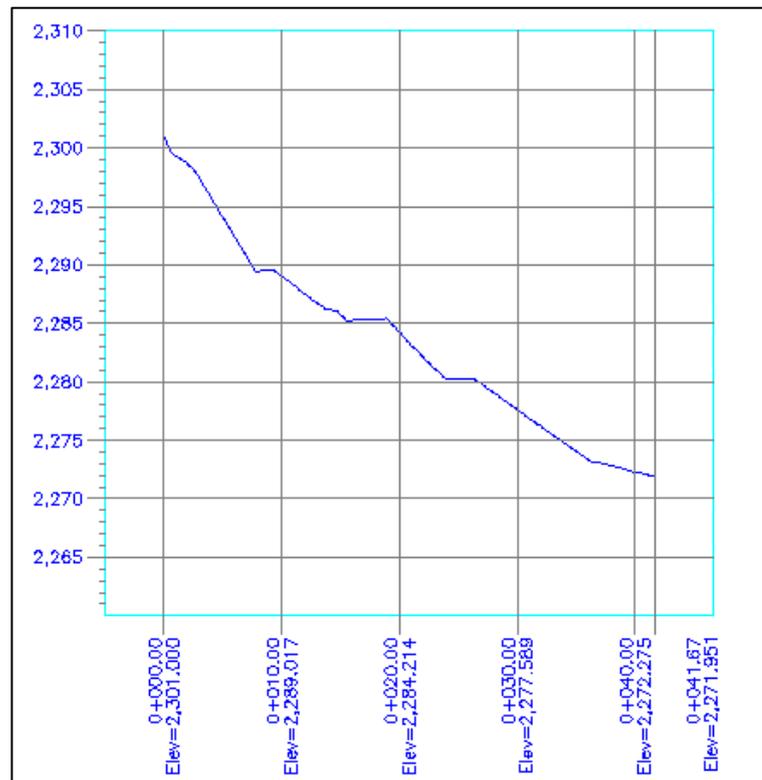


Figura 3.2 Topografía del derrumbe del sector



El perfil seleccionado se muestra a continuación.

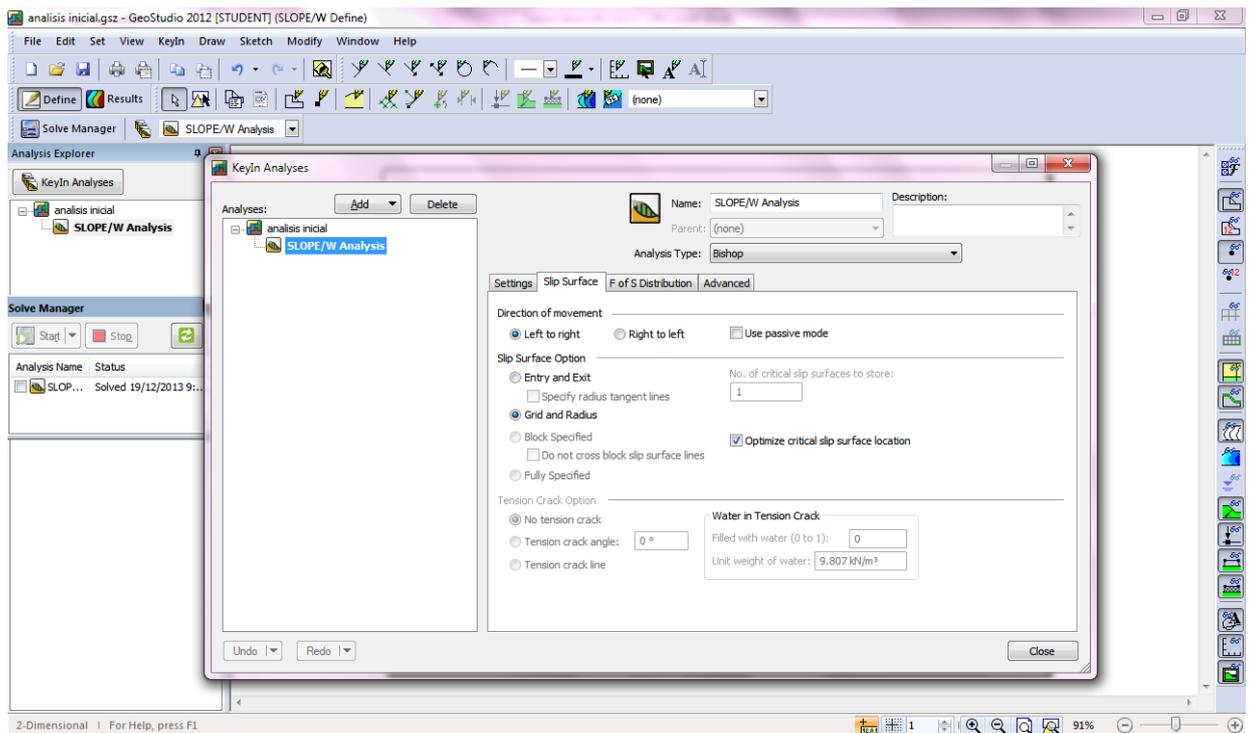
Figura 3.3. Perfil actual del terreno



### 3.3 Modelación del problema en el software

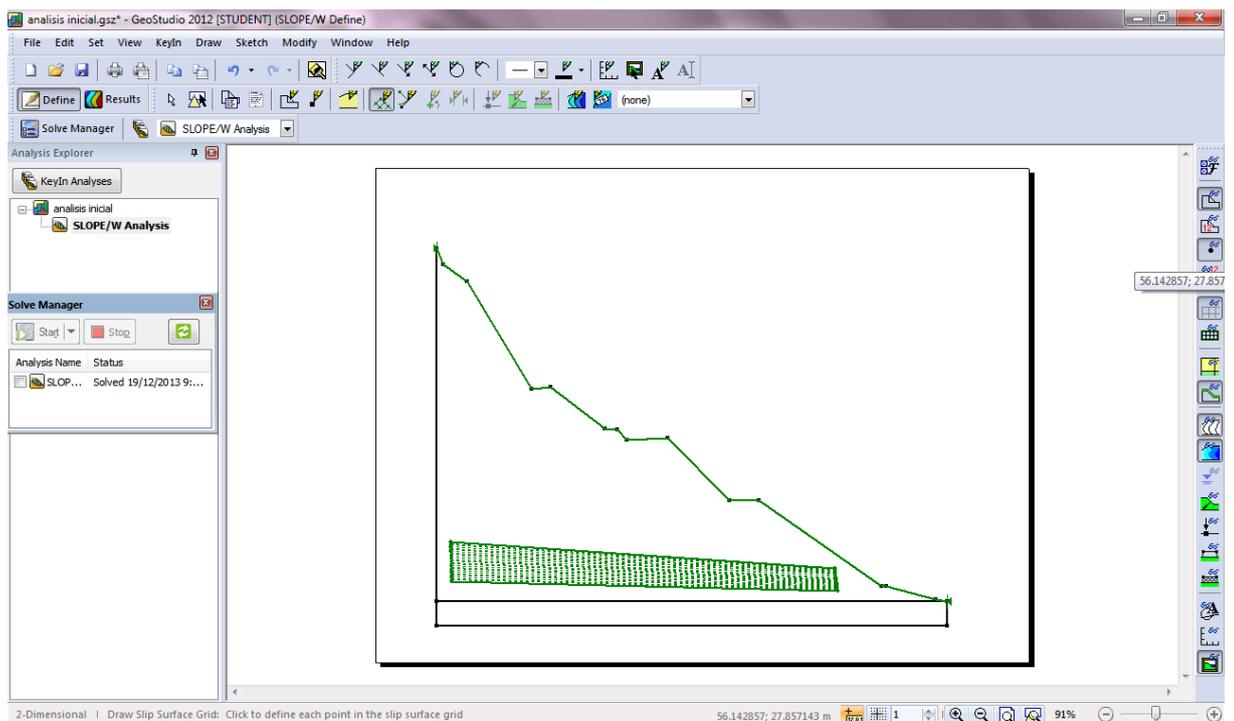
Dentro de la interfaz del software, en primer lugar se debe definir el método de análisis, en este caso el método utilizado es el método de Bishop.

