

Nº MSEC
64990

T
C764c
2016

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil



Correlación entre los Parámetros de Corte de un Suelo y sus Características Físicas para Análisis de Estabilidad de Taludes

Por

Nicole Alexandra Contreras Escalona

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: Mauricio Pinto Quintana

Enero, 2016

R. 10426

Suelos
Ensayo Triaxial Suelo
Limos
Resistencia al Corte

"Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo"

Arquímedes

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de título a mi Padre, la persona más importante en mi vida que siempre ha estado conmigo de manera incondicional brindándome la oportunidad de llegar a esta instancia, te agradezco por todos los años de esfuerzo inigualable, sacrificio y dedicación que has puesto para mi formación personal y profesional.

Mi madre la mujer que siempre ha estado a mi lado entregándome tranquilidad y serenidad, siempre tienes las palabras justas en los momentos precisos.

Nicolás eres el mejor regalo que podrían darme mis padres, siempre estas cuando necesito de ti, sin ti a mi lado esto no sería lo mismo.

Agradecimientos

Quiero agradecer, en primer lugar a mi profesor Guía , el Sr. Mauricio Pinto Q. Quien contribuye en esta última etapa de mi formación académica dedicando parte de su tiempo y sus conocimientos a éste trabajo de título, siempre con una muy buena disposición voluntad y ánimo para atender mis inquietudes. Le agradezco que haya aceptado realizar este desafío conmigo.

Le agradezco al Sr. René Martínez V. Del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Técnica Federico Santa María, por su enorme colaboración y entrega para éste trabajo de título, estoy completamente agradecida por sus aportes y su disposición incondicional para el desarrollo de éste.

Por último mis más sinceros agradecimientos a mis amigos y amigas que más allá del estudio están en todo momento brindándome su apoyo y buenos deseos, en especial a mi compañero de carrera y ahora amigo Daniel Espinosa H. Quien llego a mi vida en el momento preciso entregándome su amistad y apoyo incondicional hasta el día de hoy.



INDICE

INDICE DE TABLAS.....	07
INDICE DE FIGURAS.....	09
RESUMEN.....	10
ABSTRAC.....	11
1. CAPITULO PRIMERO.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Generales.....	14
1.3.2 Específicos.....	14
1.4 ALCANCES.....	15
2. CAPITULO SEGUNDO.....	16
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	16
2.2 ELEMENTOS DEL TALUD.....	16
2.3 TIPOS DE FALLA DEL TALUD.....	17
2.4 METODOLOGÍAS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES FINITOS.....	18
2.4.1 Método de Fellenius.....	19
2.4.2 Método de Bishop Simplificado.....	22
2.4.3 Método de Janbú.....	24
2.5 CONDICIÓN DRENADA Y NO DRENADA.....	25
2.6 ESFUERZOS TOTALES O EFECTIVOS.....	26
2.7 RESISTENCIA AL CORTE.....	27
2.7.1 Ensayo de corte directo.....	27
2.7.2 Ensayo Triaxial.....	29
2.8 PARÁMETROS BÁSICOS DE LOS SUELOS.....	31
2.8.1 Ensayos Granulométricos.....	31
2.8.2 Peso Específico de los Sólidos.....	33
2.8.3 Ensayo capacidad de soporte del suelo "CBR".....	34
3. CAPITULO TERCERO.....	37
3.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS BÁSICAS REGIONAL DE VALPARAÍSO.....	37
3.2 SUELOS.....	37
3.2.1 Clasificación.....	38
3.3 PROCEDIMIENTO Y MEDIDAS DE IDENTIFICACIÓN.....	43
3.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS USCS.....	44
3.4.1 Sistema de clasificación USCS para suelos gruesos.....	44

3.4.2	Nombres de suelo según clasificación USCS para suelos gruesos	44
3.4.3	Sistema de clasificación USCS para suelos finos	45
3.4.4	Nombre de suelo según clasificación USCS para suelos finos.....	45
3.5	SUELOS EN ANÁLISIS	46
4.	CAPITULO CUARTO	48
4.1	ENSAYO TRIAXIAL - METODOLOGÍA UTILIZADA	48
4.2	ANÁLISIS ARENAS LIMOSAS.....	51
4.2.1	Ensayo Triaxial Suelo UU12.....	51
4.2.2	Propiedades Físicas de las Arenas Limosas.....	58
4.3	ANÁLISIS ARENAS DUNA.....	62
4.3.1	Ensayo Triaxial Suelo UU27.....	62
4.3.2	Propiedades Físicas de las Arenas de Duna	69
4.4	LIMOS.....	72
4.4.1	Suelo UU4.....	72
4.4.2	Propiedades Físicas de los Limos.....	79
4.5	MODELACIÓN DE FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES	82
4.5.1	Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 1 - Arenas Limosas.....	84
4.5.2	Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 2 - Arena Duna	93
4.5.3	Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 3 - Limo.....	101
5.	CAPITULO QUINTO	108
5.1	ANÁLISIS DE DATOS SUELO TIPO 1 - ARENA LIMOSA.....	108
5.2	ANÁLISIS DE DATOS SUELO TIPO 2 - ARENA DE DUNA	111
5.3	CORRELACIÓN ARENA LIMOSA	113
5.4	CORRELACIÓN ARENA DE DUNA.....	115
5.5	CORRELACIÓN LIMOS	117
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
6.1	CONCLUSIONES.....	118
6.2	COMENTARIO	120
6.3	RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJO	120
6.4	INDICE DE REFERENCIAS.....	121
6.5	ANEXOS.....	122

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 : Numeración y abertura de tamices	31
Tabla 3-1 : Suelos Orgánicos Región de Valparaíso	38
Tabla 3-2 : Suelos de grano grueso	39
Tabla 3-3 : Suelos de grano fino	42
Tabla 3-4 : Procedimientos y medidas de identificación de un suelo	43
Tabla 3-5 : Clasificación USCS - Suelos Gruesos	44
Tabla 3-6 : Clasificación USCS - Suelos Gruesos	44
Tabla 3-7 : Clasificación USCS - Suelos Finos	45
Tabla 3-8 : Clasificación USCS - Suelos Finos	45
Tabla 3-9 : Identificación de Muestras - Arenas Limosas	46
Tabla 3-10 : Identificación de Muestras Arena Duna	47
Tabla 3-11 : Identificación de Muestras - Limo	47
Tabla 4-1 : Identificación Muestra UU12 - Arena limosa.....	51
Tabla 4-2 : Características Muestra UU12 - Arena Limosa.....	52
Tabla 4-3 : Ensayo Triaxial Muestra UU12 - Arena Limosa.....	53
Tabla 4-4 : Datos gráfica círculo de Mohr Muestra UU12 - Arena Limosa	55
Tabla 4-5 : Valores Extraídos de los Círculos de Suelos UU12 - Arena limosa	57
Tabla 4-6 : Resultados Ensayo Triaxial - Arenas Limosas.....	57
Tabla 4-7 : Granulometría Arenas Limosas	58
Tabla 4-8 : Granulometría Arenas Limosas	59
Tabla 4-9 : Capacidad de Soporte de California "CBR"	60
Tabla 4-10 : Peso Específico de los Sólidos Arenas Limosas	61
Tabla 4-11 : Identificación Muestra UU27 - Arena Duna.....	62
Tabla 4-12 : Características Muestra UU27 - Arena Duna.....	63
Tabla 4-13 : Ensayo Triaxial Muestra UU27 - Arena Duna	64
Tabla 4-14 : Datos gráfica círculo de Muestra UU27 - Arena Duna.....	66
Tabla 4-15 : Valores Extraídos de los Círculos de Suelo UU27	68
Tabla 4-16 : Resultados Ensayo Triaxial - Arena Duna	68
Tabla 4-17 : Granulometría Arena Duna	69
Tabla 4-18 : Capacidad de Soporte CBR - Arena Duna	70
Tabla 4-19 : Peso Específico de los Sólidos Arena Duna.....	71
Tabla 4-20 : Identificación Muestra UU4 - Limo	72
Tabla 4-21 : Características Muestra UU4 - Limo	73
Tabla 4-22 : Ensayo Triaxial Muestra UU4 - Limo	74
Tabla 4-23 : Datos gráfica círculo de Muestra UU4 - Limo	76
Tabla 4-24 : Valores Extraídos de los círculo de Mohr Suelo UU4 - Limo.....	78
Tabla 4-25 : Resultados Ensayo Triaxial - Limo.....	78
Tabla 4-26 : Granulometría Limo.....	79
Tabla 4-27 : Granulometría Limo.....	79
Tabla 4-28 : Capacidad de Soporte California "CBR"	80
Tabla 4-29 : Peso específico de los sólidos - Limo	81
Tabla 4-30 : Índice de plasticidad - Limo.....	81
Tabla 4-31 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración.....	85
Tabla 4-32 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración.....	85
Tabla 4-33 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración.....	86
Tabla 4-34 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración.....	86
Tabla 4-35 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración.....	87
Tabla 4-36 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración.....	87
Tabla 4-37 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración	89
Tabla 4-38 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración	89
Tabla 4-39 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración	90

Tabla 4-40 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración	90
Tabla 4-41 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración	91
Tabla 4-42 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración	91
Tabla 4-43 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración	94
Tabla 4-44 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración	94
Tabla 4-45 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración	95
Tabla 4-46 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración	95
Tabla 4-47 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración	96
Tabla 4-48 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración	98
Tabla 4-49 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración	98
Tabla 4-50 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración	99
Tabla 4-51 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración	99
Tabla 4-52 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración	100
Tabla 4-53 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración	102
Tabla 4-54 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración	102
Tabla 4-55 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración	103
Tabla 4-56 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración	103
Tabla 4-57 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración	104
Tabla 4-58 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración	105
Tabla 4-59 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración	105
Tabla 4-60 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración	106
Tabla 4-61 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración	106
Tabla 4-62 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración	107
Tabla 5-1 : Factores de Seguridad Suelo Tipo 1.....	108
Tabla 5-2 : Factores de Seguridad Suelo Tipo 2.....	111

INDICE DE FIGURA

Figura 2-1 : Elementos del Talud	16
Figura 2-2 : Tipos de SPF en deslizamientos rotacionales.....	17
Figura 2-3 : Esquema de análisis de estabilidad de taludes - Método de Fellenius.....	19
Figura 2-4 : Esquema de las fuerzas que actúan en la dovela - Método de Fellenius.....	20
Figura 2-5 : Fajas verticales - Método de Dovelas.....	22
Figura 2-6 : Diagrama de factor f_0 utilizando el método de Janbú.....	24
Figura 2-7 : Disposición de la muestra Fuerza y Desplazamiento.....	27
Figura 2-8 : Recta Intrínseca.....	28
Figura 2-9 : Célula Triaxial.....	30
Figura 2-10 : Gráfica tipo ensayo triaxial.....	30
Figura 2-11 : Fotografías referenciales ensayos granulométricos.....	32
Figura 2-12 : Fotografías referenciales ensayo CBR.....	36
Figura 3-1 : Provincias Región de Valparaíso.....	37
Figura 3-2 : Suelos Granulares Grueso.....	39
Figura 3-3 : Arena Duna - Sector Concón.....	40
Figura 3-4 : Arena Duna - Sector Cartagena.....	40
Figura 3-5 : Arena Limosa - Sector Casablanca.....	41
Figura 3-6 : Arena Limosa - Camino Lo Orozco.....	41
Figura 3-7 : Arena Limosa - Sector Quillota.....	41
Figura 4-1 : Esquema representativo Análisis de Datos Ensayo Triaxial.....	49
Figura 4-2 : Tensión axial.....	50
Figura 4-3 : Gráfica Esfuerzo Deformación Muestra UU12 - Arena Limosa.....	54
Figura 4-4 : Círculo de Mohr Muestra UU12 - Arena Limosa.....	56
Figura 4-5 : Círculo de Mohr Muestra UU12 - Arena Limosa.....	56
Figura 4-6 : Banda Granulométrica Arenas Limosas.....	59
Figura 4-7 : Gráfica Esfuerzo Deformación Muestra UU27 - Arena Duna.....	65
Figura 4-8 : Círculo de Mohr Muestra UU 27 - Arena Duna.....	67
Figura 4-9 : Círculo de Morh Muestra UU27 - Arena Duna.....	67
Figura 4-10 : Banda Granulométrica Arena Duna.....	70
Figura 4-11 : Gráfica Esfuerzo Deformación Muestra UU4 - Limo.....	75
Figura 4-12 : Círculo de Mohr Muestra UU4 - Limo.....	77
Figura 4-13 : Círculo de Mohr Muestra UU4 - Limo.....	77
Figura 4-14 : Banda Granulométrica Limos.....	80
Figura 4-15 : Geometría Perfil Tipo Sin Infiltración.....	83
Figura 4-16 : Geometría Perfil Tipo Con Infiltración.....	83
Figura 4-17 : Geometría Perfil Superficie de Falla.....	84
Figura 4-18 : Altura Talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs).....	88
Figura 4-19 : Altura talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs).....	92
Figura 4-20 : Altura Talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs) - Suelo Tipo 2.....	97
Figura 4-21 : Altura Talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs) - Suelo Tipo 2.....	101
Figura 5-1 : Iteración Suelo Tipo 1.....	110
Figura 5-2 : Iteración Suelo Tipo 2.....	112

RESUMEN

El presente trabajo de título, basa su estudio en un problema recurrente del área de la mecánica de suelos en la Ingeniería, principalmente en el ámbito de la estabilidad de taludes, ya sean éstos artificiales o naturales. Por las características geomorfológicas de este país para efectos de derrumbes y deslizamientos, la estabilidad de taludes constituyen un problema de vital importancia en varios sectores del territorio nacional en particular de la Región de Valparaíso.

Para determinar la estabilidad de un talud, es necesario conocer los parámetros de corte de un suelo, esto es, el ángulo de fricción interna y la cohesión, sin embargo los equipos necesarios para determinar estos parámetros no se encuentran disponibles en cualquier laboratorio. Principalmente el Laboratorio Regional de Vialidad de la Región de Valparaíso, no cuenta con la infraestructura para determinar los esfuerzos cortantes de los suelos. Por esto es más complejo encontrar la estabilidad de taludes de aquellos presentes en la región de acuerdo al tipo de suelo que lo componga. Para realizar este tipo de análisis el Laboratorio Regional debe enviar sus muestras al Laboratorio Nacional, o bien a un laboratorio externo, estos laboratorios pueden estudiar y analizar el suelo para definir su resistencia cortante. Esto implica recurrir en un costo mayor para los respectivos estudios; Es por esto que el presente trabajo de título busca encontrar una correlación entre las propiedades físicas del suelo respecto a los parámetros de corte del mismo, con el fin de relacionar ambos criterios y encontrar la estabilidad de taludes.

El presente busca realizar un estudio de los suelos más representativos de la Región de Valparaíso, con el fin de analizar y encontrar una correlación para diferentes alturas y pendientes de los taludes según sea el requerimiento.

ABSTRAC

The title of this paper, based their study on a recurring problem in the area of soil mechanics in engineering, especially in the field of slope stability, be they artificial or natural. In the Chilean geomorphology, for purposes of collapses and landslides, the slope stability is a problem of vital importance in various sectors of the country including the region of Valparaíso.

To determine the stability of a slope, you must know the cutting parameters of soil, that is, the angle of internal friction and cohesion, but the equipment needed to determine these parameters are not available in any laboratory. The Regional Laboratory of Roads of the Valparaiso region, does not have the infrastructure to determine the cutting capacity of the soil, therefore it is more complex to find the slope stability of these slopes in the region according to soil type that compose. To perform this type of analysis the Regional Laboratory must send samples to the National Laboratory, or to an external laboratory, such laboratory can study and analyze the soil to define cutting parameters. This in turn implies a higher economic cost for the respective study. Therefore this paper seeks to find a correlation between the index soil properties compared to the same cutting parameters, to relate the two criteria and find the slope stability on a theoretical way.

This seeks to make a study of the most representative soils of the region of Valparaiso, in order to analyze and find a correlation for different heights and slopes of the slopes as the requirement.



1. CAPITULO PRIMERO

1.1 INTRODUCCIÓN

Los taludes naturales son declives o pendientes de un suelo el cual puede producir una inestabilidad generando derrumbes o deslizamientos. En la región de Valparaíso, debido a los diversos tipos de suelos que lo constituyen, tienen comportamientos distintos según la naturaleza del suelo.

La inestabilidad de un talud, se puede producir por diversos factores, variación de nivel freático (presión de poros), situaciones estacionales, obras de ingeniería como rellenos o excavaciones, razones geológicas, laderas posiblemente inestables, estratificación, meteorización entre otros.

Los taludes además serán estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten.

Para encontrar la resistencia del material es necesario llevar a laboratorio los tipo de suelos en cuestión y determinar la resistencia cortante con ensayos de alto costo, es por ello que se vuelve primordial encontrar la estabilidad de un talud en forma rápida y efectiva para poder realizar mantenciones periódicas y evitar derrumbes o deslizamientos en caminos secundarios de la región de Valparaíso.

Por lo tanto el objetivo principal de este trabajo de título es encontrar una correlación entre los parámetros de corte de un suelo y sus características físicas, analizadas en el laboratorio tales como límites de Atterberg, capacidad de soporte, granulometrías, entre otros, para encontrar en forma indirecta la estabilidad de taludes.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se conoce con el nombre genérico de talud cualquier superficie inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra.