Figura 3.4 Programa Geostudio 2012-slope/w: Definición del método



A continuación se procede a introducir y definir los puntos relevantes que definen el perfil, también, se deben incluir la profundidad a la cual se va a considerar la existencia de un extracto rocoso denominado dentro del programa como *bedrock*. Además, se delimitan las superficies, como se supuso inicial que el talud es homogéneo, será una sola.

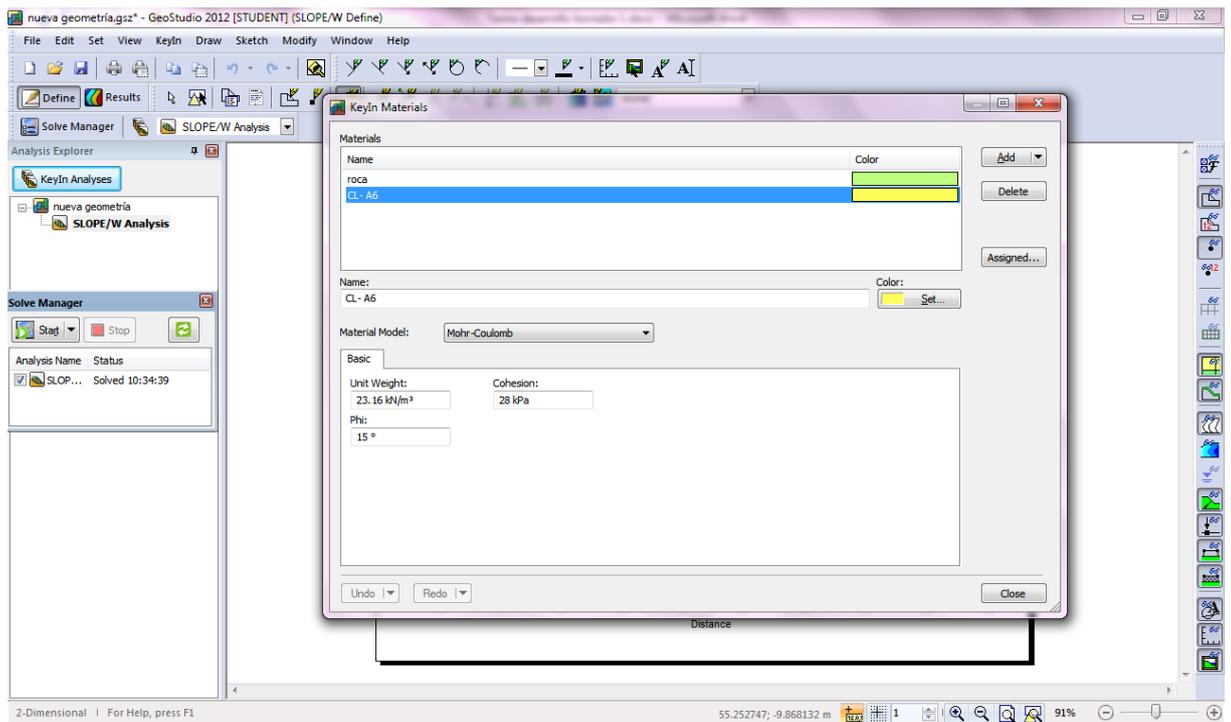
Figura 3.5 Programa Geostudio 2012-slope/w: Modelación del talud



### 3.3.1 Definición del problema

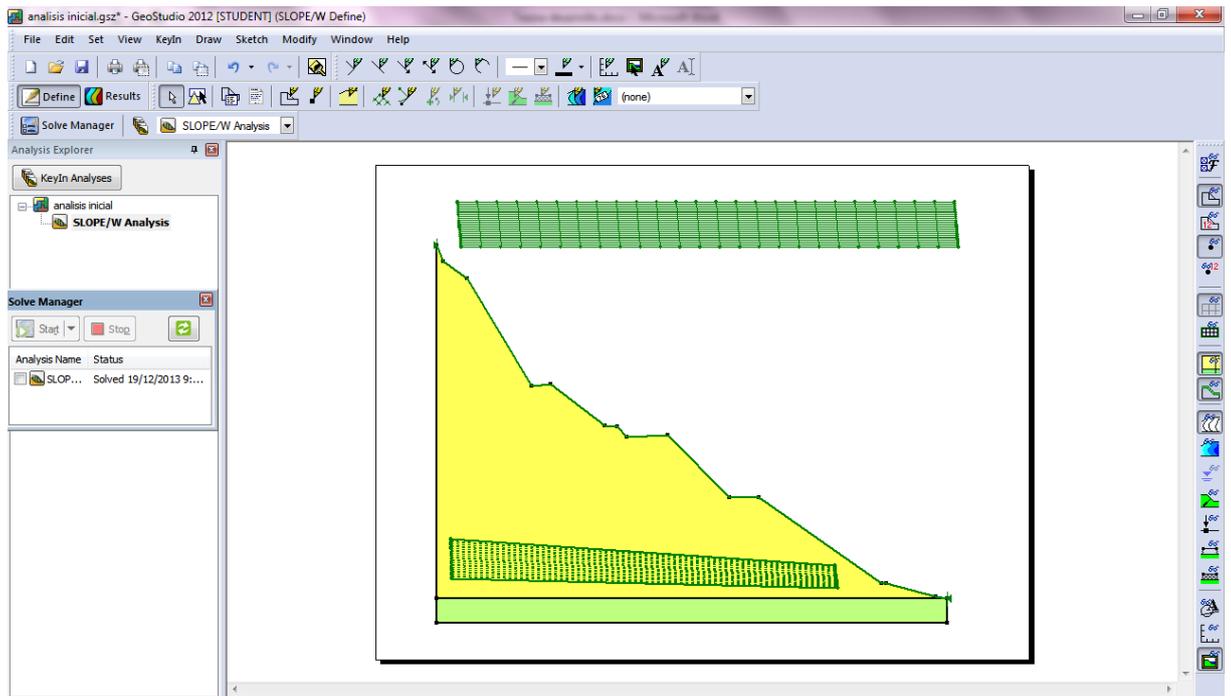
Definida la geometría, puntos y superficies dentro de la interfaz del software se procederá a introducir las características del suelo tanto las físicas como las mecánicas, para ello se define el material dentro del software.

Figura 3.6 Programa Geostudio 2012-slope/w: Definición de características del suelo



Se definirán los radios y centros probables para la superficie de falla y se corre el programa.

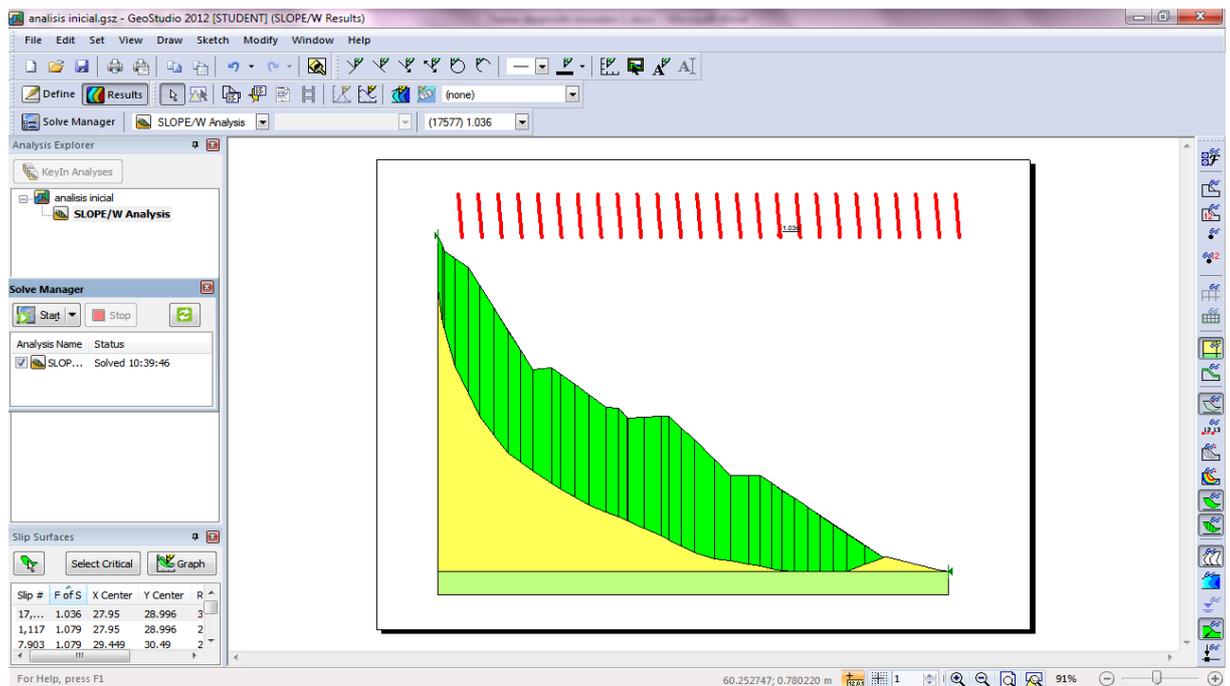
Figura 3.7 Programa Geostudio 2012-slope/w: Radios y centro probables



### 3.3.2 Resultados obtenidos

Una vez conformado el modelo del talud se corre el programa y este me entrega el resultado esperado, el talud no es estable ni seguro con un factor de seguridad igual a 1,036 menor que el mínimo aceptable que es 1,5.

Figura 3.8 Programa Geostudio 2012-slope/w: Resultados iniciales



### 3.4 Solución del problema

Como el factor de seguridad obtenido del análisis inicial es notablemente inferior al mínimo requerido para suponer al talud seguro y estable. Por lo tanto se requerirá darle al talud una nueva configuración y geometría, y así asegurar el factor de estabilidad mínimo permisible, para lograr este fin se propondrán y varía la geometría hasta encontrar la adecuada y cumplan con los criterios de seguridad y estabilidad.

### 3.4.1 Definición de la nueva geometría

Tras probar varias posibilidades en cuanto a la geometría del talud y en relación a la actual se propuso un talud compuesto por 4 bermas de corona 2,00 m y altura variada, esta nueva configuración del perfil se muestra a continuación.

Figura 3.9 Perfil propuesto

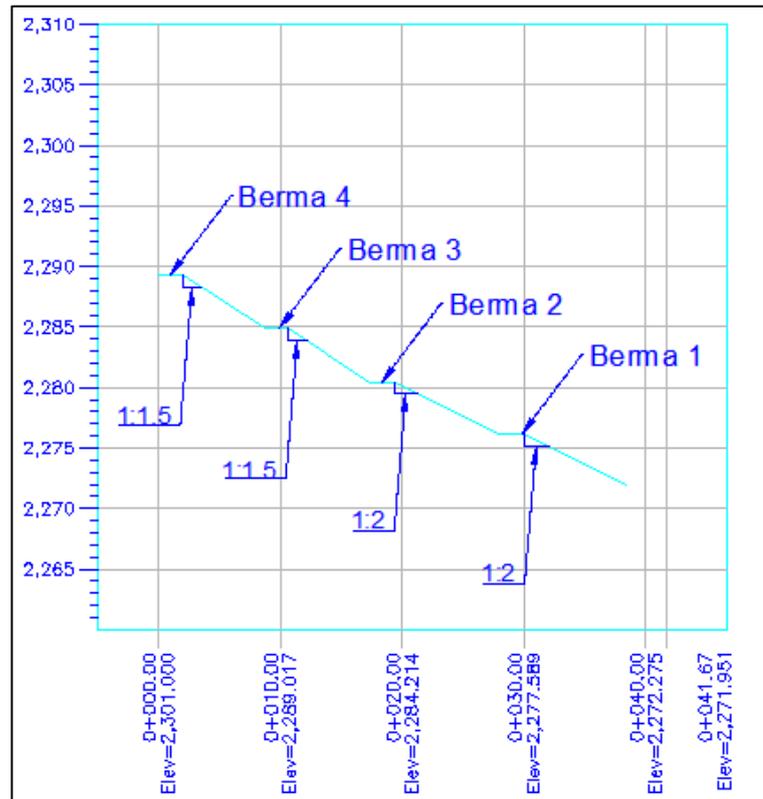
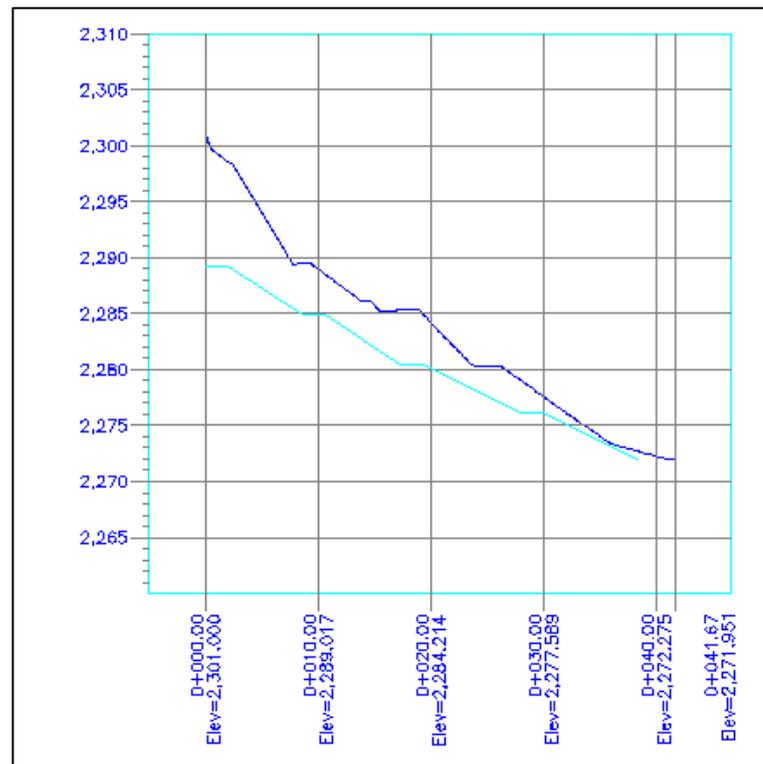