Se puede definir taludes como:

Son las obras, normalmente de tierra, que se construyen a ambos lados de la vía (tanto en excavaciones como en terraplén) con una inclinación tal que garanticen la estabilidad de la obra.

Los taludes tienen zona de emplazamiento que comprende, además de la vía, una franja de terreno a ambos lados de la misma. Su objetivo es tener suficiente terreno en caso de ampliación futura de la carretera y atenuar en gran medida, los peligros de accidentes motivados por obstáculos dentro de dicha zona, los cuales deben ser eliminados.

Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural, en tanto que los taludes artificiales son los inclinados de los terraplenes. También se producen taludes en los bordes de una excavación que se realice a partir del nivel de terreno natural, a los cuales se suele denominar taludes de la excavación. (8)

No hay duda de que el talud constituye la estructura más compleja de las vías terrestres; por eso es preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes entendiéndose, por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado, cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén, a diferentes inclinaciones de talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y por lo tanto, diferentes cotas. (8)

Para determinar la estabilidad de un talud, es necesario conocer la resistencia cortante del suelo, esto es, el ángulo de fricción interna y la cohesión, sin embargo los equipos necesarios para determinar estos parámetros no están disponibles en el Laboratorio Regional de Vialidad de la Región de Valparaíso, y al no contar con ellos implica que debe contratarse a un laboratorio externo, con las complicaciones administrativas que eso conlleva o enviar las muestras de suelo al Laboratorio Nacional de la Dirección de Vialidad en la Región Metropolitana, donde existen los equipos necesarios, pero su disponibilidad es muy baja, ya que debe atender a todas las regiones del país. (10)

La mantención de los caminos secundarios en la región se realiza de forma periódica con la restricción del costo de inversión por kilómetro, como también el tipo de faena que se realice en el camino para que esta siga siendo una conservación y no un mejoramiento. Por lo anterior, resulta muy difícil realizar mantenciones o rectificaciones adecuadas a los taludes presentes en los caminos, los cuales en algunas ocasiones quedan con inclinaciones mayores a las necesarias. Otro factor influyente en la formación de la pendiente del talud es la limitación de la faja fiscal para extender los taludes en los caminos secundarios.

Producto de lo anterior, el fenómeno de deslizamientos o derrumbes de suelo por razones climáticas, a pesar de ser un inconveniente que no está totalmente solucionado y considerando que se está en una zona sísmica la inestabilidad de taludes puede generar problemas de alta complejidad. Es por ello que éste trabajo de título consiste en analizar los suelos típicos que conforman taludes naturales en algunos caminos secundarios de la Región de Valparaíso, caracterizarlos con los parámetros usuales tales como capacidad de soporte, densidad, límites de Atterberg y granulometrías para correlacionar con los parámetros de corte de los mismos, obtenidos mediante ensayos triaxial o corte directo. La finalidad de este trabajo es encontrar una herramienta que facilite el tomar decisiones sobre ciertos taludes con ensayos rápidos y de bajo costo. (10)

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Generales

Correlacionar los parámetros de corte de un suelo, ángulo de fricción interna y cohesión, obtenidos de los ensayos de corte directo o triaxial, con sus características físicas tales como, densidad, capacidad de soporte, límites de Atterberg, granulometrías, para análisis de estabilidad de taludes con suelos pertenecientes a la Región de Valparaíso.

1.3.2 Específicos

Estudiar las metodologías que se utilizan para determinar la estabilidad de taludes y encontrar el factor de seguridad.

Caracterizar los tipos de suelos representativos de la Región de Valparaíso y realizar los correspondientes ensayos para encontrar los parámetros del suelo tales como granulometría, densidad, CBR, plasticidad.

Caracterizar los tipos de suelos representativos de la Región de Valparaíso mediante los parámetros mecánicos, ángulo de fricción interna y cohesión, para determinar su factor de seguridad por los métodos tradicionales de análisis.

Determinar una correlación entre las características físicas de los tipos de suelo y los parámetros de corte la que permitirá determinar la estabilidad del talud.

Generar un método de análisis, basado en las correlaciones anteriores, que permitan determinar la estabilidad del talud fácilmente conociendo las características físicas del suelo.

1.4 ALCANCES

Los suelos que se analizan en este trabajo de título corresponden a arenas limosas, arenas de duna y limos principalmente.

Los parámetros de corte de los suelos se calculan mediante el método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión no consolidada no drenada en compresión triaxial (ASTM D 2850-82).

Se clasificarán los suelos representativos de taludes en corte y corresponderán principalmente a caminos secundarios, de la Región de Valparaíso.

Se realizarán sólo ensayos triaxiales considerando la condición no drenado no consolidado, con el fin de acotar los resultados de análisis de este trabajo de título.

Se analizará la estabilidad de taludes para la condición con nivel freático y sin nivel freático. El caso de análisis de taludes con nivel freático se considerará la condición más desfavorable estimando la condición saturada del suelo.



2. CAPITULO SEGUNDO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

La inestabilidad de taludes se presenta cuando la superficie libre del terreno adopta cierta inclinación, naturalmente se ve sometido a fuerzas internas que tienden a nivelarla.

Se intentará valorar el grado de seguridad (FS) que tiene un talud determinado, dados los parámetros resistentes del suelo que lo compone y la geometría del mismo.

La forma de clasificar los distintos movimientos de masas de tierra depende si se trata de suelos o rocas. Por otra parte, en estas clasificaciones se considera el mecanismo y tipo de rotura, conjuntamente con otros aspectos, tales como el contenido de agua en el terreno, la velocidad y magnitud del movimiento sísmico, entre otros.

Los tipos de movimientos se pueden clasificar en deslizamientos, flujos y desprendimientos.

2.2 ELEMENTOS DEL TALUD

A continuación se presenta en la figura 2-1 los elementos que componen un talud, identificando la base, pie, coronamiento y círculo de rotura, además de identificar los parámetros resistentes del terreno como la cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ).

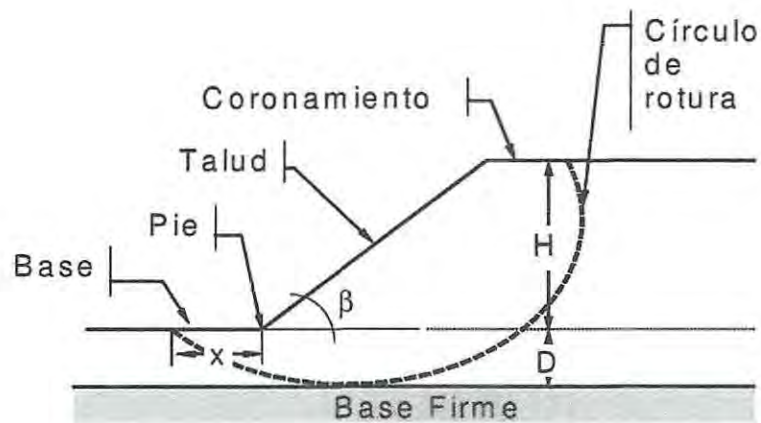


Figura 2-1 : Elementos del Talud

Donde,

H : Altura de talud

D : Profundidad de la superficie de rotura

x : Distancia de la base de superficie de rotura

β : Ángulo de inclinación del talud

2.3 TIPOS DE FALLA DEL TALUD

A continuación se identificarán los diferentes tipos de fallas que pueda presentar un talud, comúnmente éstas se presentan en dos tipos, rotura plana o circular.

Un deslizamiento rotacional es aquel en que la superficie de rotura es cóncava hacia arriba, por lo que el movimiento resultante se desarrolla en función de un eje de giro paralelo al plano de falla y transversal a la dirección de avance del suelo. Durante su desarrollo es posible observar una serie de grietas concéntricas y cóncavas, ubicadas en la dirección del movimiento.

En los deslizamientos el movimiento de la masa es el resultado de una falla de corte a lo largo de una o varias superficies. Se presenta en materiales con comportamiento elástico o semielástico. El tipo de superficie de deslizamiento para la cual se produce la falla depende, básicamente, del ángulo de inclinación del talud, de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno del suelo.

En términos generales, se puede hablar de dos tipos de rotura: plana y circular. La rotura plana o, modelo de talud infinito, es aquella en la cual la superficie potencial de falla (SPF) es paralela al talud y la longitud de este puede considerarse infinita con respecto al espesor de la masa que falla. En cambio, en la rotura circular o modelo de talud finito, la SPF corresponde al manto de un cilindro, quedando definida el tipo de círculo de falla por un radio y un centro. Este tipo de falla puede ser de talud, de pie o profundo así como se muestra en la figura 2-2.

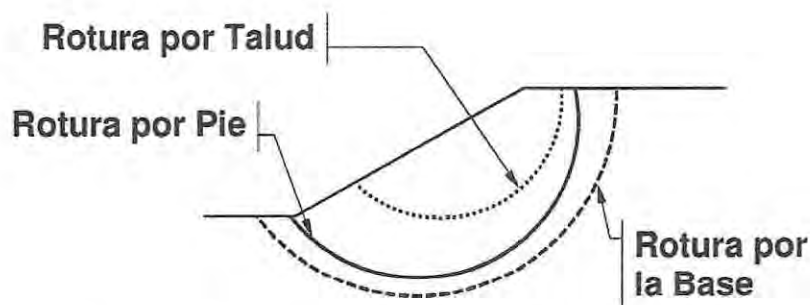
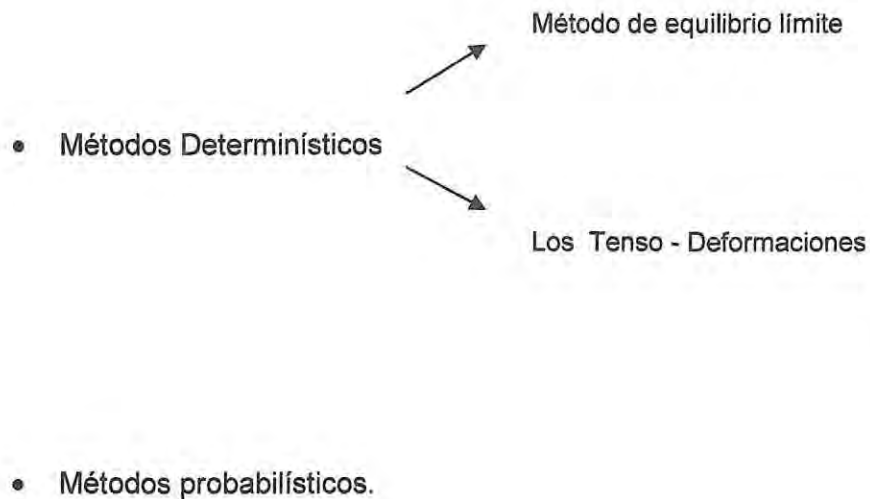


Figura 2-2 : Tipos de SPF en deslizamientos rotacionales

2.4 METODOLOGÍAS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES FINITOS

Los análisis de estabilidad en el caso de las laderas naturales tienen por objetivo estimar su nivel de seguridad y, según el resultado obtenido, implementar medidas correctivas o de estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos de masas.

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se pueden agrupar en dos:



Los más utilizados son los métodos de equilibrio límite, los cuales analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el criterio de rotura de Coulomb; y la definición de un factor de seguridad.

Existe una subdivisión para los métodos de equilibrio límite en función de la exactitud de los resultados, donde es posible encontrar el grupo de los métodos exactos y el de los no exactos. En el primer caso, las leyes de la estática entregan una solución exacta dada la geometría sencilla que tiene la masa de suelo que falla, por lo que allí se encuadra los cálculos realizados para roturas del tipo plano y las por cuñas. Por otro lado, en el segundo grupo, las soluciones de la estática no son suficientes y el problema se vuelve hiperestático, debiendo recurrir entonces a una hipótesis inicial o a alguna simplificación para resolverlo. En este tipo de casos se incluyen las roturas circulares que corresponden a las consideradas en la presente investigación.

Dentro de los métodos no exactos se encuentran aquellos que consideran completa la masa de suelo que desliza, con un todo, y son conocidos como métodos de estabilidad global de la masa de terreno; y, aquellos que dividen la masa deslizante en fracciones más pequeñas para simplificar el análisis, los cuales se denominan métodos de las dovelas.

El método de las dovelas se clasifica en,

- Métodos Precisos
 - Teoría de Morgenstern
 - Teoría de Price
 - Teoría de Spencer

- Métodos Aproximados
 - Teoría de Janbú
 - Teoría de Fellenius
 - Teoría de Bishop Simplificado.

Para el presente trabajo de título se describirán solo el método de las dovelas en su análisis aproximado considerando las hipótesis de Fellenius, Bishop simplificado y Janbú.

2.4.1 Método de Fellenius

En la figura 2-3 se muestra un talud con una superficie potencial de falla definida con el arco AB. La masa de suelo que se encuentra dentro de esta superficie de rotura es dividida en varias dovelas. El talud considerado debe ser sección transversal representativa de talud real, el que será estudiado por cada metro lineal.

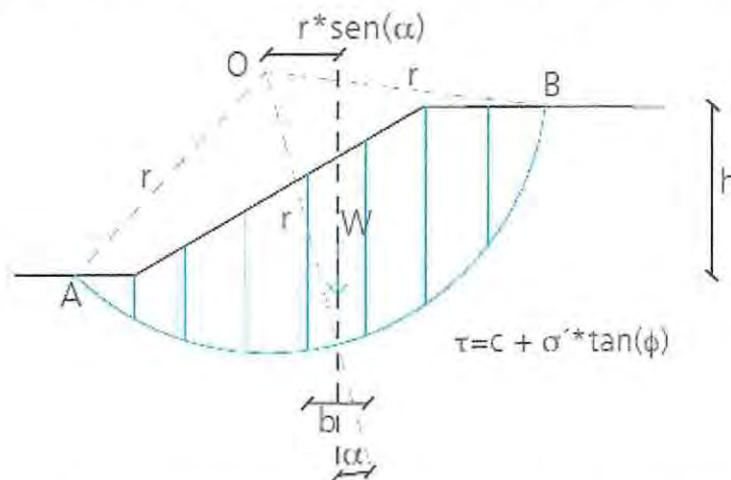


Figura 2-3 : Esquema de análisis de estabilidad de taludes - Método de Fellenius

Las fuerzas que actúan sobre el talud, se pueden apreciar en la figura 2-4, donde se toma una dovela como ejemplo:

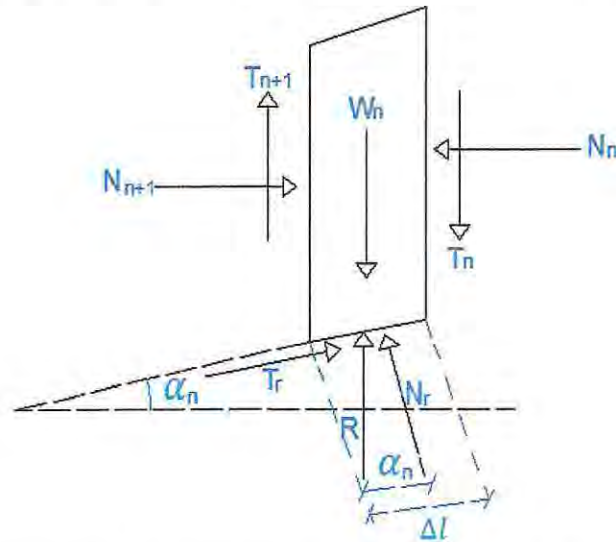


Figura 2-4 : Esquema de las fuerzas que actúan en la dovela - Método de Fellenius.

Donde,

- W_n : Resultante peso dovela
- R : Fuerza que actúa como reacción al peso de la dovela
- N_n y $N_{(n+1)}$: Fuerzas normales que actúan en cada lado de la dovela
- T_n y $T_{(n+1)}$: Fuerzas tangenciales que actúan en cada lado de la dovela
- N_r : Componente normal de la reacción R
- T_r : Componente tangencial de la reacción R

Como las fuerzas N_n , $N_{(n+1)}$, T_n y $T_{(n+1)}$ son complejas y difíciles de determinar, es posible tomar como consideración que las resultantes de N_n y T_n son iguales a las resultantes de $N_{(n+1)}$ y $T_{(n+1)}$, y que sus líneas de acción coinciden.

Entonces, por la consideración de equilibrio vertical tomada se tiene la ecuación 2.1:

$$Nr = Wn * \cos(\alpha n) \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Además, la resistencia al corte que ofrece el suelo, se escribe como lo indica la ecuación 2.2:

$$Tr = \tau * (\Delta l) = \frac{\tau * (\Delta l)}{FS} = \frac{1}{FS} * [c + \sigma' * \tan(\phi)] * \Delta l \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde el esfuerzo normal σ' , considerado en la ecuación 2.2, es igual a:

$$\frac{Nr}{\Delta l} = \frac{Wn * \cos(\alpha n)}{\Delta l} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Dentro de las características del método de Fellenius, está el hecho de que este satisface el equilibrio de momentos, por lo que al considerar esta condición, se tiene que el momento producto de las fuerzas movilizadas producido por el mecanismo de falla del talud, sobre el centro O del círculo de falla de la figura 2-4, es igual al momento que resulta de actuar de las fuerzas resistentes sobre O. Entonces se tiene,

$$\sum_{n=1}^{n=p} Wn * \sin(\alpha n) = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{FS} * [c + \frac{Wn * \cos(\alpha n)}{\Delta l} * \tan(\phi)] * \Delta l * r \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

De la ecuación 2.4 se desprende la ecuación 2.5:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c * \Delta l + Wn * \cos(\alpha n) * \tan(\phi)]}{\sum_{n=1}^{n=p} Wn * \sin(\alpha n)} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Para encontrar el FS del círculo de rotura crítico, es decir, el mínimo FS del talud, se deben realizar varios intentos reubicando el centro del círculo de falla.

$$\sum_{n=1}^{n=p} Wn * r * \sin(\alpha n) = \sum_{n=1}^{n=p} Tr * r \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde

$$Tr = \frac{1}{FS} * [c + \sigma' * \tan(\phi)] * \Delta l = \frac{1}{FS} * [c * \Delta l + Nr * \tan(\phi)] \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Al analizar el equilibrio de fuerzas verticales de cada dovela, es posible obtener el valor de las fuerzas N, para así reemplazarlas en ecuación 2.9 y obtener la ecuación 2.10.