Figura 3.10. Perfil propuesto vs. Perfil actual



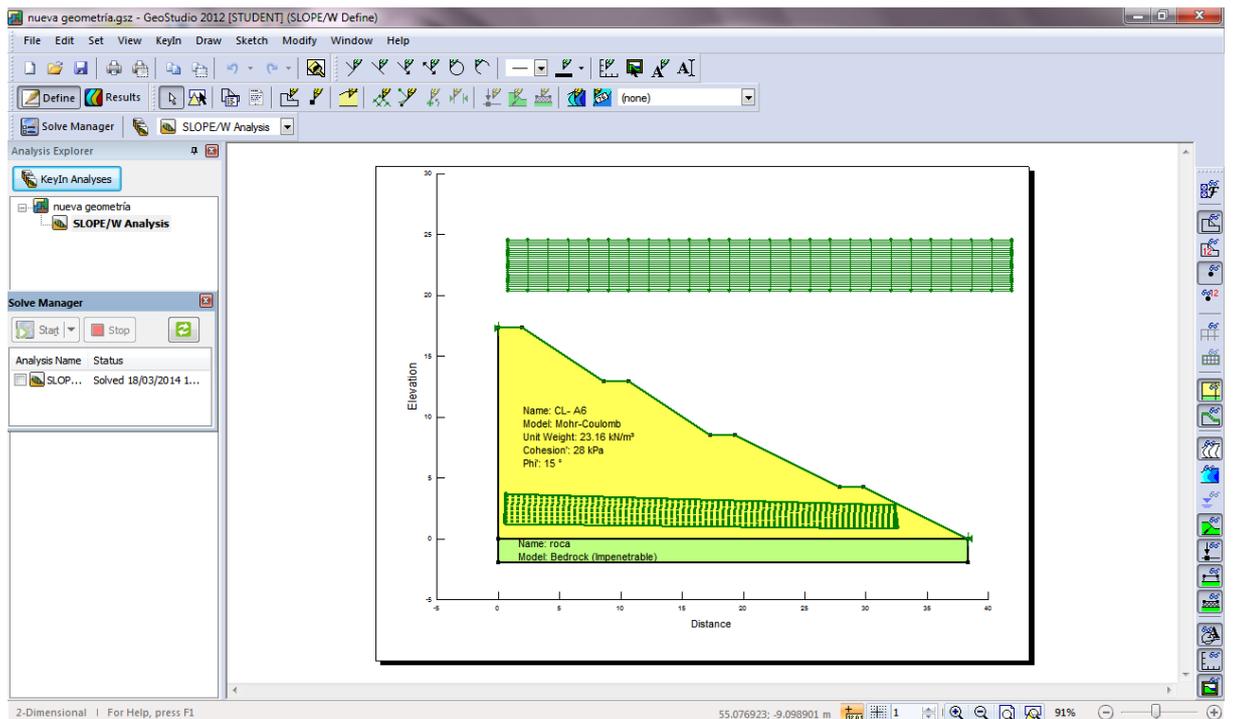
### 3.4.2 Modelación en el software

Al igual que en el análisis inicial, la modelación de la solución se registrará sobre el método de Bishop y bajo los mismos propiedades físicas y mecánicas del suelo. La variación del a análisis anterior se basa en definir los distintos puntos, dimensiones y niveles.

#### 3.4.2.1 Definición de la nueva configuración

Dentro del análisis de la solución propuesta se introduce dentro del software todos los puntos necesarias para definir las superficies de suelo, además, se definen el tipo de suelo con sus propiedades mecánicas y físicas definidas con anterioridad, por otro lado se definen, también, las áreas para los radios de la superficie de falla y la malla para la superficie de deslizamiento.

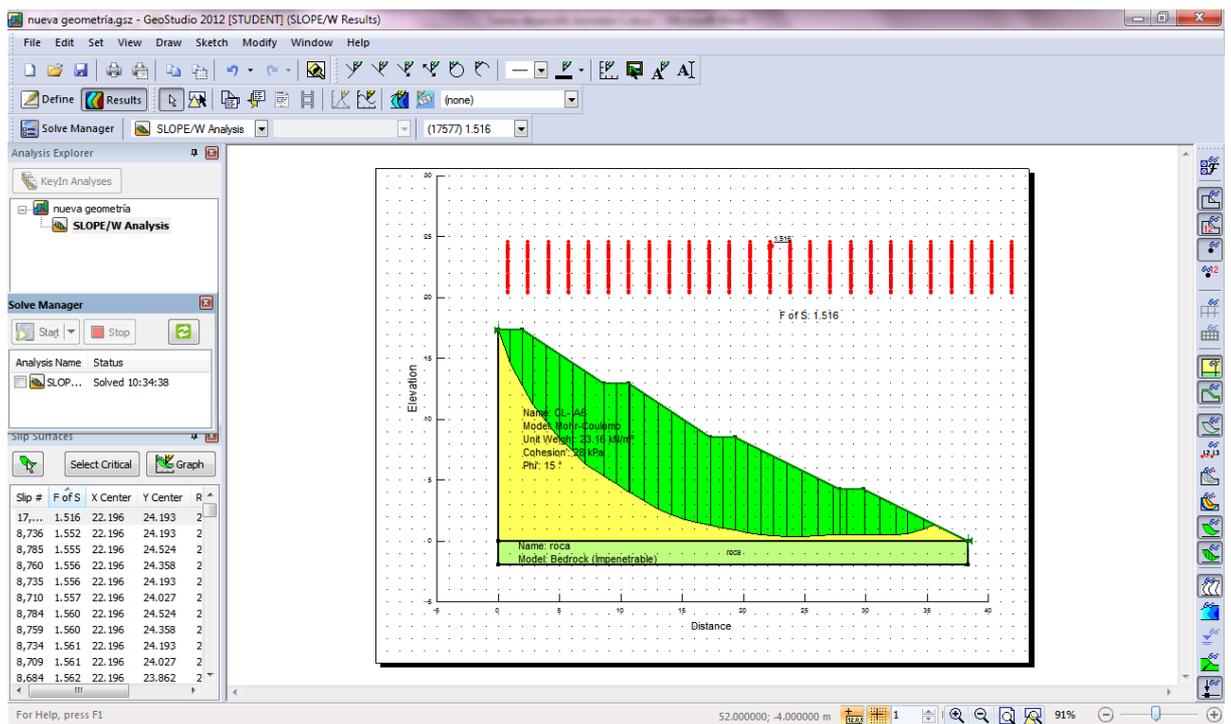
Figura 3.11 Programa Geostudio 2012-slope/w: Radios y centros nueva geometría



### 3.4.2.2 Resultados obtenidos

Luego de correr el programa se obtiene como resultado un factor de seguridad igual a 1,516; este valor es aceptable ya que es mayor a 1,5.