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c * b + Wn * \tan(\phi) + \Delta T * \tan(\phi)] * \frac{1}{m\alpha(n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} [Wn * \sin(\alpha n)]} \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Donde,

$$m\alpha(n) = \cos(\alpha n) + \frac{\tan(\phi) * \sin(\alpha n)}{FS} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Este método considera dentro de sus hipótesis fundamentales, el hecho de que las fuerzas de contacto entre dos dovelas sí se toman en cuenta, pero no resultan influyentes, puesto que se encuentran equilibradas. para aspectos de cálculo, estas fuerzas se consideran igual a cero, con lo que la ecuación 2.10 se puede simplificar en la ecuación 2.12.

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c * b + Wn * \tan(\phi)] * \frac{1}{m\alpha(n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} [Wn * \sin(\alpha n)]} \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

Es posible notar que el valor de FS de la ecuación 2.12 no aparece de manera explícita, dado que se presenta a ambos lados de la ecuación, por lo que se debe realizar un proceso iterativo para poder encontrarlo.

2.4.3 Método de Janbú

La principal consideración de este método es que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, no tomando en cuenta las fuerzas cortante. A diferencia de los métodos anteriores, en este caso la SPF no debe ser obligatoriamente circular. Esto se refleja en la aplicación de un factor de corrección f_0 , el que depende netamente del nivel de curvatura que presente la superficie de rotura. Figura 2-6.

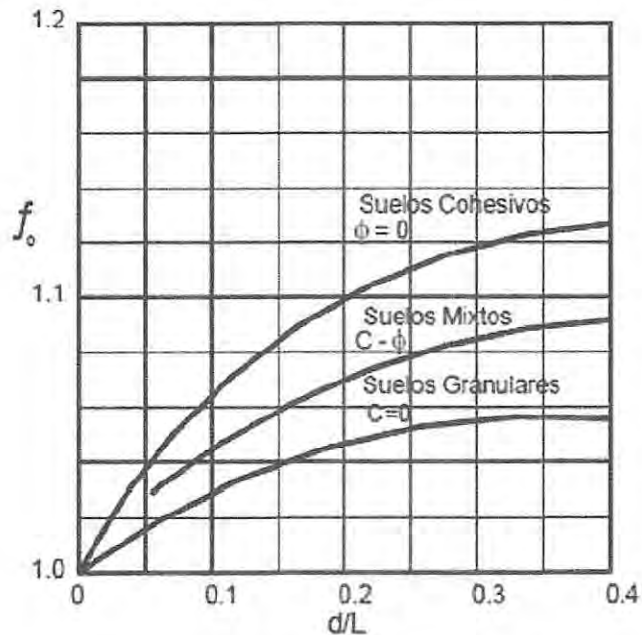


Figura 2-6 : Diagrama de factor f_0 utilizando el método de Janbú

Para determinar la estabilidad de un talud, Janbú considera el cálculo de un FS, el cual satisface el equilibrio de esfuerzos según la ecuación 2.13.

$$FS = \frac{f_0 * \sum \left\{ [c * b + W * \tan(\phi)] * \frac{1}{\cos(\alpha)^{m+a}} \right\}}{\sum W * \tan(\alpha)} \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Para efectos de este trabajo de título se considera utilizar el método planteado por Bishop ya que resulta ser el más conservador de todos. Esto se puede explicar debido a que es uno de los métodos que más simplificaciones considera en el cálculo.

2.5 CONDICIÓN DRENADA Y NO DRENADA

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas, trayendo como consecuencias la inestabilidad de ellos, si la causa es por cambios de carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior.

La condición drenada o no drenada depende de la velocidad con que el agua puede moverse hacia adentro o hacia fuera en el suelo comparado con el tiempo en que el suelo soporta un cambio de carga. La clave es el determinar si la carga es capaz o no de producir presiones de poro.

Se dice que una condición es drenada cuando el agua es capaz de fluir hacia afuera o hacia adentro de la masa de suelo cuando es sometida a una carga y no se producen presiones de poro debido a que el agua se puede mover libremente al aumentar o disminuir el volumen de vacíos como respuesta a un cambio en las condiciones de carga (Jaime Suarez, 2002).

Se dice que una condición es no drenada cuando el agua no es capaz de fluir en el momento en el cual el suelo es sometido a una carga y se produce entonces, presión de poros; debido a que el agua no se puede mover libremente como respuesta a la tendencia al cambio del volumen de vacíos por acción de la carga.

Si la carga se aplica muy rápidamente y la permeabilidad del suelo es baja, se puede producir una condición no drenada, pero si se aplica lentamente o la permeabilidad del suelo es alta, se produce una condición drenada.

Condición Drenada

Para determinar las condiciones de drenaje se utilizará la ecuación 2.14.

$$T = \frac{C_v * t}{D^2} \quad \text{(Ecuación 2.14)}$$

Donde:

T	=	Factor adimensional
C_v	=	Coefficiente de consolidación
t	=	Tiempo de drenaje
D	=	Longitud del camino de drenaje o distancia de salida del agua al cambio de presiones.

Condiciones

Si T es mayor de 3 la condición es drenada.

Si T es menor de 0,01 la condición es no drenada.

Si T está entre 0,01 y 3,0 ocurre drenaje parcial durante el tiempo de cambio de cargas. En este caso deben analizarse ambas condiciones. El caso drenado y el caso no drenado.

2.6 ESFUERZOS TOTALES O EFECTIVOS

Se define como esfuerzo a la fuerza por unidad de área. Una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y también por la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos y los esfuerzos hidrostáticos del agua, se les denomina presión de poros. (Jaime Suarez, 2002)

$$Esfuerzo\ total = \frac{Esfuerzo\ efectivo + presión\ de\ poros}{Area\ Total} \quad (Ecuación\ 2.15)$$

Los problemas de estabilidad de taludes pueden analizarse suponiendo sistemas de esfuerzos totales o efectivos. En principio, siempre es posible analizar la estabilidad de un talud utilizando el método de presión efectiva, porque la resistencia del suelo es gobernada por las presiones efectivas tanto en la condición drenada, como en la condición no drenada.

Pero en la práctica sin embargo es virtualmente imposible determinar con precisión cuales son los excesos de presión de poro que se van a generar por los cambios en las cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel de agua). Debido a esta razón no es posible desarrollar análisis precisos de estabilidad en estas condiciones, utilizando procedimientos de esfuerzos efectivos. Sin embargo, se puede trabajar todo el análisis utilizando presiones efectivas, sin que se requiera especificar los valores de los excesos de poro en las condiciones no drenadas.

2.7 RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia al corte se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar. La estabilidad de un talud no puede analizarse sin un conocimiento apropiado de los valores de resistencia al corte independientemente del método de análisis que se utilice. Existen varios ensayos de laboratorio para medir la resistencia y deformación de suelos. Puesto que el modo fundamental de rotura es por esfuerzos de corte, el objetivo fundamental es hacer actuar esfuerzos tangenciales sobre la probeta. Hay dos tipos de ensayos,

2.7.1 Ensayo de corte directo

Se tiene un molde, como el de la figura N° 2-7, con una determinada masa de suelo en su interior, sobre la tapa se aplica una carga vertical que, repartida en el área de la probeta, supone una tensión normal σ_z . A continuación, se aplica una carga horizontal, que supone una tensión tangencial T_{xz} , de forma que se produzca el deslizamiento entre las dos partes de la muestra (para ello es indiferente que la parte inferior sea fija y la superior móvil, o viceversa, habiendo aparatos de los dos tipos). Durante el ensayo se miden los desplazamientos relativos (horizontal, d_x , y vertical, d_z) entre las dos mitades de la muestra.(9)

El objetivo del ensayo es mantener constante la tensión normal y aumentar la tangencial hasta rotura. Por ello, la carga vertical suele aplicarse mediante sistemas de tensión controlada (lo más usual es mediante pesas). En cambio, para la tensión tangencial es más conveniente aplicarla como deformación controlada, haciendo deslizar la probeta a una velocidad constante, mediante un gato de empuje, y medir la carga horizontal que se aplica en cada momento.(9)

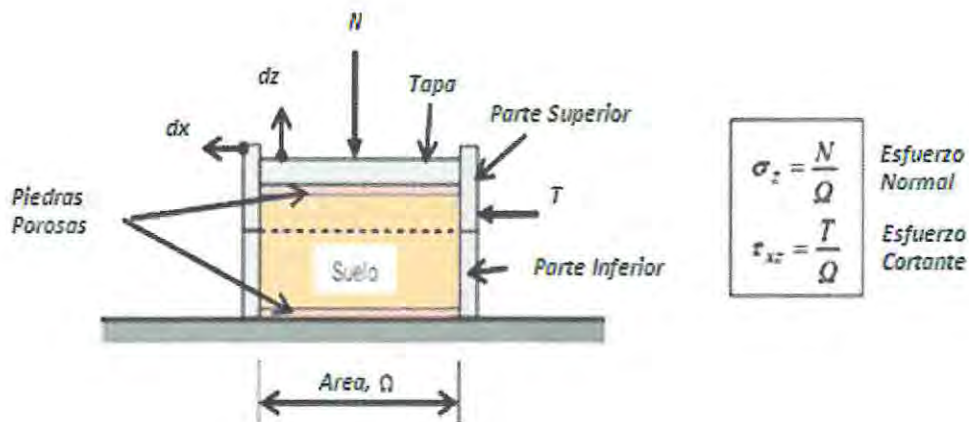


Figura 2-7 : Disposición de la muestra Fuerza y Desplazamiento

Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área de la muestra o de la caja de corte y deberían satisfacer la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma n * \tan\phi \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Donde,

τ	=	Resistencia cortante
c	=	Cohesión
σn	=	Esfuerzo Normal
ϕ	=	Angulo de fricción interna

Según la ecuación 2.16 la resistencia al corte depende de la cohesión (c) y la fricción interna del suelo (ϕ).

Al aplicar la fuerza horizontal, se miden las deformaciones y con estos valores se grafica la tensión de corte (τ), en función de la deformación (ϵ) en el plano de esta tensión de corte. De la gráfica es posible tomar el punto máximo de tensión de corte como la resistencia al corte del suelo.

Los valores de (τ) se llevan a un gráfico en función del esfuerzo normal (σn), obteniendo la recta intrínseca (figura 2-8), donde (τ) va como ordenada (eje y) y (σ) como abscisa (eje x). El ángulo que forma esta recta con el eje horizontal es el ángulo (ϕ) y el intercepto con el eje y (τ), la cohesión (c).

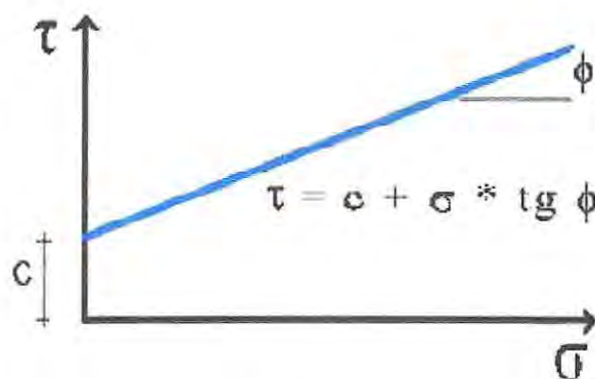


Figura 2-8 : Recta Intrínseca

Los ensayos de corte directo en laboratorio se pueden clasificar en tres tipos según exista drenaje y/o consolidación de la muestra, por lo tanto los valores de c y ϕ dependen esencialmente de la velocidad del ensayo y de la permeabilidad del suelo, estos son:

- Ensayos con drenaje (D), realizables en todo tipo de suelos, con las precauciones comentadas sobre la velocidad de carga e inundación de muestra para suelos finos.
- Ensayos consolidados sin drenaje (CU), en los que la carga normal se aplica con drenaje, esperando el tiempo preciso para la consolidación, y la tangencial sin drenaje. En este aparato sólo son posibles en suelos relativamente impermeables (arcillas).
- Ensayos sin drenaje (U), en los que tanto la carga normal como la tangencial se aplican sin drenaje. Se trata de ensayos posibles, pero en principio sin sentido práctico, ya que la aplicación de la tensión normal no produce efecto alguno.

2.7.2 Ensayo Triaxial

El objetivo fundamental del ensayo es aplicar tensiones normales diferentes en direcciones horizontal y vertical, sobre una probeta cilíndrica. De esta forma, el estado de tensiones tiene simetría de revolución, es decir, las tensiones (y deformaciones) son iguales en todas las direcciones horizontales. Al mismo tiempo, se controlan el drenaje y la medida de presiones intersticiales.

Consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal ó axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produzca la falla. Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr (Figura N° 2-10) que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a éstos, se determinan los parámetros c y ϕ del suelo. Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajará, las alternativas para realizar el ensayo serán consolidado no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD). (9)

La figura 2-9, representa un esquema de la cámara triaxial,

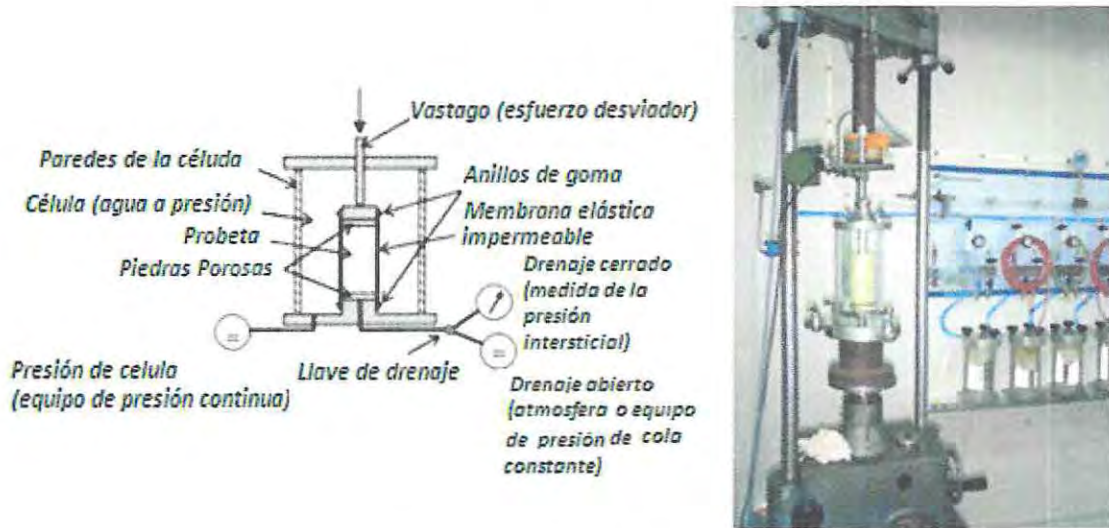


Figura 2-9 : Célula Triaxial

En la figura 2-10 se presentan la gráfica de los resultados de la prueba triaxial tipo que determina los parámetros de corte, cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ).

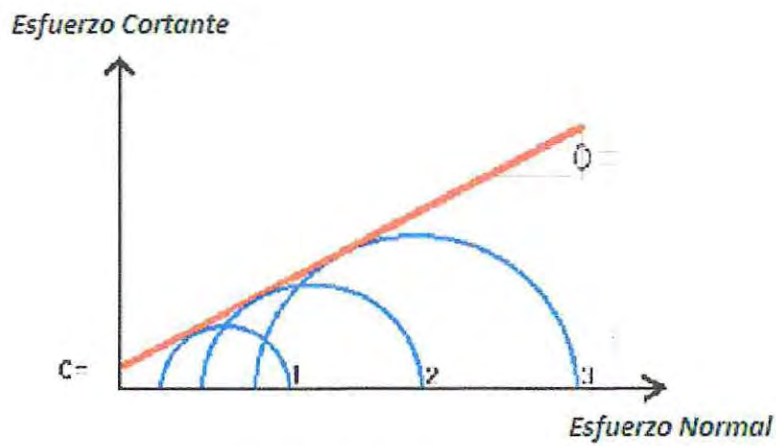


Figura 2-10 : Gráfica tipo ensayo triaxial

2.8 PARÁMETROS BÁSICOS DE LOS SUELOS

2.8.1 Ensayos Granulométricos

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. Este ensayo es regulado bajo la norma NCh 165 (LNV 105-86).

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos de orden decreciente.

Para suelos con tamaño de partículas mayores 0.08 mm se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración indicado en la tabla 2-1 Para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método de hidrómetro, basado en la ley Stokes.

Tabla 2-1 : Numeración y abertura de tamices
Fuente : Manual de Carreteras Volumen 8 Sección 8.102.1

Tamiz (ASTM)	Tamiz (Nch) (mm.)	Abertura real (mm.)	Tipo de suelo
3 "	80	76,12	} GRAVA
2 "	50	50,80	
1 1/2 "	40	38,10	
1 "	25	25,40	
3/4 "	20	19,05	
3/8 "	10	9,52	} ARENA GRUESA
N° 4	5	4,76	
N° 10	2	2,00	} ARENA MEDIA
N° 20	0,90	0,84	
N° 40	0,50	0,42	
N° 60	0,30	0,25	} ARENA FINA
N° 140	0,10	0,105	
N° 200	0,08	0,074	

Procedimiento del Ensayo

- Se determina y pesan 1000 grs. de material en estado seco.
- Se procede a tamizar las partículas gruesas comenzando por la malla N° 4, registrando la masa del material retenido en ella en ambas fracciones. Según lo que indica NCh 165 of 77 este procedimiento se realiza cuando una muestra de arena contenga una fracción de grava superior al 15%.
- Luego, el material retenido sobre la malla N° 4, es tamizada por las mallas 3/8" y 3/4" para determinar el tamaño máximo nominal del árido y verificar si la masa

total de la muestra corresponde a lo normalizado. Se registran las masas. Según la NCh 1223 of 77 para un tamaño máximo nominal de 20 mm. la cantidad de la muestra a analizar debe ser 2500 grs.

- Se coloca todo el material que pasa bajo la malla N° 4 en un recipiente y se agrega agua.
- El recipiente con la mezcla es llevada a una cocinilla, dejándolo allí hasta que hierva y siendo constantemente revuelta con una cuchara.
- Nuevamente se agrega agua para enfriar la mezcla y lavar las partículas. Para el lavado se vacía toda la muestra sobre la malla N° 200 para retener el fino. Este proceso se realiza hasta que el agua permanezca limpia y clara.
- La muestra una vez lavada, se seca en una cocinilla. Este procedimiento debe ser lento con el fin de no alterar la presencia de materia orgánica si la hubiese. Según establece la norma NCh 165 of 77, las partículas se deben secar a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Finalmente se procede a tamizar la muestra lavada, desde malla N° 1 a N° 200 Registrando la masa del material retenido en cada una de ellas.



Figura 2-11 : Fotografías referenciales ensayos granulométricos

2.8.2 Peso Específico de los Sólidos

Al analizar cualquier clase de material, es necesario saber su peso unitario, el cual depende del peso específico (densidad) de sus elementos constituyentes, de su porosidad y de la cantidad de agua contenida en sus poros. El peso específico está definido como el cociente entre la densidad del suelo y la densidad del agua a una temperatura determinada (ecuación 2.17). Las masas se extraen en gramos y los volúmenes en centímetros cúbicos. Un centímetro cúbico de agua a la temperatura de 4 °C tiene una masa de 1 grs. Podemos referir el peso unitario de una sustancia porosa a su estado como seca, saturada, parcialmente saturada e inmersa (sumergida y pesada en agua).

$$\gamma = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Donde

γ	=	Peso específico
ρ_s	=	Densidad del suelo
ρ_w	=	Densidad del agua

La densidad de las partículas se considera como el cociente entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada. Se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm³)

La densidad de las partículas sólidas o densidad neta es aquella en que se considera el volumen macizo de las partículas más el volumen de los poros inaccesibles y puede determinarse en laboratorio como sigue:

- La muestra se seca en horno a 110 ± 5 °C, se deja enfriar y se pesa.
- Se sumerge por completo en agua durante 12 a 24 horas
- Se pesa sumergida en agua

Para determinar la densidad de las partículas sólidas, cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5 mm, se separa el tamiz de 5 mm (ASTM N° 4) el material, se determina y se registran los porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensayos por separado con el método correspondiente. El resultado es el promedio ponderado de ambas fracciones.

$$\rho_s = [\rho_s (\text{bajo malla N° 4}) \cdot \% (\text{pasa malla N° 4})] + [\rho_s (\text{sobre malla N° 4}) \cdot \% (\text{retenido malla N° 4})] \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

2.8.3 Ensayo capacidad de soporte del suelo "CBR"

El ensayo CBR mide la resistencia del suelo, cuando es sometido a esfuerzos cortantes y evalúa la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Este ensayo se realiza a suelos compactados en laboratorio, con humedad óptima y niveles de compactación variables.

Procedimiento del ensayo

Para cada molde se realiza lo siguiente:

- Se coloca el disco espaciador sobre la placa base y se fija el molde.
- Luego ponemos un disco de papel filtro sobre el espaciador.
- Se comienza a llenar el molde en 5 capas, igual que en ensayo de Proctor modificado, para luego compactarlas.
- Colocada la última capa se procede a sacar el collarín y ensayar cuidadosamente la muestra de cada molde.
- Luego, se rellenan los huecos de la superficie con material bajo malla 5 mm.
- A cada molde se le aplican diferentes energías (golpes). Al primero se le aplican 56, al siguiente 25 y al último 10 golpes.
- Con el material que queda en la paila, se procede a sacar una muestra representativa para obtener la humedad.
- Se saca la placa base perforada y el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado.
- Se determina la densidad de la muestra antes de inmersión (ρ) dividiendo la masa de suelo compactado (M) por la capacidad volumétrica del molde (V), según la ecuación 2.19.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

- Luego se coloca un disco de papel filtro sobre la superficie enrasada, invierte el molde y fíjelo a la placa base perforada, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

- Se colocan los moldes con sus respectivas cargas en una superficie plana, se acomoda el aparato de expansión a cada uno de los moldes y se toman las lecturas iniciales de expansión o hinchamiento.
- Se colocan los moldes en el contenedor de agua por un periodo de 7 días.
- Luego se agrega agua lentamente para no producir movimientos que desajusten el trípode de expansión, permitiendo el libre acceso de ésta a las probetas, las que debe dejar sumergidas
- Pasados los 7 días, se sacan los moldes del agua y se toman las lecturas finales de expansión a cada uno. Se calcula el porcentaje de expansión refiriendo dichas lecturas a la altura inicial de éstas. Ecuación 2.20.

$$e = \frac{\Delta h}{h_i} * 100 (\%) \quad ; \quad \Delta h = (h_f - h_i) \quad \text{(Ecuación 2.20)}$$

Donde:

- e : % expansión
- Δh : expansión o hinchamiento de la probeta (mm)
- h_i : altura inicial de la probeta (mm)
- h_f : altura final de la probeta (mm)

- Se saca el agua libre y se deja drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Para eliminar el agua superficial se inclina la probeta.

Procedimiento de ensayo penetración.

Después de drenar el molde se sigue el siguiente procedimiento:

- Se pesa el molde con el suelo sumergido.
- Se determina la densidad de la muestra después de inmersión (ρ) dividiendo la masa de suelo sumergido (m) por la capacidad volumétrica del molde (v).
- Se apoya el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder de 45 N.
- Se colocan los diales de tensión y deformación en cero.
- Se aplica la carga en el pistón de penetración de manera que la velocidad sea constante.

- Se anotan las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,025 – 0,050 – 0,075 – 0,100 – 0,125 – 0,150 – 0,175 – 0,200 – 0,300 pulgadas, cada 30 segundos.
- Se saca el suelo del molde y se determina la humedad después de la penetración.



Figura 2-12 : Fotografías referenciales ensayo CBR

3. CAPITULO TERCERO

Este capítulo muestra la distribución de los suelos que componen la región de Valparaíso, se muestra una síntesis de los tipos de suelos que existen y además los que se estudiarán en el presente trabajo de título.

3.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS BÁSICAS REGIONAL DE VALPARAÍSO

Esta región se divide en ocho provincias según la figura 3-1 que a continuación se indica:

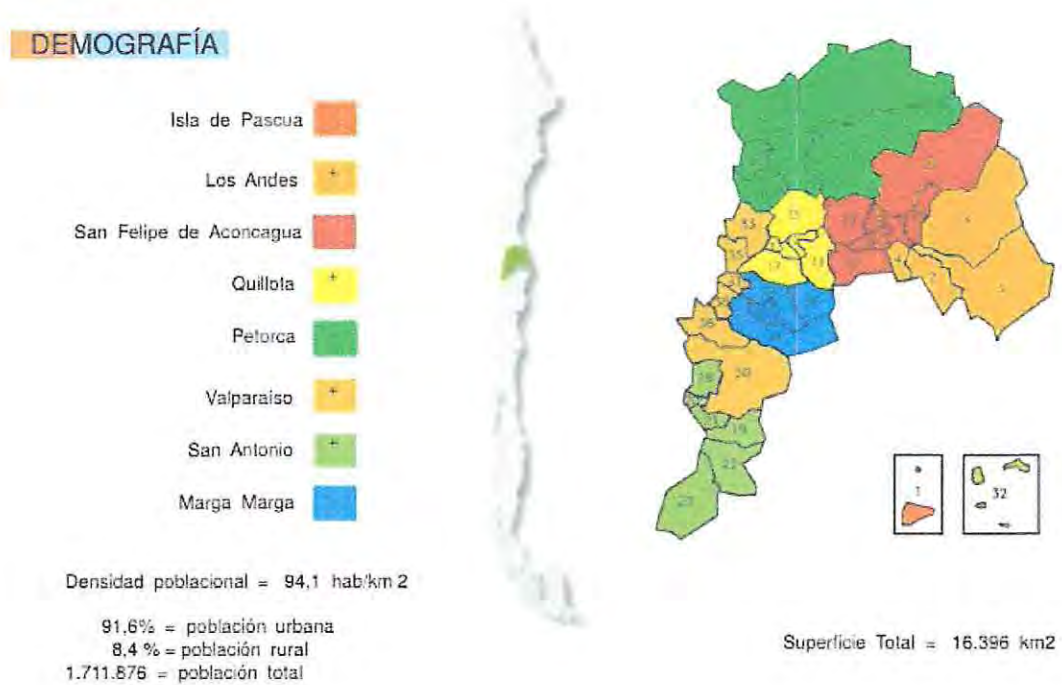


Figura 3-1 : Provincias Región de Valparaíso

3.2 SUELOS

A continuación se muestra la caracterización de los tipos de suelos presentes en las provincias de la región de Valparaíso.

3.2.1 Clasificación

Los suelos en la región se clasifican según,

a) Suelos Orgánicos:

- Proviene de organismos vivos, principalmente de restos de plantas.
- Tienen colores oscuros y parduscos y los caracteriza su color (olor a humedad fuerte o descomposición).
- Son muy compresibles y sufren grandes cambios de volumen con los cambios de humedad.
- En general no son aptos para fundar. De usarse debe considerarse condiciones especiales de diseño.

Los suelos orgánicos se pueden distinguir en Limos Orgánicos, Arcillas Orgánicas y Turbas, estos suelos se encuentran presentes en la Región de Valparaíso como se indica en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 : Suelos Orgánicos Región de Valparaíso

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Limos orgánicos	Color gris a gris oscuro	
Arcillas orgánicas	Color gris oscuro a negro En estado seco tienen resistencia muy alta, no así en saturado donde además son muy compresibles.	
Turbas	Agregados fibrosos de fragmentos macro y microscópicos de material orgánico descompuesto.	

b) Suelos de grano grueso

Estos suelos generalmente se forman en las laderas de Ríos y se especifican según su tamaño como se muestra en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 : Suelos de grano grueso

TIPO DE SUELO	TAMAÑO (mm)	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
Bloques	> 250		Son los mejores tipos de suelos
Bolones	75 a 250		Su resistencia está dada principalmente por la fricción entre sus partículas (φ)
Gravas	4,76 a 75 mm	Agregados sin cohesión de fragmentos granulares poco o no alterados, de roca y minerales	Tienen resistencia elevada, son muy permeables y no tienen problemas de hielo - deshielo
Arenas	0,074 a 4,76	Partículas de roca sin cohesión. Su estabilidad depende de la compactación.	Su estabilidad es función de la compactación.

La región contempla numeroso curso de agua, debido principalmente a su relieve y precipitaciones. Los principales son los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua y la desembocadura del Río Maipo en el extremo meridional de la provincia de San Antonio. El Río Aconcagua que atraviesa de este a oeste la Región de Valparaíso cuya desembocadura ocurre al norte de la ciudad de Concón. El río la Ligua se localiza al sur del río Petorca, desembocando juntos en la bahía de la Ligua. La figura 3-2 muestra una imagen representativa de suelos granulares gruesos.



Figura 3-2 : Suelos Granulares Grueso

Se encuentran presentes bancos de arena de duna en la provincia de Valparaíso, en el sector de Concón, en la provincia de San Antonio, en los sectores de San Sebastián, Cartagena y Santo Domingo. También se encuentran presente en el plan de Viña del Mar, debido a la desembocadura del estero Marga Marga que lo hace cruzando toda la ciudad.



Figura 3-3 : Arena Duna - Sector Concón



Figura 3-4 : Arena Duna - Sector Cartagena

Las arenas limosas las encontramos en todos los alrededores de los cerros de Valparaíso, caminos secundarios como por ejemplo el camino Lo Orozco, camino que une la Ruta 68 con el Troncal Sur a la altura de Villa Alemana, camino a Quillota, autopista Los Andes, Ruta 68, enlace Algarrobo. Comúnmente se les denomina Maicillo.



Figura 3-5 : Arena Limosa - Sector Casablanca



Figura 3-6 : Arena Limosa - Camino Lo Orozco



Figura 3-7 : Arena Limosa - Sector Quillota

c) Suelos de grano fino

Principalmente se pueden caracterizar por su grado de plasticidad y por su capacidad resistente. Su clasificación se presenta en la tabla N° 3-3.

Tabla 3-3 : Suelos de grano fino

TIPO DE SUELO	TAMAÑO (mm)	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
Limos Orgánicos	< 0,074	<p>Suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad.</p> <p>A causa de su textura áspera pero no granular, se confunden con arcillas y arenas finas.</p> <p>En estado seco son muy frágiles.</p>	Su resistencia depende principalmente de la cohesión de partículas (c).
Arcillas Inorgánicas	<0,074	<p>Agregados de partículas pequeñísimas derivadas de la descomposición química de las rocas, plásticas dentro de límites extensos en contenido de humedad.</p> <p>Su comportamiento varía en presencia de agua:</p> <p>En estado seco son muy duras, tal que no es posible despegar polvo de una pasta frotada con los dedos.</p> <p>Al estar empapadas en agua, pierden su cohesividad, formando una masa blanda incapaz de resistir carga.</p> <p>Tienen permeabilidades muy bajas.</p>	Su capacidad resistente depende de la presencia de agua.

3.3 PROCEDIMIENTO Y MEDIDAS DE IDENTIFICACIÓN

En la tabla 3-4 se muestra un resumen del procedimientos y medidas de identificación que se deben realizar insitu para poder cumplir con una clasificación visual de un determinado suelo.

Tabla 3-4 : Procedimientos y medidas de identificación de un suelo

ENSAYO	PROCEDIMIENTO Y MEDIDAS DE IDENTIFICACIÓN
Rotura o Resistencia Seca	<ul style="list-style-type: none"> - Una resistencia media, indica una arcilla inorgánica de plasticidad baja a media. Se requiere una considerable presión de los dedos para pulverizarla - Una resistencia alta indica una arcilla de alta plasticidad. La muestra seca sólo puede ser rota pero no pulverizada con los dedos.
Plasticidad	<ul style="list-style-type: none"> - Se prepara una muestra húmeda, sin partículas gruesas. Se amasa en la mano en forma de bastoncitos. Si es posible amasarla sin desmenuzarla, indica que el suelo es plástico (bastoncitos de diámetro 3 mm) - La arcilla de alta plasticidad forma un cilindro tenaz que puede ser remodelado por debajo del límite plástico, y deformarse sin que se desmenuze. - El suelo de mediana plasticidad, forma un cilindro de moderada tenacidad, sin embargo la masa se desmenuza luego de alcanzar el límite plástico. - El suelo de baja plasticidad forma un cilindro débil, que no puede ser amasado por debajo del límite plástico.
Olor	- Los suelos orgánicos tienen un olor característico (humedad fuerte o descomposición). El olor puede hacerse mas manifiesto calentando una muestra húmeda
Color	- En general los tonos oscuros de los colores, gris pardo o negro indican suelos orgánicos
Brillo	- Se frota una muestra seca o ligeramente húmeda con la uña del dedo o con la hoja de una navaja. Una superficie brillante indica una arcilla muy plástica, una superficie mate indica un limo o una arcilla de baja plasticidad.
Tacto	<p>Arena : Tacto granular</p> <p>Limo : Textura áspera pero no granlar. Se seca rápidamente y puede reducirse a polvo fácilmente, dejando sólo una mancha.</p> <p>Arcilla : Tacto grasoso suave, se pega en los dedos, y se seca lentamente.</p>

3.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS USCS

3.4.1 Sistema de clasificación USCS para suelos gruesos

En la tabla 3-5 se establece el sistema de clasificación USCS correspondiente a la identificación de cada suelo según el tipo, sean gravas o arenas. La tabla 3-6, entrega la información correspondiente al nombre que se utiliza según el símbolo de la clasificación USCS.

Tabla 3-5 : Clasificación USCS - Suelos Gruesos
Sistema de clasificación USCS

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS						
GRUESOS (< 50% Pasa 0,08 mm)						
Tipo Suelo	Símbolo	% retenido en 5 mm	% Pasa en 0,08 mm	CU	CC	IP
Gravas	GW	≥ 50% de la ret. En 0,08 mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≥ 4	< 1 ó > 3	
	GM		> 12			< 0,73 (WL-20) ó < 4
	GC					> 0,73 (WL-20) y > 7
Arenas	SW	≥ 50% de la ret. En 0,08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	< 1 ó > 3	
	SM		> 12			< 0,73 (WL-20) ó < 4
	SC					> 0,73 (WL-20) y > 7

3.4.2 Nombres de suelo según clasificación USCS para suelos gruesos

Tabla 3-6 : Clasificación USCS - Suelos Gruesos
Sistema de clasificación USCS

Símbolo del grupo	Nombres Típicos
GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos.
GP	Gravas mal graduadas, mezcla de arena y grava con pocos finos o sin ellos.
GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava arena y limo.
GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla.
SW	Arenas bien graduadas, arenas con gravas o finos o sin ellos
SP	Arenas mal graduadas, arena con grava, con pocos finos o sin ellos.
SM	Arenas limosas, mezclas de arenas y limos mal graduados.
SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas.