Figura 3.12 Programa Geostudio 2012-slope/w: Resultados obtenidos



Con este resultado se puede asegurar la estabilidad geométrica del talud, puesto que el factor obtenido cumple con los criterios de seguridad. En general se deduce que este talud es estable debido a la configuración geométrica que se detalla a continuación:

Tabla 3.2 Tabla resumen de resultados

Berma N.-	Altura	Corona	Pendiente	F.S Bishop
1	4,26	2,00	1: 1,50	1,516
2	4,26	2,00	1: 1,50	1,516
3	4,40	2,00	1: 2,00	1,516
4	4,40	2,00	1: 2,00	1,516

## **CAPITULO 4**

### **ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO**

#### **4.1 Especificaciones técnicas**

Dentro de las especificaciones técnicas para llevar acabo la estabilización del talud se describirá las referentes esencialmente a movimiento de tierra y transporte de material.

##### **4.1.1 Excavaciones**

###### **4.1.1.1 Definición y alcance de los trabajos**

El rubro cubre todos y cada uno de los trabajos referentes a remoción de capa vegetal existente, carga, transporte y demás actividades ligadas al movimiento de tierras, además, el material resultante de este proceso será colocado y dispuesto en áreas de depósito indicadas. Las áreas de excavación incluyen y no se limitan a:

- Limpieza y de las áreas requeridas como son zonas de préstamo, escombreras y otras afines a la obra.
- Excavaciones y conformación de taludes.
- Excavaciones en zonas de préstamo
- Disposición en escombreras de los materiales excavados o removidos
- Protección de superficies excavadas.

#### **4.1.1.2 Generalidades**

El responsable de la ejecución de los trabajos deberá proceder a la excavación de manera tal que no incurra en procedimientos que pongan en peligro la escalabilidad de los taludes. Así mismo, deberá garantizar la seguridad del personal y equipos en la obra.

Las excavaciones podrán ser iniciadas solamente cuando se hayan realizado los trabajos necesarios para el correcto manejo de aguas y se tengan listos los equipos, elementos y materiales necesarios para la protección de las superficies excavadas.

A medida que avance la excavación y se hayan alcanzado las líneas y pendientes mostradas en los planos, se deberá contar con la aprobación de la fiscalización del proyecto.

#### **4.1.1.3 Especificaciones de obra**

##### **4.1.1.3.1 Excavación Selectiva**

Durante la ejecución de los servicios de excavación, se deberá aplicar métodos que permitan la excavación selectiva de los materiales, de modo de separarlos de acuerdo con las necesidades de utilización.

La excavación selectiva deberá ser ejecutada mediante la elaboración de planes de desmonte, que permitan la adecuada selección de los materiales, de acuerdo a su tamaño y al uso que tendrá.

Todo material aprovechable, obtenido de las excavaciones programadas, deberá separarse por cargas, en el equipo de transporte, durante las operaciones de excavación, y depositadas en pilas de stock. Cuando los materiales excavados no sean adecuados, o se obtengan en exceso de los que se necesite para las obras permanentes, se verterán en las escombreras.

#### **4.1.1.3.2 Clasificación de la excavación**

La excavación para la obra se clasificará de acuerdo al tipo de material y con el método usado para realizar el trabajo, como sigue:

- a) Excavación en material sin clasificar
- b) Excavación manual.

Para la ejecución correcta de las excavaciones se deberá emplear los equipos con la potencia, maniobrabilidad y alcance que requiera cada parte de la obra, que sean adecuados para disgregar, remover, evacuar y transportar los materiales sujetos a métodos convencionales de excavación mecánica.

#### **4.1.1.3.3 Ejecución de las Excavaciones**

Todas las excavaciones se ejecutarán de acuerdo a las dimensiones e inclinaciones de talud establecidas en los planos.

Las excavaciones se realizarán de acuerdo a la clasificación anteriormente indicada y cumpliendo adicionalmente lo siguiente:

Cuando por su naturaleza el material producto de la excavación no sea aprovechable para la formación de las banquetas o rellenos, será retirado a las zonas de escombrera.

Aquellos materiales considerados como aprovechables, deberán ser transportados, colocados y/o almacenados, en aquellos sitios previamente definidos.

En las excavaciones donde se observe presencia de suelos expansivos o que su utilización se considere como no procedente, se efectuará la sustitución de dichos suelos con materiales adecuados.

#### **4.1.1.3.4 Sobreacarreo de material excavado**

El transporte de los materiales producto de excavación, cualquiera que fuere su destino, se entenderá incluido en el precio de la misma, siempre que la distancia no

sea superior a 500 m. Para distancias superiores, el exceso sobre 500 m se lo considerará como transporte adicional tal como se define en el rubro Sobreacarreo. De igual forma, se entenderá incluido en el precio de excavación la carga y vertido en el lugar de aplicación.

#### **4.1.1.3.5 Sobreexcavaciones**

Se deberá tomar todas las precauciones necesarias para no excavar más allá de los límites indicados en los planos.

Las sobre excavaciones realizadas durante la ejecución de la obra, que no hubieren sido aprobadas previamente por escrito por la Fiscalización, no serán reconocidas y tendrán que ser rellenadas.

#### **4.1.1.3.6 Excavación sin clasificación**

##### **Definición y alcance de los trabajos**

La excavación en material suelto y/o por escarificación a cielo abierto comprende, pero sin limitarse a ello, el retiro de tierras, gravas, tales que se puedan retirar sin voladuras con una excavadora capaz de desarrollar una potencia de 300 CV (220 kW).

Se incluirán en esta clasificación todas aquellas excavaciones de cualquier suelo, cuyos materiales constitutivos pueden ser removidos por medios mecánicos, con el empleo de tractores hasta tipo D-8 o similar, bulldozers, excavadoras, palas mecánicas y cargadoras en general. Se encasillan en esta definición, todos los trabajos de excavación para cortes en taludes.

El tipo de materiales contemplados en esta clasificación pueden tener características de similitud con suelos coluviales arcillosos, limosos, arenosos, y demás materiales residuales.

#### **4.1.1.3.7 Excavación a mano**

##### **Definición y alcance de los trabajos**

Es el conjunto de operaciones ejecutadas con herramientas y procedimientos manuales para excavar y remover todo el producto de la excavación para llegar a las cotas de diseño, de acuerdo con los alineamientos, secciones transversales y pendientes indicadas en los planos o con las modificaciones.

Las excavaciones a mano deberán realizarse con el mayor cuidado para evitar procesos de inestabilidad de los taludes

#### **4.1.1.4 Protección de las superficies excavadas**

Las actividades que se deben desarrollar para asegurar la estabilidad de todos los taludes naturales, temporales y permanentes de las excavaciones en corte abierto en la obra. Se deberá soportar y proteger, todas las superficies expuestas hasta la terminación de la obra. El soporte y protección de los taludes incluirá el suministro y remoción de todos los soportes temporales, la desviación del agua superficial y la evacuación del agua subterránea, el suministro y mantenimiento de los sistemas de drenaje y bombeo que se requieran para estabilizar los taludes y evitar que el agua penetre en las excavaciones, la colocación de grava, malla metálica, hormigón proyectado, pernos o la combinación de éstos y la construcción de muros de contención con gaviones de acuerdo con lo especificado.

A medida que se progresa con cualquier excavación y con anterioridad a la ejecución de los trabajos de protección de los taludes, se deberá llevar a cabo el trabajo de peinado de los taludes dejados por la excavación. El peinado consistirá en la remoción de bloques o fragmentos de roca suelta de manera que las superficies excavadas queden conformadas por material firme y estable.

Los taludes permanentes deberán ser cuidadosamente terminados hasta obtener superficies estables y las bermas deberán mantenerse siempre libres de material suelto.

#### **4.1.1.5 Requisitos para medida y pago de excavaciones sin clasificar**

No se autorizará la medida y pago de un volumen excavado de material, en cuanto no se haya completado y en total acuerdo con las especificaciones, los siguientes trabajos:

- En los taludes en general, hasta haber completado los trabajos de limpieza, descapote, peinado o protección con alguno de los sistemas especificados y requeridos.
- En los taludes de corte en roca hasta haber completado la colocación de los soportes del talud, de acuerdo con las secuencias previstas en las especificaciones.

#### **4.1.1.6 Medida**

La medida para el pago de excavaciones en corte abierto será el volumen en  $m^3$ , aproximados al décimo de  $m^3$  de material, comprendido entre la superficie del terreno aprobada después de la limpieza y las líneas y cotas mostradas en los planos establecidos.

- La medida para el pago de las excavaciones misceláneas, será el volumen en  $m^3$ , aproximado al décimo de  $m^3$ , de material comprendido entre la superficie natural del terreno y una superficie de material aceptable según el criterio de la Fiscalización.
- La medida para el pago de remoción de derrumbes ocurridos después de iniciada la construcción de la obra, será el volumen en  $m^3$  de material comprendido entre los límites que serán definidos en el sitio. El volumen se determinará con base en las secciones transversales originales del proyecto y en las secciones tomadas después de ocurrir el desprendimiento. Cuando no sea posible calcular el valor por medio de secciones transversales, se medirá el volumen suelto en el sitio del derrumbe al cual se aplicará un factor de reducción del 1,2.
- Sobre acarreo; el volumen de material será medido sobre la base de perfiles topográficos de relleno compactado o en su posición original para el caso de excavaciones. La distancia de sobre-acarreo se entenderá como los centros de gravedad entre el material sobre-carreado en su posición original y en su posición final, menos la distancia libre de acarreo de 500 m. La distancia de sobre acarreo

deberá medirse a lo largo del recorrido más corto posible, según lo determine la SENAGUA.

#### **4.1.1.7 Pago**

La parte de la obra por llevar a cabo a los precios unitarios de los ítems de la Tabla de Cantidades y Precios consistirá en la ejecución de todos los trabajos necesarios para llevar a cabo las excavaciones en corte abierto de la obra, y deberá incluir el suministro de todos los materiales, instalaciones, equipo y manejo de agua necesarios para completar esta parte de la obra y todos los trabajos relacionados con la misma que no tendrán medida ni pago por separado.

#### **4.2 Metodología de construcción**

Dentro del proceso metodológico para la conformación del talud será necesario describir las actividades referentes al mismo como sigue:

1. Las actividades previas a la conformación de las bermas conforme se indican en los planos, deberán contemplar los trabajos que impliquen la limpieza de resto de la capa vegetal y de derrumbes, sin poner en peligro la estabilidad aparente del talud.
2. Considerando la longitud del talud se efectuarán los trabajos de excavación por tramos. El primer tramo cuya altura es menor al del perfil usado para el análisis de estabilidad será conformado por dos bermas, de dimensiones y alturas detalladas en los planos adjuntos. Conforme se avance en la longitud del talud se incrementarán las bermas en función de su altura hasta llegar a la configuración propuesta como solución de estabilidad.
3. La excavación para las bermas empezará desde la berma más alta, teniendo especial cuidado de ir peinando debidamente los taludes de cada berma tal como se indica en las especificaciones, además, se deberá tener especial cuidado en propinar la pendiente especificada, para ello los ayudantes de los operadores de maquinaria deberán contar con una escuadra que permita comprobar la pendiente en cada tramo.

4. Los rellenos que se especifican dentro de los planos se ejecutaran conforme las especificaciones descritas y con el material clasificado resultante de la excavación.
5. Una vez terminado los trabajos de excavación y relleno se debe tener a consideración de las bermas no deben tener ningún tipo de material suelto.
6. Si es necesario durante la ejecución de los trabajos se deberá tomar medidas preventivas para evitar así infiltración de agua producto de lluvias. De igual manera el material sobrante se depositara en los sitios indicados como zonas de escombreras.

### **4.3 Análisis de precios unitarios**

Los análisis de precios se conformaron en función de criterios de rendimientos derivados de factores como: clima, ubicación, maquinaria utilizada, entre otras. Tras poner en práctica estos criterios se obtuvieron los siguientes precios referenciales por unidad ejecutada.

## Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 50001  
**Descrip.:** EXCAVACION SIN CLASIFICAR  
**Unidad:** m<sup>3</sup>  
**Específic.:**

COSTOS DIRECTOS						
<b>Equipo y herramienta</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
101173	EXCAVADORA HIDRAULICA DE RUEDAS 124HP	hora	1,00	67,34	0,02	1,35
101367	TRACTOR - TIENDE TUBOS 200HP	hora	0,50	91,69	0,02	0,92
101408	VOLQUETE	hora	1,00	33,59	0,02	0,67
Subtotal de Equipo:						2,94
<b>Materiales</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
<b>Transporte</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
<b>Mano de Obra</b>						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
401001	Peon		0,50	3,24	0,02	0,03
416002	Excavadora		1,50	3,24	0,02	0,10
422003	Ayudante de maquinaria		1,00	3,24	0,02	0,06
430001	Chofer Licencia Tipo E		0,50	3,93	0,02	0,04
Subtotal de Mano de Obra:						0,23
Costo Directo Total:						3,17
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
20 %						0,63
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>3,80</b>

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 50002  
**Descrip.:** SOBRECARRERO  
**Unidad:** m<sup>3</sup>-km  
**Específic.:**

COSTOS DIRECTOS						
<b>Equipo y herramienta</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
101408	VOLQUETE	hora	0,65	33,59	0,01	0,29
Subtotal de Equipo:						0,29
<b>Materiales</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
<b>Transporte</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
<b>Mano de Obra</b>						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
430001	Chofer Licencia Tipo E		0,65	3,93	0,01	0,03
Subtotal de Mano de Obra:						0,03
Costo Directo Total:						0,32
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
20 %						0,06
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>0,38</b>

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 50003  
**Descrip.:** EXCAVACION A MANO  
**Unidad:** m<sup>3</sup>  
**Especific.:**

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
101060	CARGADORA DE RUEDAS 10	hora	0,50	32,45	0,08	1,35
101230	HERRAMIENTAS (5% COSTO	%MO	1%MO			0,03
101409	VOLQUETE 11.4 TONELADAS	hora	0,10	19,60	0,08	0,16
Subtotal de Equipo:						1,54
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
401001	Peon		10,00	3,24	0,08	2,70
416010	Cargadora frontal		0,50	3,24	0,08	0,13
430001	Chofer Licencia Tipo E		0,50	3,93	0,08	0,16
Subtotal de Mano de Obra:						2,99
Costo Directo Total:						4,53
COSTOS INDIRECTOS						
						20 %
						0,91
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>5,44</b>

**Análisis de Precios Unitarios****Código:** 50004**Descrip.:** TRANSPORTE DE MATERIAL A DISTANCIAS MAYORES DE 500 m**Unidad:** m<sup>3</sup>-km**Específic.:**

COSTOS DIRECTOS						
<b>Equipo y herramienta</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
101408	VOLQUETE	hora	0,6500	33,59	0,0133	0,29
Subtotal de Equipo:						0,29
<b>Materiales</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
<b>Transporte</b>						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
<b>Mano de Obra</b>						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
430001	Chofer Licencia Tipo E		0,6500	3,93	0,0133	0,03
Subtotal de Mano de Obra:						0,03
Costo Directo Total:						0,32
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
20 %						0,06
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>0,38</b>

#### 4.4 Presupuesto referencial

Definidas las cantidades que intervendrán para la estabilización del perfil se obtuvo el siguiente presupuesto referencial.