3.4.3 Sistema de clasificación USCS para suelos finos

En la tabla 3-7 se establece el sistema de clasificación USCS correspondiente a la identificación de cada suelo según el tipo ya sean limos o arcillas. La tabla 3-8, entrega la información correspondiente al nombre que se utiliza según el símbolo de la clasificación USCS.

**Tabla 3-7 : Clasificación USCS - Suelos Finos
Sistema de clasificación USCS**

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS			
FINOS (>= 50% Pasa 0,08 mm)			
Tipo Suelo	Símbolo	Lim. Liq WL	Índice de Plasticidad (IP)
Limos	ML	< 50	< 0,73 (WL-20) ó < 4
Inorgánicos	MH	> 50	< 0,73 (WL-20)
Arcillas	CL	< 50	> 0,73 (WL-20) y > 7
Inorgánicas	CH	> 50	> 0,73 (WL-20)
Limos o Arcillas	OL	< 50	** WL seco al horno ≤ 75% del WL seco al aire
Orgánicas	OH	> 50	
Altamente Orgánicas	Pt	Materia orgánica fibrosa, se carboniza, se quema o se pone incandescente	

* Si IP = 0,73 (WL-20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73 (WL-20), usa símbolo doble:
CL-ML, CH-OH

* Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WL seco al horno

En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica. Ej.: CH-MH en vez de CL-ML

Si WL = 50; CL - CH o ML-MH

3.4.4 Nombre de suelo según clasificación USCS para suelos finos

**Tabla 3-8 : Clasificación USCS - Suelos Finos
Sistema de clasificación USCS**

Símbolo del grupo	Nombres Típicos
ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas con ligera
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas,
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con distomeas, limos elásticos
CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media o alta
Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.

3.5 SUELOS EN ANÁLISIS

Los suelos dispuestos para su análisis en laboratorio corresponden a los siguientes:

- Arenas Limosas
- Arenas de Dunas
- Limos

Las muestras se clasifican según el tipo de suelo, las tablas que a continuación se indican, identifica cada muestra con su respectivo detalle, cabe destacar que de cada muestra se extrajeron 3 testigos, se realiza una descripción visual del suelo y una distribución aproximada de los granos, para las arenas no se encuentra presencia de materia orgánica y se realiza la clasificación USCS correspondiente.

Se realiza la toma de muestra con su respectiva identificación, se nombra la primera de ellas como "UU1" terminando con la muestra "UU30", de los tres tipos de suelos analizados en este trabajo de título, las que corresponden a arenas limosas, arenas de duna y limo se muestran en las tabla 3-9, 3-10 y 3-11 respectivamente, aquellas muestras que no se encuentran en estas tablas fueron descartadas antes de ser ensayadas debido a que hubo una mala manipulación de ellas, deteriorándose por lo cual ya no eran representativas del suelo estudiado.

A continuación se muestran la tabla 3-9, 3-10 y 3-11 de la identificación de cada suelo.

Tabla 3-9 : Identificación de Muestras - Arenas Limosas

TIPO DE SUELO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	CANTIDAD TESTIGOS	DESCRIPCIÓN VISUAL								
			PLASTICIDAD	TAMAÑO MAX. (mm)	Distribución Aproximada de Granos			COLOR	OLOR	MATERIA ORGANICA	CLASIFICACIÓN USCS
					GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)				
A r e n a	UU-5	3	NP	5	0	85	15	Café Claro	Sin olor	NP	SM (ML)
	UU-9	3	NP	5	0	80	20	Gris	Sin olor	NP	SM
	UU-12	3	NP	5	0	90	10	Café Verdoso	Sin olor	NP	SP-SM
	UU-20	3	NP	50	30	65	5	Café	Sin olor	NP	SW-SM
L i m o s a	UU-11 Tipo Maicillo	3	NP	10	0	80	20	Café Claro	Sin olor	NP	SW-SM
	UU-23 Tipo Maicillo	3	NP	20	20	70	10	Amarillo	Sin olor	NP	SW-SM
	UU-25 Tipo Maicillo	3	NP	10	20	65	15	Amarillo Grisáceo	Sin olor	NP	SM
	UU-29 Maicillo fino	3	NP	5	0	85	15	Amarillo	Sin olor	NP	SM

Tabla 3-10 : Identificación de Muestras Arena Duna

TIPO DE SUELO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	CANTIDAD TESTIGOS	DESCRIPCIÓN VISUAL								
			PLASTICIDAD	TAMAÑO MAX. (mm)	Distribución Aproximada de Granos			COLOR	OLOR	MATERIA ORGANICA	CLASIFICACIÓN USCS
					GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)				
A r e n a	UU24	3	NP	2	0	100	0	Café	Sin olor	NP	SP
	UU26	3	NP	2	0	95	5	Café Oscuro	Sin olor	NP	SP
	UU27	3	NP	2	0	90	10	Café	Sin olor	NP	SP-SM
	UU28	3	NP	10	5	90	5	Gris	Sin olor	NP	SP

Tabla 3-11 : Identificación de Muestras - Limo

TIPO DE SUELO	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	CANTIDAD TESTIGOS	DESCRIPCIÓN VISUAL								
			PLASTICIDAD	TAMAÑO MAX. (mm)	Distribución Aproximada de Granos			COLOR	OLOR	MATERIA ORGANICA	CLASIFICACIÓN USCS
					GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)				
L I M O	UU-1	3	7	0,5	0	5	95	Negro	Presencia	Presencia	MH
	UU-2	3	7	2	0	5	95	Café Rojizo	Sin olor	NP	MH
	UU-3	3	6	2	0	10	90	Café Rojizo	Presencia	NP	MH
	UU-4	3	5	0,5	0	5	95	Café Rojizo	Sin olor	NP	MH
	UU-6	3	5	0,5	0	10	90	Café	Sin olor	NP	MH
	UU-8	3	6	0,5	0	10	90	Café	Presencia	Presencia	MH

4. CAPITULO CUARTO

4.1 ENSAYO TRIAXIAL - METODOLOGÍA UTILIZADA

En este capítulo se explicara el análisis de datos de los ensayos triaxial realizados a las muestras extraídas en terreno.

Este ensayo proporciona la mejor estimación de los parámetros de corte, pero a su vez requiere un equipo más sofisticado, siendo por tanto un ensayo más caro pero con las siguiente ventajas:

- Durante el ensayo pueden medirse las presiones intersticiales que se generan al cargar la probeta.
- El plano de falla no está predeterminado como ocurre en el ensayo de corte directo.

La muestra que se ensaya es una probeta cilíndrica que puede ser de diferentes tamaños, pero guardando una relación altura/diámetro, comprendida entre 2 y 3. Las dimensiones de las probetas, para las arenas limosas, para arenas de dunas y para limos son de diámetro 50 mm y altura inicial 100 mm, con un margen de error de 5 mm en la muestra extraída. Cabe destacar que una vez consolidada la probeta, la altura inicial disminuye en un rango de 0 a 20 mm.

La probeta se envuelve en una membrana de caucho y se introduce en una célula triaxial. El espacio comprendido entre la probeta y la célula se llena de agua a la que se le comunica una determina presión de confinamiento (σ_3) que se transmite por igual a la probeta de suelo, midiéndose dicha presión mediante un manómetro.



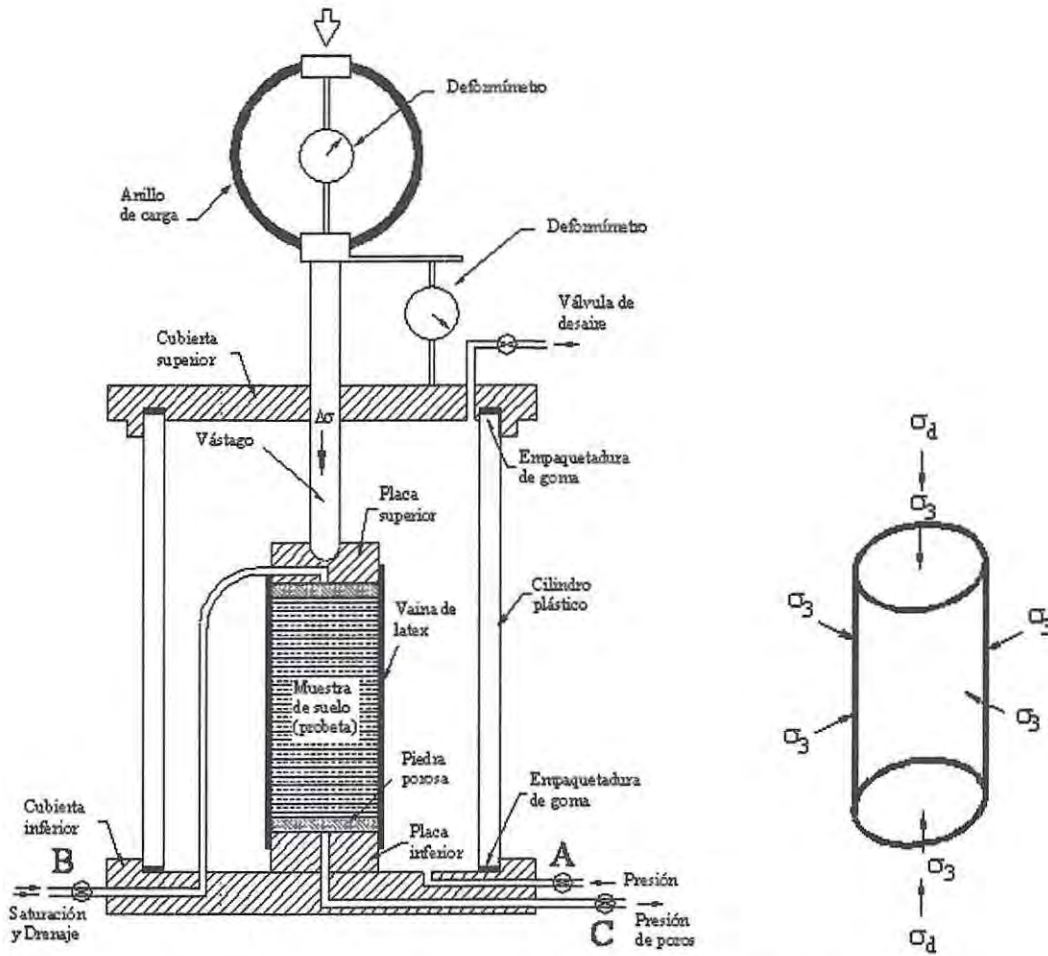


Figura 4-1 : Esquema representativo Análisis de Datos Ensayo Triaxial

Posteriormente se da, mediante un pistón de carga, una tensión axial adicional. Durante la aplicación de esta carga, la muestra experimenta un acortamiento en la dirección vertical y un alargamiento en la dirección horizontal. Esto implica una variación de la sección transversal que, al igual que en el ensayo de resistencia a compresión no confinada se estima suponiendo que no varía el volumen de la muestra. Según lo anteriormente expuesto, la tensión principal mayor σ_1 (vertical), durante el ensayo, está constituida por sus dos sumandos:

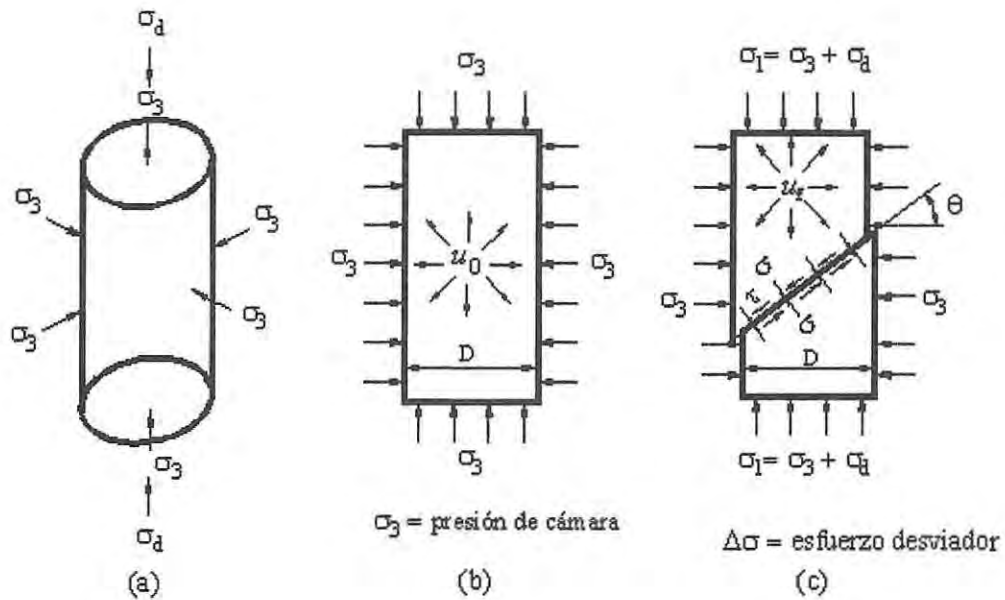


Figura 4-2 : Tensión axial

La tensión axial adicional suministrada por el pistón de carga es $\sigma_1 - \sigma_3$ y se denomina tensión desviadora.

Para obtener la envolvente de rotura de Coulomb, es preciso realizar al menos tres ensayos, cada uno de ellos realizado con una diferente presión de confinamiento σ_3 . Se dibujan las curvas tensión desviadora - deformación correspondientes, determinándose los puntos de la rotura; posteriormente se dibujan los círculos de Mohr para cada muestra ensayada. La tangente común que mejor se ajuste determina la cohesión y el ángulo de rozamiento interno del suelo.

Cabe destacar que las figuras, tablas y graficas mostradas en los capítulos cuatro y cinco del presente trabajo de título, son todos de elaboración propia siendo estos resultados de los análisis realizados para lograr el objetivo de esta memoria

4.2 ANÁLISIS ARENAS LIMOSAS

Para analizar una arena limosa bajo el ensayo triaxial, se evaluaron ocho muestras de suelo, identificadas en el capítulo anterior en la tabla 3.9 , a continuación se describe una de ellas para explicar el procedimiento llevado a cabo del ensayo triaxial realizado a las ocho muestras de arenas limosas. La muestra se identifica como UU12.

4.2.1 Ensayo Triaxial Suelo UU12

Tabla 4-1 : Identificación Muestra UU12 - Arena limosa

1 ANTECEDENTES GENERALES				
1.1 Descripción e identificación de suelos según ASTM D 2488-09a (3)				
PROYECTO	Trabajo de Titulo			
TIPO DE ENSAYO	Célula Triaxial	CALICATA	-	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO	Arena Limosa	PROFUNDIDAD [m]	-	
FECHA DE MUESTREO	martes, 25 de agosto de 2015			
FECHA DE ENSAYE	martes, 01 de septiembre de 2015			
1.1.1 DESCRIPCIÓN VISUAL				
SUELO	Arena Limosa	DISTRIBUCIÓN APROXIMADA DE GRANOS		
PLASTICIDAD	NP	GRAVA	ARENA	FINOS
TAMAÑO MÁXIMO	5 (mm)	[%]	[%]	[%]
COLOR	Café Verdoso	0	90	10
MATERIA ORNANICA	NP			
CLASIFICACIÓN USCS	SP-SM			
1.2 Densidad de partículas sólidas, según NCh 1532 Of.80 (1)				
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,758	FECHA DE REALIZACIÓN	martes, 01 de septiembre de 2015	
LABORATORISTA	-			
1.3 Densidad suspendida y humedad natural, según AASHTO T 233-02 (1)(2) y NCh 1515 Of.79 (1)				
DENSIDAD HUMEDA	2,185	[kg/m ³]	HUMEDAD NATURAL [%]	9,8
DENSIDAD SECA	1,982	[kg/m ³]	FECHA DE REALIZACIÓN	martes, 01 de septiembre de 2015
LABORATORISTA	-			

En la tabla 4-1 se muestra la descripción visual realizada al suelo, la distribución aproximada de los granos y las densidas correspondiente para el analisis del la muestra UU12.

Tabla 4-2 : Características Muestra UU12 - Arena Limosa

2 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA				
2.1 Compresión triaxial no consolidado y no drenado (UU), según ASTM D 2850-03a (2007) (1) (2)				
		Probeta	Probeta	Probeta
PROBETA REMOLDEADA	Nº	1 de 3	2 de 3	3 de 3
TIPO DE PROBETA		Remoldeada	Remoldeada	Remoldeada
DIÁMETRO INICIAL	[mm]	50,0	50,0	50,0
ALTURA INICIAL	[mm]	100,3	100,1	100,2
ALTURA DESPUÉS CONSOLIDACIÓN	[mm]	80,0	80,2	80,3
RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO (A/D)	[-]	2,0	2,0	2,0
DENSIDAD HÚMEDA	[kg/m³]	2 183	2 189	2 191
DENSIDAD SECA	[kg/m³]	1 988	1 993	1 997
HUMEDAD INICIAL EXCEDENTE	[%]	9,8	9,8	9,8
HUMEDAD FINAL PROBETA ENTERA	[%]	9,8	9,8	9,8
PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS	[-]	2,758	2,758	2,758
GRADO DE SATURACIÓN	[%]	69,85	70,65	71,26
VELOCIDAD DEFORMACIÓN	[%h/min]	0,300	0,300	0,300
RESISTENCIA MÁXIMA	[kgf/cm²]	2,000	3,725	5,501
TENSIÓN PRINCIPAL MENOR	[kgf/cm²]	0,500	1,000	1,500
TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	[kgf/cm²]	2,500	4,725	7,001
DEF. UNIT. AXIAL FALLA EN 0,01 MM	[%]	4,442	3,510	3,924
RAZÓN DE VACÍO	[-]	0,39	0,38	0,38

La presión de confinamiento con la que se realizan los ensayos triaxiales, para las probetas N° 1, N° 2 y N° 3, del suelo identificado UU12 son $\sigma_3 = 0,5$ [kgf/cm²], $\sigma_3 = 1,0$ [kgf/cm²], $\sigma_3 = 1,5$ [kgf/cm²], respectivamente, los esfuerzos de compresión triaxial se muestran en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 : Ensayo Triaxial Muestra UU12 - Arena Limosa

3 ENSAYO TRIAXIA					
DEFORMACIÓN AXIAL ε [%]			ESFUERZO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL		
s3=0,50 [kgf/cm ²]	s3=1,00 [kgf/cm ²]	s3=1,50 [kgf/cm ²]	(s1 - s3) [kgf/cm ²]		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,291	0,414	0,537	0,760	1,967	3,174
0,439	0,552	0,665	1,012	2,376	3,741
0,882	0,696	0,509	1,463	2,681	3,900
1,029	0,986	0,944	1,542	3,073	4,604
1,174	1,133	1,092	1,610	3,210	4,810
1,620	1,576	1,832	1,750	3,442	5,133
1,767	1,724	1,682	1,828	3,493	5,157
2,506	2,468	3,080	1,913	3,665	5,417
2,955	3,060	3,164	1,940	3,705	5,469
3,547	3,510	3,473	1,975	3,725	5,476
3,994	3,959	3,924	1,977	3,739	5,501
4,442	4,562	4,683	2,000	3,712	5,425
5,047	5,014	4,982	1,948	3,705	5,461
5,498	5,456	5,413	1,939	3,687	5,436
5,943	6,047	6,151	1,887	3,651	5,415
6,529	6,490	6,452	1,876	3,600	5,325
6,973	6,932	6,891	1,881	3,567	5,253
8,012	7,996	7,980	1,812	3,496	5,181
9,063	9,041	9,019	1,781	3,388	4,996
9,957	9,932	9,907	1,743	3,294	4,845
10,998	10,971	10,943	1,723	3,180	4,637
12,034	12,007	11,979	1,696	3,077	4,458
13,063	13,054	13,046	1,689	3,037	4,385
13,961	13,958	13,955	1,685	2,999	4,314
15,018	15,000	14,983	1,670	2,942	4,213
16,055	16,030	16,005	1,669	2,861	4,054
16,946	17,071	17,195	1,660	2,740	3,819
17,989	17,975	17,960	1,643	2,610	3,578
19,024	19,012	19,000	1,613	2,511	3,409
20,007	20,019	20,031	1,599	2,522	3,446

El esfuerzo de compresión triaxial máximo, para cada probeta ensayada, se identifica con color amarillo en la tabla 4-3. En resumen tenemos,

- $\sigma_3 = 0,5$ [kgf/cm²] → $(\sigma_1 - \sigma_3) = 2,000$ [kgf/cm²] → $\xi = 4,442$
- $\sigma_3 = 1,0$ [kgf/cm²] → $(\sigma_1 - \sigma_3) = 3,739$ [kgf/cm²] → $\xi = 3,959$
- $\sigma_3 = 1,5$ [kgf/cm²] → $(\sigma_1 - \sigma_3) = 5,501$ [kgf/cm²] → $\xi = 3,924$

Para representar de mejor forma los valores obtenidos, se dibuja un gráfico de curvas, esfuerzo v/s deformación como se muestra a continuación en la figura 4-3.

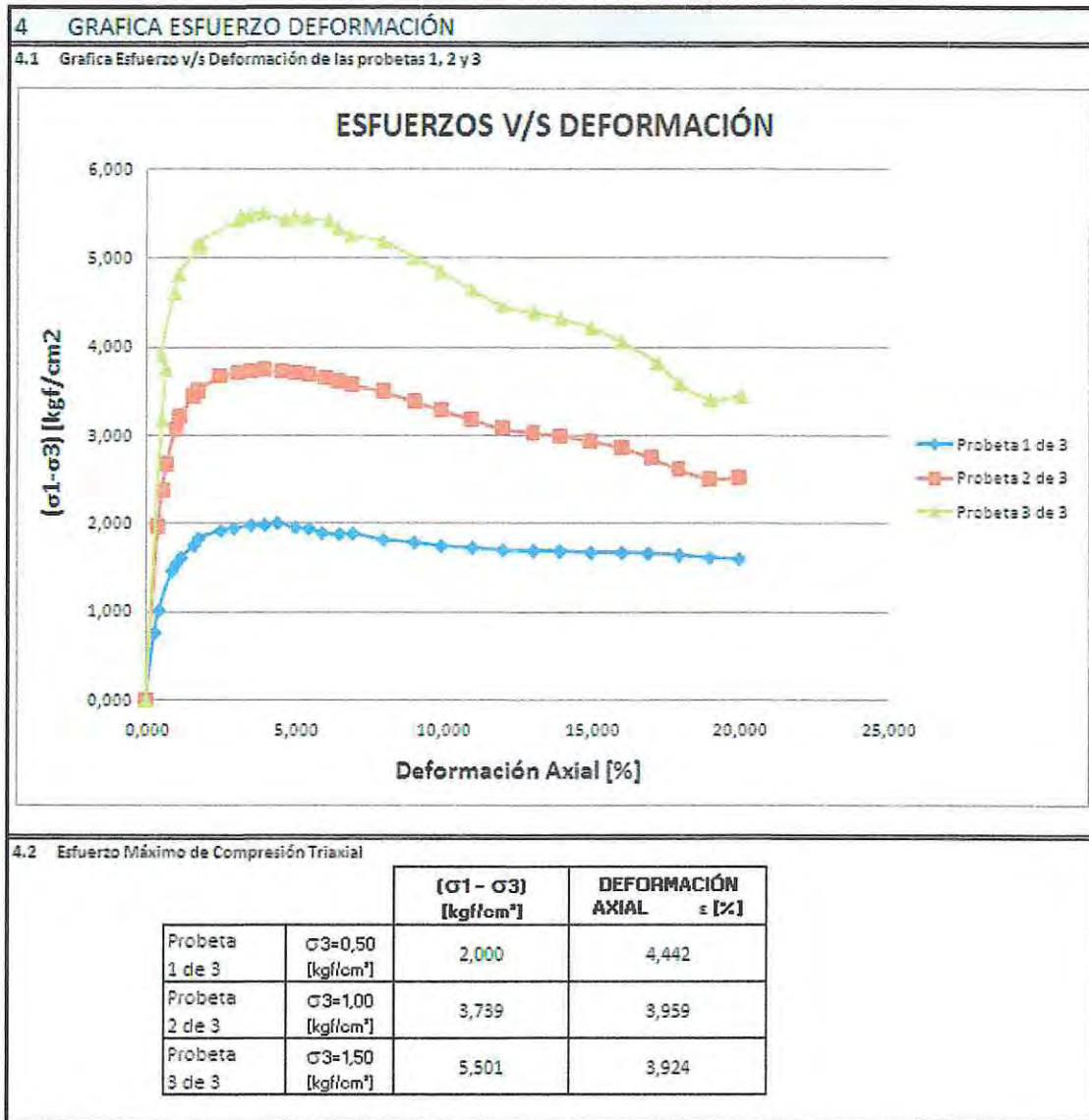


Figura 4-3 : Gráfica Esfuerzo Deformación Muestra UU12 - Arena Limosa

Con los esfuerzos máximos, resultados del ensayo triaxial, se procede a realizar los cálculos para la conformación del círculo de Mohr, se deben tener presente los siguientes parámetros del círculo:

Centro :
$$c = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \quad (\text{Ecuación 2.22})$$

Radio :
$$r = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \quad (\text{Ecuación 2.23})$$

Tabla 4-4 : Datos gráfica círculo de Mohr Muestra UU12 - Arena Limosa

5 CIRCULO DE MOHR									
5.1 Antecedentes para el cálculo de la circunferencias de Mohr Probetas 1, 2 y 3									
	PROBETA N° 1			PROBETA N° 2			PROBETA N° 3		
	Estado de Carga s3= 0,5			Estado de Carga s3= 1,00			Estado de Carga s3= 1,50		
	(s1 - s3)	2,000	[kgf/cm ²]	(s1 - s3)	3,739	[kgf/cm ²]	(s1 - s3)	5,501	[kgf/cm ²]
	s1	2,500	[kgf/cm ²]	s1	4,739	[kgf/cm ²]	s1	7,001	[kgf/cm ²]
	s3	0,500	[kgf/cm ²]	s3	1,000	[kgf/cm ²]	s3	1,500	[kgf/cm ²]
Centro	1,4998		Centro	2,8695		Centro	4,2506		
Radio	0,9998		Radio	1,8695		Radio	2,7506		
Angulo 2θ	Angulo Radianes	Sigma	Tau	Angulo Radianes	Sigma	Tau	Angulo Radianes	Sigma	Tau
0	0,000	2,500	0,000	0,000	4,739	0,000	0,000	7,001	0,000
10	0,175	2,485	0,174	0,175	4,711	0,325	0,175	6,959	0,478
20	0,349	2,439	0,342	0,349	4,626	0,639	0,349	6,835	0,941
30	0,524	2,366	0,500	0,524	4,489	0,935	0,524	6,633	1,375
40	0,698	2,266	0,643	0,698	4,302	1,202	0,698	6,358	1,768
50	0,873	2,143	0,766	0,873	4,071	1,432	0,873	6,019	2,107
60	1,047	2,000	0,866	1,047	3,804	1,619	1,047	5,626	2,382
70	1,222	1,842	0,940	1,222	3,509	1,757	1,222	5,191	2,585
80	1,396	1,673	0,985	1,396	3,194	1,841	1,396	4,728	2,709
90	1,571	1,500	1,000	1,571	2,870	1,870	1,571	4,251	2,751
100	1,745	1,326	0,985	1,745	2,545	1,841	1,745	3,773	2,709
110	1,920	1,158	0,940	1,920	2,230	1,757	1,920	3,310	2,585
120	2,094	1,000	0,866	2,094	1,935	1,619	2,094	2,875	2,382
130	2,269	0,857	0,766	2,269	1,668	1,432	2,269	2,483	2,107
140	2,443	0,734	0,643	2,443	1,437	1,202	2,443	2,144	1,768
150	2,618	0,634	0,500	2,618	1,250	0,935	2,618	1,869	1,375
160	2,793	0,560	0,342	2,793	1,113	0,639	2,793	1,666	0,941
170	2,967	0,515	0,174	2,967	1,028	0,325	2,967	1,542	0,478
180	3,142	0,500	0,000	3,142	1,000	0,000	3,142	1,500	0,000
190	3,316	0,515	-0,174	3,316	1,028	-0,325	3,316	1,542	-0,478
200	3,491	0,560	-0,342	3,491	1,113	-0,639	3,491	1,666	-0,941
210	3,665	0,634	-0,500	3,665	1,250	-0,935	3,665	1,869	-1,375
220	3,840	0,734	-0,643	3,840	1,437	-1,202	3,840	2,144	-1,768
230	4,014	0,857	-0,766	4,014	1,668	-1,432	4,014	2,483	-2,107
240	4,189	1,000	-0,866	4,189	1,935	-1,619	4,189	2,875	-2,382
250	4,363	1,158	-0,940	4,363	2,230	-1,757	4,363	3,310	-2,585
260	4,538	1,326	-0,985	4,538	2,545	-1,841	4,538	3,773	-2,709
270	4,712	1,500	-1,000	4,712	2,870	-1,870	4,712	4,251	-2,751
280	4,887	1,673	-0,985	4,887	3,194	-1,841	4,887	4,728	-2,709
290	5,061	1,842	-0,940	5,061	3,509	-1,757	5,061	5,191	-2,585
300	5,236	2,000	-0,866	5,236	3,804	-1,619	5,236	5,626	-2,382
310	5,411	2,143	-0,766	5,411	4,071	-1,432	5,411	6,019	-2,107
320	5,585	2,266	-0,643	5,585	4,302	-1,202	5,585	6,358	-1,768
330	5,760	2,366	-0,500	5,760	4,489	-0,935	5,760	6,633	-1,375
340	5,934	2,439	-0,342	5,934	4,626	-0,639	5,934	6,835	-0,941
350	6,109	2,485	-0,174	6,109	4,711	-0,325	6,109	6,959	-0,478
360	6,283	2,500	0,000	6,283	4,739	0,000	6,283	7,001	0,000

De los datos mostrados en la tabla 4-4 se gráfica el esfuerzo σ (sigma) v/s el esfuerzo cortante τ (tau) de cada una de las probetas ensayadas, obtenemos los círculos de Mohr para esta arena limosa identificada como UU12. La gráfica se muestra en la figura 4-4.

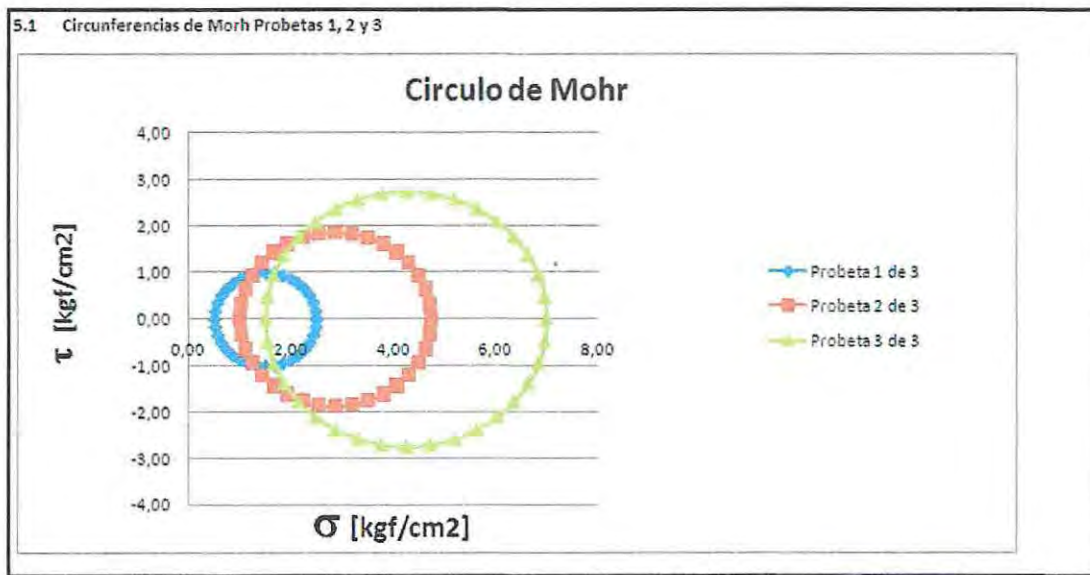


Figura 4-4 : Círculo de Mohr Muestra UU12 - Arena Limosa

Trazando la tangente que mejor se ajuste a los tres círculos de Mohr , como se muestra en la figura 4-5, se procede a obtener el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo UU12.

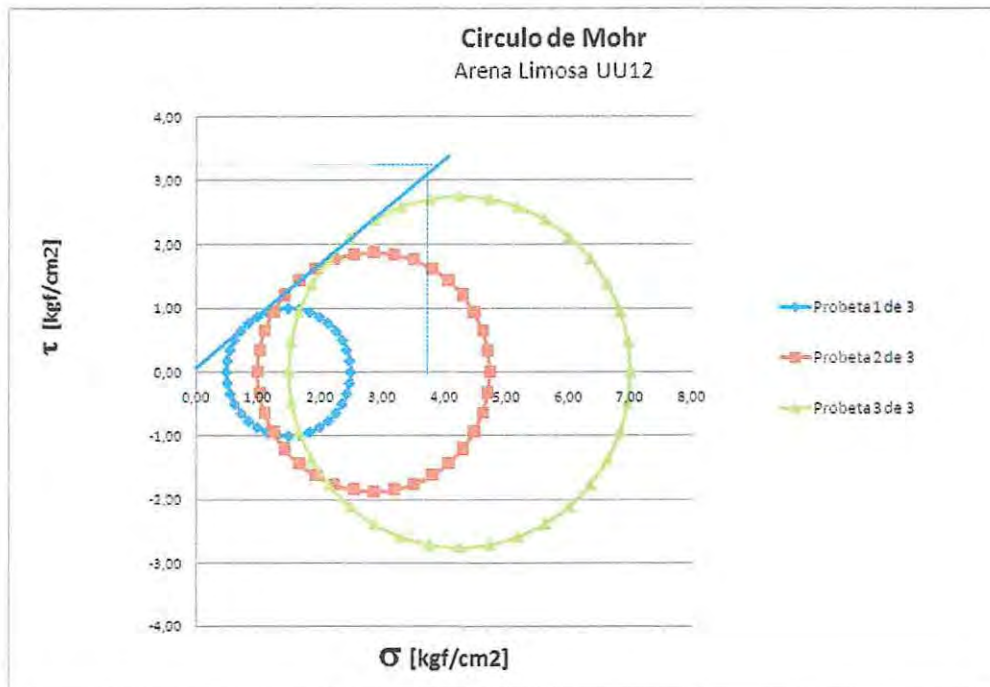


Figura 4-5 : Círculo de Mohr Muestra UU12 - Arena Limosa

Se obtiene la cohesión (C), de la intersección entre la tangente envolvente de los círculos de Mohr, con respecto al eje de las ordenadas, el ángulo de inclinación que forma la tangente con respecto a la horizontal, es el ángulo de fricción interna (ϕ) correspondiente, la tabla 4-5 muestra los valores obtenidos para el suelo UU12.