PRESUPUESTO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE LA CASA DE MÁQUINAS DEL APROVECHAMIENTO ALAZÁN					
Rubro					
Rubro	Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Costo (USD)
	CASA DE MÁQUINAS				
	TALUD				
50001	Excavación sin clasificar	m <sup>3</sup>	3,80	17 907,47	68 048,39
50002	Sobreacarros	m <sup>3</sup> -km	0,38	14 325,98	5 443,87
50003	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	5,44	2 686,12	14 612,50
50004	Transporte de material a distancias mayores a 500m	m <sup>3</sup> -km	0,38	26 771,67	10 173,23
	Subtotal: Talud				98 277,99

## CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de la situación actual y estabilidad del general del talud estudiado se determinó en función de su factor de seguridad que este es inestable y no cumple con los criterios de seguridad, así confirmando el problema que a simple inspección se evidenciaba en el sector; por ende se recurrió a proponer una nueva configuración geométrica del talud que sea estable y segura.

Para llevar a cabo el análisis de estabilidad tanto inicial como la nueva propuesta se definieron las características físicas y mecánicas del suelo, estos parámetros se muestran en la tabla resumen a continuación:

<b>Características físicas del suelo</b>	
Clasificación S.U.C.S	Arcilla de baja compresibilidad (CL)
Densidad húmeda	23,16
<b>Características mecánicas del suelo</b>	
Cohesión del suelo, C.	28 kPa
Ángulo de fricción del suelo, $\Phi$ .	15 <sup>0</sup>

Por medio del software GeoStudio 2012 y el módulo Slope/W, se planteó el modelo para la estabilización de la situación actual, como se supuso en un principio los resultados del análisis arrojaron un factor de seguridad menor a 1,5 es decir no es estable.

Dado el carácter inestable del sector se propuso una configuración geométrica y se con ayuda del mismo software se realizó el análisis de estabilidad para el talud propuesto obteniendo resultados favorables, es decir, se logró proporcionar la pendiente necesaria y la distribución de bermas adecuadas, y generar un factor de seguridad dentro del rango aceptable para asegurar la estabilidad y seguridad del talud.

El análisis técnico y de factibilidad se basa esencialmente en presentar las especificaciones técnicas y la metodología para la correcta ejecución de las actividades que implicara proporcionar la configuración propuesta, y se deduce que la ejecución de esta obra se puede llevar a cabo. Finalmente tras el análisis económico el proyecto es completamente viable.

## RECOMENDACIONES

A pesar que geoméricamente se garantice la estabilidad y seguridad del talud, se deberán tomar a consideración otras medidas adicionales para evitar deslizamientos por agentes externos o naturales; en el caso del agua, esta se infiltra dentro de la masa de suelo segregando las partículas y provocando un efecto interno denominado tubificación, este efecto a largo plazo ocasiona que los vacíos que se generan dentro del talud sean causantes del fallo del mismo. Como medida contra este fenómeno es recomendable la correcta ubicación y construcción de cunetas de coronación que conduzcan el agua fuera del área del talud.

La erosión del suelo también es causante de inestabilidad del talud contra ello es fundamental la colocación de un geotextil a la largo de las bermas inferiores del talud, adicionalmente se deberá proveer de una capa vegetal.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alva Hurtado, J. E. (17 de Octubre de 2012). *SlideShare*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2013, de SlideShare: <http://www.slideshare.net/JStacy19/estabilidad-de-taludes>
- Armas Novoa, R. (2010). Compactación de suelos. *ISPJAE, Habana, Cuba*.
- Auvinet Guichard, G., & Pineda Contreras, A. (2013). Método del elemento finito en geotécnia. Enfoque espectral. *Ingeniería, Investigación y tecnología, XIV(1)*, 11-12.
- Blañon Blazquez, L. (2000). *Manual de Carreteras*.
- Bowles, J. E. (1980). *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. Bogotá, Colombia: Mcgraw-Hill Latinoamericana S.A.
- Correa Vallejo, M. B., & Machado Salazar, L. A. (25 de Febrero de 2012). *bibdigital.epn.edu.ec*. Recuperado el 13 de Enero de 2014, de [bibdigital.epn.edu.ec](http://bibdigital.epn.edu.ec): <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4538/1/CD-4160.pdf>
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Mexico: International Thomson Editore, S.A. de C.V.
- García, M. H. (2006). *Estabilidad de taludes en carreteras*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Hernández Canales, J. C. (22 de Abril de 2009). *Scribd*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2013, de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/14537512/Caracteristicas-Fisicas-y-Propiedades-Mecanicas-de-los-suelos-y-sus-Metodos-de-Medicion>
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. Mexico: LIMUSA.
- Medrano Castillo, R. C. (2008). *Mecánica de suelos II*. Tehuacán: SEP.
- Rico Rodríguez, A. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres (Vol. 1)*. México: Limusa.
- Valcárcel, J. P. (2000). *Conceptos generales de la mecánica del suelo*. Coruña: E.T.S.A de la Coruña

## ANEXOS

### ANEXO 1 FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

Fotografía 1. Geometría actual del sector



Fotografía 2. Material del cual se compone el talud



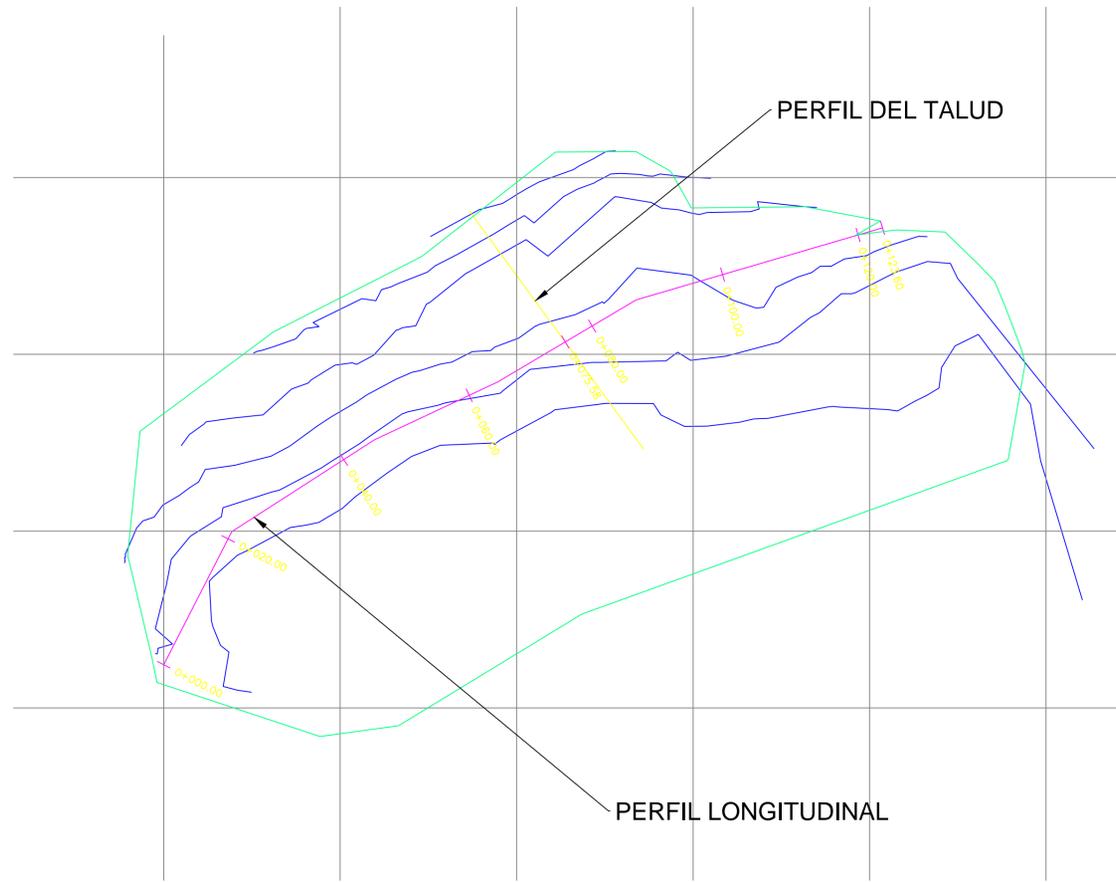
Fotografía 3. Sector donde se tomaron las muestras



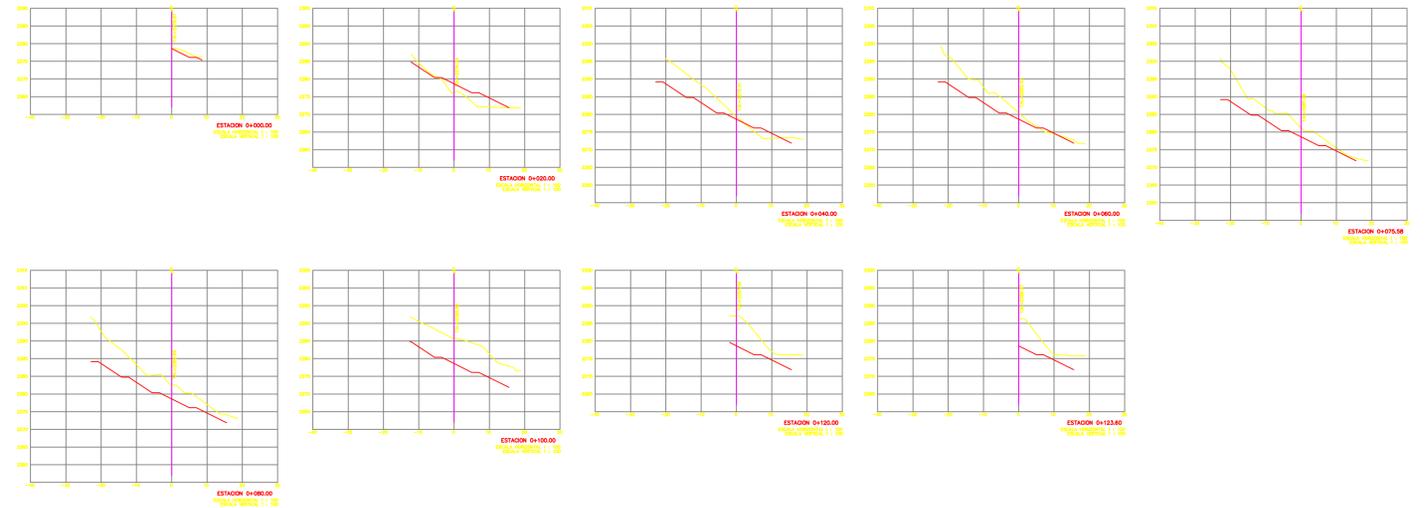
## **Anexo 2 Plano bermas, perfiles y secciones**



### TOPOGRAFÍA- EMPLAZAMIENTO PERFIL TALUD Y LONGITUDINAL



### SECCIONES DE CORTE

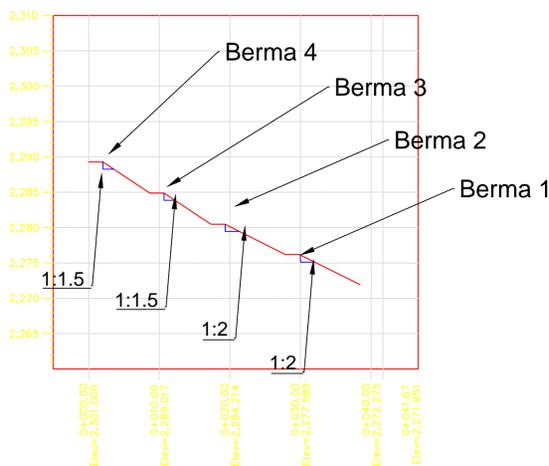


### TABLA RESUMEN DE CORTE

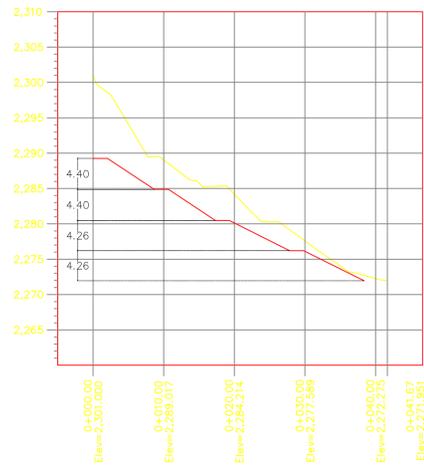
TIPO DE MATERIAL		CL							
FACTOR DE ABUNDAMIENTO		1.3							
FACTOR DE COMPACTACION									
VOLUMEN	TERRAPLEN	0.00	401.62	534.43	154.97	17.27	0.00	0.00	0.00
	CORTE	0.00	170.42	1,391.03	2,863.60	2,675.23	975.17	5,169.36	3,830.04
ESPESOR	TERRAPLEN		2.37						
	CORTE	0.25		0.80	1.81	2.57	4.08	7.22	8.48
ELEVACION	SUBRASANTE	2,278.61	2,278.61	2,278.61	2,278.61	-1.57	2,278.61	2,278.61	2,278.61
	TERRENO	2,278.87	2,276.24	2,279.41	2,280.42	1.00	2,282.69	2,285.83	2,287.09
ABSCISA		0+000.00	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+075.58	0+080.00	0+100.00	0+120.00
									0+123.60

TOTAL VOLUMEN CORTE = 17,453.49m<sup>3</sup>  
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -1,108.28m<sup>3</sup>  
 FACTOR ABUND. = 1.30

### PERFIL DEL TALUD-IDENTIFICACIÓN BERMAS



### PERFIL DEL TALUD VS PERFIL TERRENO



DISEÑO: ANDREA MERCHAN CORONEL  
 DIBUJO: ANDREA MERCHAN CORONEL

## PROYECTO HIDROELÉCTRICO MAZAR - DUDAS APROVECHAMIENTO ALAZAN

CASA DE MÁQUINAS

PLANO DE BERMAS

SECCIONES DE CORTE

ESCALAS : 1:500- 1:1000

FECHAS: ABRIL/2014

PLANO : 1/1

UNIVERSIDAD DEL AZUAY