Tabla 4-5 : Valores Extraídos de los Círculos de Suelos UU12 - Arena limosa

5.2 Antecedentes Obtenidos del Circulo de Morh			
Cohesión	C :	0,2	CO : 3,25
Angulo de Fricción Interna	ϕ :	39,16	CA : 3,99
Formula de Coulomb	$\tau = C + \sigma * \text{Tan } \phi$		Tan ϕ : 0,81

Esta metodología de trabajo se lleva a cabo con las 8 muestras identificadas como UU5, UU9, UU11, UU12, UU20, UU23, UU25, UU29, para las arenas limosas, los valores de cada ensayo triaxial, c y ϕ , se resumen en la tabla 4-6 que a continuación se indica, en los anexos de esta memoria se adjunta los resultados de las muestras restantes.

Tabla 4-6 : Resultados Ensayo Triaxial - Arenas Limosas

ENSAYO TRIAXIAL PARA ARENA LIMOSA								
IDENTIFICACIÓN MUESTRA	TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN USCS	INDICE PLASTICIDAD IP	COHESIÓN	COHESIÓN	ANGULO FRICCIÓN INTERNA	PESO ESP. SOLIDOS	PESO ESP. SUELOS
				C	C	ϕ	Gs	g
				[kg/cm ²]	[kPa]	°		g [kN/m ³]
UU5	ARENA LIMOSA	SM (ML)	NP	0,27	26,46	23,00	2,754	27,54
UU9	ARENA LIMOSA	SM	NP	0,23	22,54	46,36	2,732	27,32
UU11	ARENA LIMOSA	SW-SM	NP	0,30	29,40	38,97	2,727	27,27
UU12	ARENA LIMOSA	SP-SM	NP	0,20	19,60	39,16	2,758	27,58
UU20	ARENA LIMOSA	SW-SM	NP	0,21	20,58	46,43	2,639	26,39
UU23	ARENA LIMOSA	SW-SM	NP	0,15	14,70	34,37	2,834	28,34
UU25	ARENA LIMOSA	SM	NP	0,16	15,68	38,91	2,854	28,54
UU29	ARENA LIMOSA	SM	NP	0,21	20,58	39,26	2,705	27,05
SUELO TIPO 1			NP	0,22	21,19	38,13	2,776	27,76

Este resumen muestra los valores de c y ϕ para cada muestra ensayada, se saca un promedio de estos valores para poder identificar la arena limosa como suelo tipo 1. Cabe destacar que de las ocho muestras analizadas, podemos distinguir que el ensayo triaxial realizado a las muestra UU5, UU9 y UU20, no guarda relación con los valores de las muestras restantes, los resultados del ángulo de fricción interna de dichas muestras son muy altos o muy bajos para el tipo de suelo que se está estudiando, lo que implica que hubo una mala manipulación de la muestra al momento de realizar el ensayo o bien se tomaron mal las lecturas cuando la probeta comenzó a fallar, es por esto que se excluyen al momento de sacar los promedios de c , ϕ y γ .

4.2.2 Propiedades Físicas de las Arenas Limosas

4.2.2.1 Granulometría

A continuación se describen las propiedades físicas de las arenas limosas que se ensayan en el laboratorio, el fin es obtener un parámetro representativo de este tipo de suelo el cual pueda identificar de manera simplificada una arena limosa como suelo tipo 1.

En las tabla 4-7 y tabla 4-8 se muestra el análisis granulométrico de las ocho muestras de arena limosa, se ensayan tres probetas por cada una de las muestras.

Tabla 4-7 : Granulometría Arenas Limosas

GRANULOMÉTRIAS ARENAS LIMOSAS													
TAMICES		UU5			UU9			UU11			UU12		
ASTM	NCh (mm)	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
3"	80												
2 1/2"	63												
2"	50												
1 1/2"	40												
1"	25												
3/4"	20												
3/8"	10							100	100	100			
N° 4	5	100	100	100	100	100	100	95	96	95	100	100	100
N° 10	2	78	73	75	76	71	73	64	63	66	79	76	78
N° 40	0,42	55	54	56	55	56	59	26	26	27	56	55	56
N° 200	0,08	22	24	23	18	20	18	6	7	7	24	25	25

M1 = Muestra 1
M2 = Muestra 2
M3 = Muestra 3

Tabla 4-8 : Granulometría Arenas Limosas

GRANULOMETRÍAS ARENAS LIMOSAS													
TAMICES		UU20			UU23			UU25			UU29		
ASTM	NCh (mm)	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
3"	80												
2 1/2"	63												
2"	50												
1 1/2"	40	100	100	100									
1"	25	98	96	98									
3/4"	20	93	91	95	100	100	100						
3/8"	10	91	89	91	92	89	90	100	100	100			
N° 4	5	80	82	83	81	76	78	88	91	89	100	100	100
N° 10	2	62	61	61	63	65	61	55	55	54	74	71	76
N° 40	0,42	13	15	12	13	15	14	20	25	23	54	56	57
N° 200	0,08	2	4	2	2	6	4	9	11	12	21	23	24

M1 = Muestra 1
M2 = Muestra 2
M3 = Muestra 3

Graficando los datos de las tablas anteriores podemos obtener una banda granulométrica representativa de las arenas limosas según su análisis granulométricos. Figura 4-6.

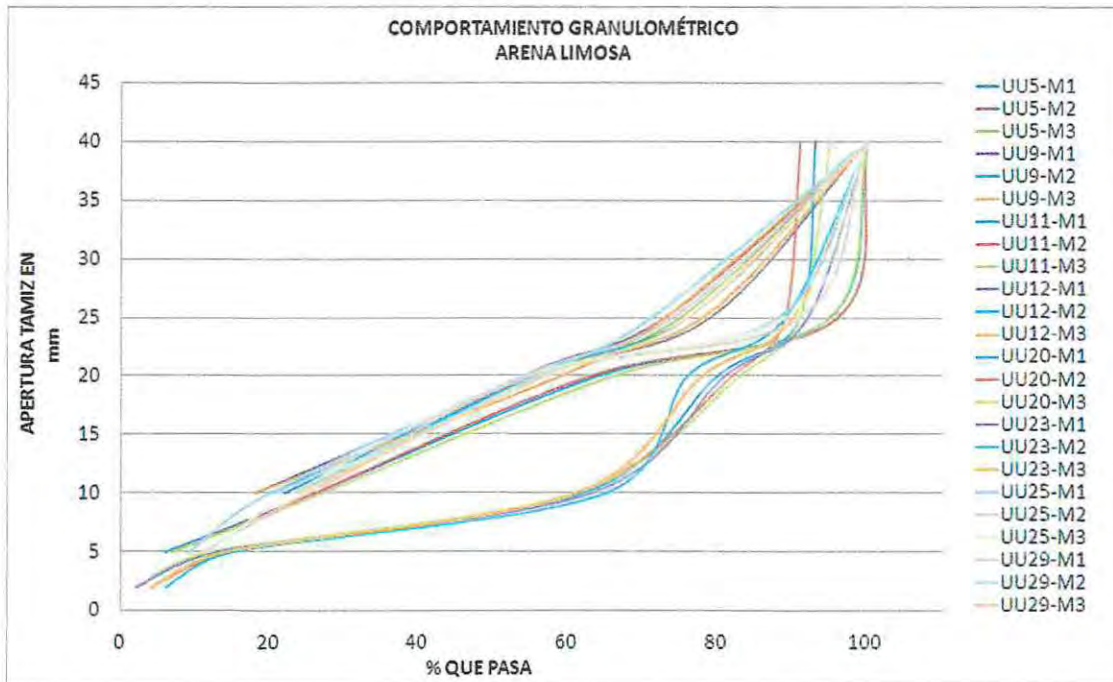


Figura 4-6 : Banda Granulométrica Arenas Limosas

4.2.2.2 Capacidad de Soporte California

El análisis de la capacidad de soporte de California CBR, para arenas limosas se muestra en la tabla 4-9.

Tabla 4-9 : Capacidad de Soporte de California "CBR"

CAPACIDAD DE SOPORTE DE CALIFORNIA												
CBR (%)	UU5			UU9			UU11			UU12		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CBR Correspondiente al 95 % de la D.M.C.S.	33			35			39			42		
CBR (%)	UU20			UU23			UU25			UU29		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CBR Correspondiente al 95 % de la D.M.C.S.	45			36			41			45		
RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR							35 A 45					

M1 = Muestra 1
M2 = Muestra 2
M3 = Muestra 3

De la tabla 4-9 se desprende que un suelo que tenga un CBR comprendido entre 35 - 45 podrá clasificarse como suelo tipo 1.

4.2.2.3 Peso Especifico de Los Sólidos

En la tabla 4-10 se muestra los parámetros aceptables para clasificar como suelo tipo 1 una arena limosa según su peso específico.

Tabla 4-10 : Peso Específico de los Sólidos Arenas Limosas

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS												
DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS	UU5			UU9			UU11			UU12		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,754			2,732			2,727			2,758		
DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS	UU20			UU23			UU25			UU29		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,639			2,834			2,854			2,705		
RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN P.ESPECIFICO SOLIDOS						2,75 +/- 0,10 [kg/cm ³]						

M1 = Muestra 1
M2 = Muestra 2
M3 = Muestra 3

4.2.2.4 Límites de Atterberg

Las ocho muestras de arenas limosas ensayadas en laboratorio son no plásticas, es por ello que no se consideran los Límites de Atterberg para la clasificación de las arenas limosas como suelo tipo 1.

4.3 ANÁLISIS ARENAS DUNA

Para analizar la arena de duna bajo el ensayo triaxial, se evaluaron cuatro muestras de suelo, las cuales se describen en la tabla 3-10 del capítulo anterior, a continuación se describe el procedimiento llevado a cabo. La muestra se identifica como UU27.

4.3.1 Ensayo Triaxial Suelo UU27

Tabla 4-11 : Identificación Muestra UU27 - Arena Duna

1 ANTECEDENTES GENERALES				
1.1 Descripción e identificación de suelos según ASTM D 2488-09a (3)				
PROYECTO	Trabajo de Título			
TIPO DE ENSAYO	Célula Triaxial		CALICATA	-
DESCRIPCIÓN DEL SUELO	Arena Limosa Duna Pobremente		PROFUNDIDAD	-
	Graduada		[m]	-
FECHA DE MUESTREO	miércoles, 05 de agosto de 2015			
FECHA DE ENSAYE	sábado, 15 de agosto de 2015			
1.1.1 Descripción Visual				
SUELO	Arena Limosa Duna Pobremente		DISTRIBUCIÓN APROXIMADA DE GRANOS	
	Graduada		GRAVA	ARENA
PLASTICIDAD	NP		FINOS	
TAMAÑO MÁXIMO	2		[%]	[%]
COLOR	Café		0	90
MATERIA ORNANICA	NP			10
CLASIFICACIÓN USCS	SP-SM			
1.2 Densidad de partículas sólidas, según NCh 1532 Of.80 (1)				
PESO ESP.DE LOS SOLIDOS	2,738		FECHA DE REALIZACIÓN	sábado, 15 de agosto de 2015
LABORATORISTA	-			
1.3 Densidad suspendida y humedad natural, según AASHTO T 233-02 (1)(2) y NCh 1515 Of.79 (1)				
DENSIDAD HUMEDA	1,870	[kg/m ³]	HUMEDAD NATURAL [%]	9,8
DENSIDAD SECA	1,710	[kg/m ³]	FECHA DE REALIZACIÓN	sábado, 15 de agosto de 2015
LABORATORISTA	-			

Tabla 4-12 : Características Muestra UU27 - Arena Duna

2 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA				
2.1 Compresión triaxial no consolidado y no drenado (UU), según ASTM D 2850-03a (2007) (1) (2)				
		Probeta	Probeta	Probeta
PROBETA REMOLDEADA	Nº	1 de 3	2 de 3	3 de 3
TIPO DE PROBETA		Remoldeada	Remoldeada	Remoldeada
DIÁMETRO INICIAL	[mm]	49,6	49,6	49,6
ALTURA INICIAL	[mm]	100,0	100,0	100,0
ALTURA DESPUÉS CONSOLIDACIÓN	[mm]	80,1	80,0	80,3
RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO (A/D)	[-]	2,0	2,0	2,0
DENSIDAD HÚMEDA	[kg/m³]	1 881	1 877	1 869
DENSIDAD SECA	[kg/m³]	1 711	1 709	1 713
HUMEDAD INICIAL EXCEDENTE	[%]	9,9	9,8	9,9
HUMEDAD FINAL PROBETA ENTERA	[%]	9,9	9,7	9,8
PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS	[-]	2,738	2,738	2,738
GRADO DE SATURACIÓN	[%]	45,22	44,71	45,12
VELOCIDAD DEFORMACIÓN	[%h/min]	0,300	0,300	0,300
RESISTENCIA MÁXIMA	[kgf/cm²]	1,986	3,802	5,618
TENSIÓN PRINCIPAL MENOR	[kgf/cm²]	0,500	1,000	1,500
TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	[kgf/cm²]	2,486	4,802	7,118
DEF. UNIT. AXIAL FALLA EN 0,01 MM	[%]	3,547	3,510	3,473
RAZÓN DE VACÍO	[-]	0,60	0,60	0,60

La presión de confinamiento con la que se realizan los ensayos triaxiales, para las probetas N° 1, N° 2 y N° 3, del suelo identificado UU27 son $\sigma_3 = 0,5$ [kgf/cm²], $\sigma_3 = 1,0$ [kgf/cm²], $\sigma_3 = 1,5$ [kgf/cm²], respectivamente, los esfuerzos de compresión triaxial se muestran en la tabla 4-13.



Tabla 4-13 : Ensayo Triaxial Muestra UU27 - Arena Duna

3 ENSAYO TRIAXIAL					
DEFORMACIÓN AXIAL ϵ [%]			ESFUERZO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL		
$s_3=0,50$ [kgf/cm ²]	$s_3=1,00$ [kgf/cm ²]	$s_3=1,50$ [kgf/cm ²]	$(s_1 - s_3)$ [kgf/cm ²]		
0,291	0,414	0,000	0,757	0,642	0,000
0,439	0,552	0,665	0,757	1,163	1,569
0,882	0,696	0,709	1,098	2,239	3,381
1,029	0,986	0,944	1,247	2,459	3,670
1,174	1,133	1,092	1,494	2,652	3,811
1,620	1,576	1,532	1,592	3,118	4,644
1,767	1,724	1,682	1,803	3,234	4,666
2,506	2,468	2,430	1,852	3,605	5,358
2,955	3,060	3,164	1,973	3,723	5,572
3,547	3,510	3,473	1,986	3,802	5,618
3,994	3,959	3,924	1,975	3,795	5,615
4,442	4,562	4,683	1,960	3,737	5,514
5,047	5,014	4,982	1,932	3,673	5,415
5,498	5,456	5,413	1,909	3,605	5,300
5,943	6,047	6,151	1,884	3,511	5,137
6,529	6,490	6,452	1,869	3,440	5,010
6,973	6,932	6,891	1,855	3,362	4,870
8,012	7,996	7,980	1,825	3,277	4,728
9,063	9,041	9,019	1,775	3,213	4,652
9,957	9,932	9,907	1,740	3,141	4,543
10,998	10,971	10,943	1,696	3,057	4,418
12,034	12,007	11,979	1,649	2,972	4,294
13,063	13,054	13,046	1,596	2,901	4,207
13,961	13,958	13,955	1,563	2,847	4,131
15,018	15,000	14,983	1,515	2,800	4,085
16,055	16,030	16,005	1,477	2,758	4,039
16,946	17,071	17,195	1,468	2,659	3,850
17,989	17,975	17,960	1,450	2,547	3,644
19,024	19,012	19,000	1,439	2,493	3,547
20,007	20,019	20,031	1,429	2,481	3,534

El esfuerzo de compresión triaxial máximo, para cada probeta ensayada, se identifica con color amarillo en la tabla 4-13. En resumen tenemos,

- $\sigma_3 = 0,5$ [kgf/cm²] → $(\sigma_1 - \sigma_3) = 1,986$ [kgf/cm²] → $\xi = 3,547$
- $\sigma_3 = 1,0$ [kgf/cm²] → $(\sigma_1 - \sigma_3) = 3,802$ [kgf/cm²] → $\xi = 3,510$
- $\sigma_3 = 1,5$ [kgf/cm²] → $(\sigma_1 - \sigma_3) = 5,618$ [kgf/cm²] → $\xi = 3,473$

Para representar de mejor forma estos valores obtenidos, se grafican mediante un gráfico de curvas, esfuerzo v/s deformación como se muestra a continuación en la figura 4-7:

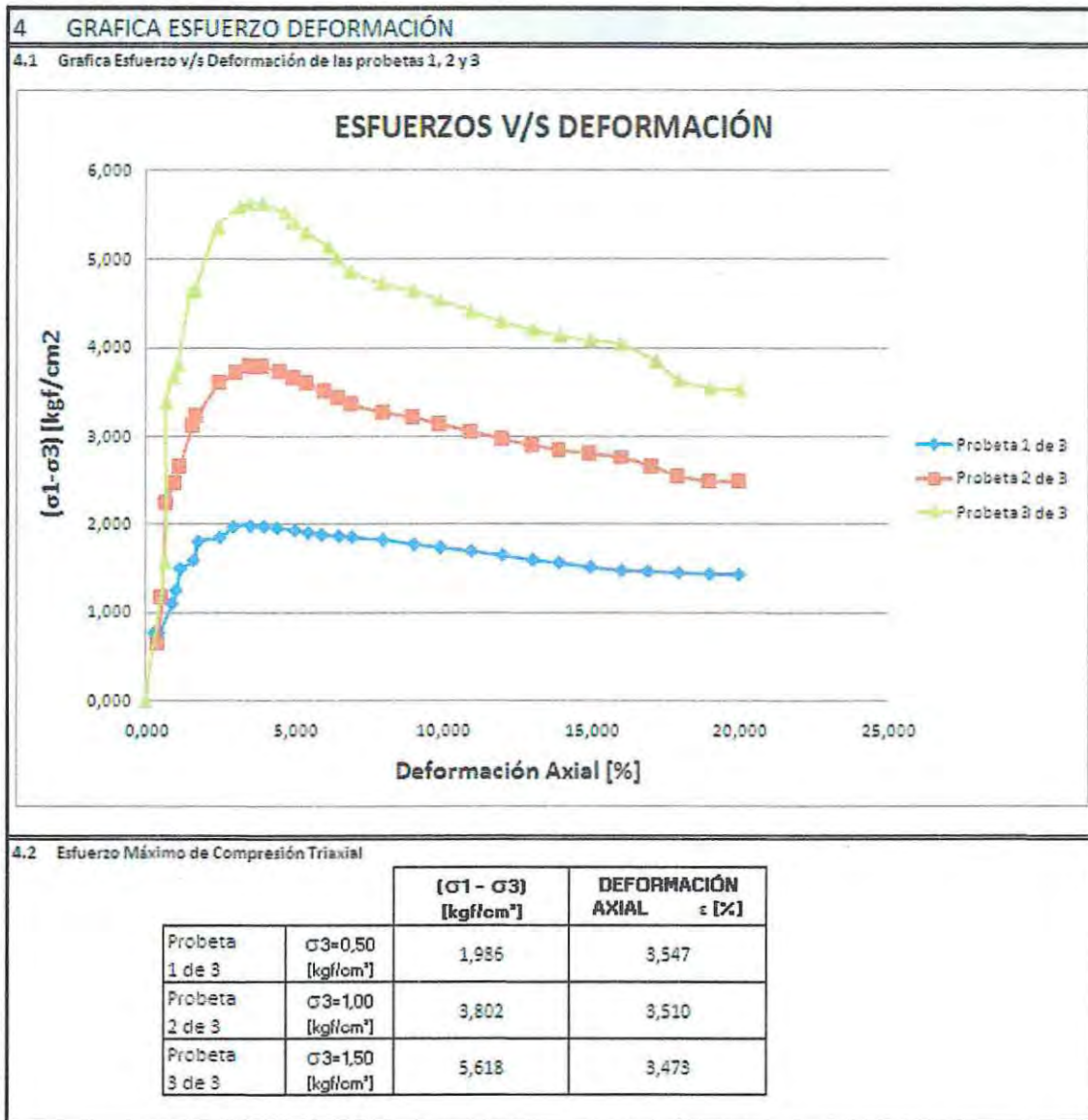


Figura 4-7 : Gráfica Esfuerzo Deformación Muestra UU27 - Arena Duna

Con los esfuerzos máximos, resultados del ensayo triaxial, se procede a realizar los cálculos para la conformación del círculo de Mohr se debe tener presente los siguientes parámetros del círculo:

Centro :
$$c = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

Radio :
$$r = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \quad (\text{Ecuación 2.25})$$

Tabla 4-14 : Datos gráfica círculo de Muestra UU27 - Arena Duna

5 CIRCULO DE MOHR									
5.1 Antecedentes para el cálculo de la circunferencias de Mohr Probetas 1, 2 y 3									
PROBETA N° 1				PROBETA N° 2			PROBETA N° 3		
Estado de Carga s3= 0,5 (s1 - s3) 1,986 [kgf/cm ²] s1 2,486 [kgf/cm ²] s3 0,500 [kgf/cm ²] Centro 1,493 Radio 0,993				Estado de Carga s3= 1,00 (s1 - s3) 3,802 [kgf/cm ²] s1 4,802 [kgf/cm ²] s3 1,000 [kgf/cm ²] Centro 2,901 Radio 1,901			Estado de Carga s3= 1,50 (s1 - s3) 5,618 [kgf/cm ²] s1 7,118 [kgf/cm ²] s3 1,500 [kgf/cm ²] Centro 4,309 Radio 2,809		
Angulo 2θ	Angulo Radianes	Sigma	Tau	Angulo Radianes	Sigma	Tau	Angulo Radianes	Sigma	Tau
0	0,0000	2,4860	0,0000	0,0000	4,8020	0,0000	0,0000	7,1180	0,0000
10	0,1745	2,4709	0,1724	0,1745	4,7731	0,3301	0,1745	7,0753	0,4878
20	0,3491	2,4261	0,3396	0,3491	4,6874	0,6502	0,3491	6,9486	0,9607
30	0,5236	2,3530	0,4965	0,5236	4,5473	0,9505	0,5236	6,7417	1,4045
40	0,6981	2,2537	0,6383	0,6981	4,3573	1,2219	0,6981	6,4608	1,8056
50	0,8727	2,1313	0,7607	0,8727	4,1229	1,4563	0,8727	6,1146	2,1518
60	1,0472	1,9895	0,8600	1,0472	3,8515	1,6463	1,0472	5,7135	2,4327
70	1,2217	1,8326	0,9331	1,2217	3,5512	1,7864	1,2217	5,2697	2,6396
80	1,3963	1,6654	0,9779	1,3963	3,2311	1,8721	1,3963	4,7968	2,7663
90	1,5708	1,4930	0,9930	1,5708	2,9010	1,9010	1,5708	4,3090	2,8090
100	1,7453	1,3206	0,9779	1,7453	2,5709	1,8721	1,7453	3,8212	2,7663
110	1,9199	1,1534	0,9331	1,9199	2,2508	1,7864	1,9199	3,3483	2,6396
120	2,0944	0,9965	0,8600	2,0944	1,9505	1,6463	2,0944	2,9045	2,4327
130	2,2689	0,8547	0,7607	2,2689	1,6791	1,4563	2,2689	2,5034	2,1518
140	2,4435	0,7323	0,6383	2,4435	1,4447	1,2219	2,4435	2,1572	1,8056
150	2,6180	0,6330	0,4965	2,6180	1,2547	0,9505	2,6180	1,8763	1,4045
160	2,7925	0,5599	0,3396	2,7925	1,1146	0,6502	2,7925	1,6694	0,9607
170	2,9671	0,5151	0,1724	2,9671	1,0289	0,3301	2,9671	1,5427	0,4878
180	3,1416	0,5000	0,0000	3,1416	1,0000	0,0000	3,1416	1,5000	0,0000
190	3,3161	0,5151	-0,1724	3,3161	1,0289	-0,3301	3,3161	1,5427	-0,4878
200	3,4907	0,5599	-0,3396	3,4907	1,1146	-0,6502	3,4907	1,6694	-0,9607
210	3,6652	0,6330	-0,4965	3,6652	1,2547	-0,9505	3,6652	1,8763	-1,4045
220	3,8397	0,7323	-0,6383	3,8397	1,4447	-1,2219	3,8397	2,1572	-1,8056
230	4,0143	0,8547	-0,7607	4,0143	1,6791	-1,4563	4,0143	2,5034	-2,1518
240	4,1888	0,9965	-0,8600	4,1888	1,9505	-1,6463	4,1888	2,9045	-2,4327
250	4,3633	1,1534	-0,9331	4,3633	2,2508	-1,7864	4,3633	3,3483	-2,6396
260	4,5379	1,3206	-0,9779	4,5379	2,5709	-1,8721	4,5379	3,8212	-2,7663
270	4,7124	1,4930	-0,9930	4,7124	2,9010	-1,9010	4,7124	4,3090	-2,8090
280	4,8869	1,6654	-0,9779	4,8869	3,2311	-1,8721	4,8869	4,7968	-2,7663
290	5,0615	1,8326	-0,9331	5,0615	3,5512	-1,7864	5,0615	5,2697	-2,6396
300	5,2360	1,9895	-0,8600	5,2360	3,8515	-1,6463	5,2360	5,7135	-2,4327
310	5,4105	2,1313	-0,7607	5,4105	4,1229	-1,4563	5,4105	6,1146	-2,1518
320	5,5851	2,2537	-0,6383	5,5851	4,3573	-1,2219	5,5851	6,4608	-1,8056
330	5,7596	2,3530	-0,4965	5,7596	4,5473	-0,9505	5,7596	6,7417	-1,4045
340	5,9341	2,4261	-0,3396	5,9341	4,6874	-0,6502	5,9341	6,9486	-0,9607
350	6,1087	2,4709	-0,1724	6,1087	4,7731	-0,3301	6,1087	7,0753	-0,4878
360	6,2832	2,4860	0,0000	6,2832	4,8020	0,0000	6,2832	7,1180	0,0000

De los datos mostrados en la tabla 4-14 se grafica σ v/s el esfuerzo cortante τ (tau), de cada probeta ensayada, obtenemos los círculos de Mohr para la arena de duna identificada como UU27. La gráfica se muestra en la figura 4-8.

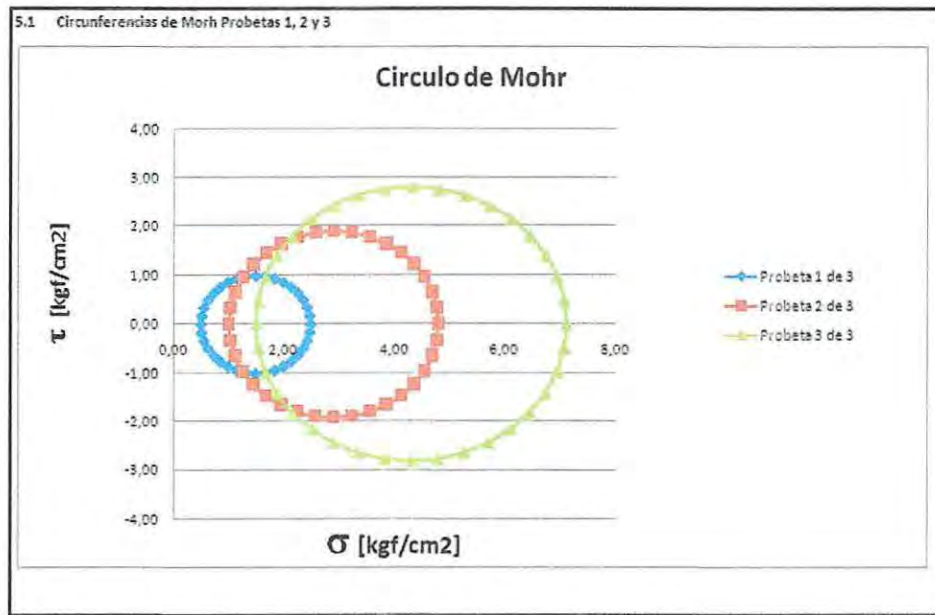


Figura 4-8 : Círculo de Mohr Muestra UU 27 - Arena Duna

Trazando la tangente que mejor se ajuste a los tres círculos, como se muestra en la figura 4-9, se procede a obtener el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo UU27

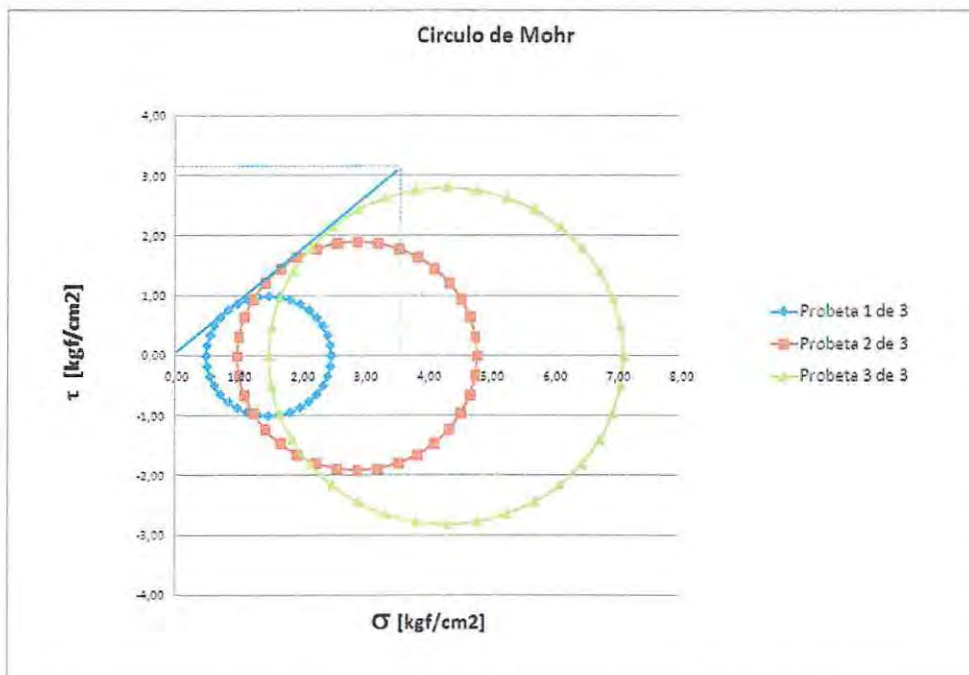


Figura 4-9 : Círculo de Mohr Muestra UU27 - Arena Duna

Se obtiene la cohesión (c), de la intersección entre la tangente envolvente de los círculos de Mohr, con respecto al eje Y de las ordenadas, el ángulo de inclinación que forma la tangente, es el ángulo de fricción interna (ϕ) correspondiente, la tabla 4-15, muestra los valores obtenidos para el suelo UU27.

Tabla 4-15 : Valores Extraídos de los Círculos de Suelo UU27

5.2 Antecedentes Obtenidos del Circulo de Mohr			
Cohesión	C :	0,00	CO : 3,2
Angulo de Fricción Interna	ϕ :	39,73	CA : 3,85
Formula de Coulomb	$\tau = C + \sigma * \tan \phi$		Tan ϕ : 0,831168831

Esta metodología de trabajo se lleva a cabo con las cuatro muestras identificadas como UU24, UU26, UU27, UU28 para las arenas de dunas, los valores de cada ensayo triaxial, c y ϕ , se resumen en la tabla 4-16 que a continuación se indica, en los anexos de esta memoria se adjunta los resultados de las muestras restantes.

Tabla 4-16 : Resultados Ensayo Triaxial - Arena Duna

ENSAYO TRIAXIAL PARA ARENA DE DUNA								
IDENTIFICACIÓN MUESTRA	TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN	INDICE PLASTICIDAD	COHESIÓN	COHESIÓN	ANGULO FRICCIÓN INTERNA	PESO ESP. SOLIDOS	PESO ESP. DEL SUELOS
		USCS	IP	C	C	ϕ :	Gs	g
				[kg/cm ²]	[kPa]	°		g [kN/m ³]
UU24	ARENA DUNA	SP	NP	0,00	0,00	38,66	2,766	27,66
UU26	ARENA DUNA	SP	NP	0,00	0,00	41,19	2,860	28,60
UU27	ARENA DUNA	SP-SM	NP	0,00	0,00	39,73	2,738	27,38
UU28	ARENA DUNA	SP	NP	0,00	0,00	43,78	2,648	26,48
SUELO TIPO 2			NP	0,00	0,00	39,86	2,753	27,53

Este resumen muestra los valores de c y ϕ para cada muestra ensayada, se saca un promedio de estos valores para poder identificar la arena de duna como suelo tipo 2. Cabe destacar que de las cuatro muestras analizadas, podemos distinguir que el ensayo triaxial realizado a la muestra UU28, no guarda relación con los valores de las muestras

restantes, esto ocurre producto de que hubo una mala manipulación de la muestra ensayada o bien no se realizó una correcta interpretación de las lecturas al momento de la rotura de la probeta, es por esto que se excluyen al momento de sacar los promedios de c , ϕ y γ .

4.3.2 Propiedades Físicas de las Arenas de Duna

4.3.2.1 Granulometría

A continuación se describen las propiedades físicas de las arenas de duna que se ensayan en el laboratorio, el fin es obtener un parámetro representativo de este tipo de suelo el cual pueda identificar de manera simplificada una arena de duna como suelo tipo 2.

En la tabla 4-17 se muestra el análisis granulométrico de las cuatro muestras de arena limosa, se ensayan tres probetas por cada una de las muestras.

Tabla 4-17 : Granulometría Arena Duna

GRANULOMETRÍAS ARENAS DUNA													
TAMICES		UU24			UU26			UU27			UU28		
ASTM	NCh (mm)	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
3"	80												
2 1/2"	63												
2"	50												
1 1/2"	40												
1"	25												
3/4"	20												
3/8"	10												
N° 4	5												
N° 10	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N° 40	0,42	82	81	85	82	81	83	86	85	85	75	76	73
N° 200	0,08	4	7	6	4	3	6	4	6	7	6	5	6

M1 = Muestra 1
M2 = Muestra 2
M3 = Muestra 3

Graficando los datos de la tabla 4-17 podemos obtener una tendencia de la granulometría representativa de las arenas de duna según su análisis. Figura 4-10.

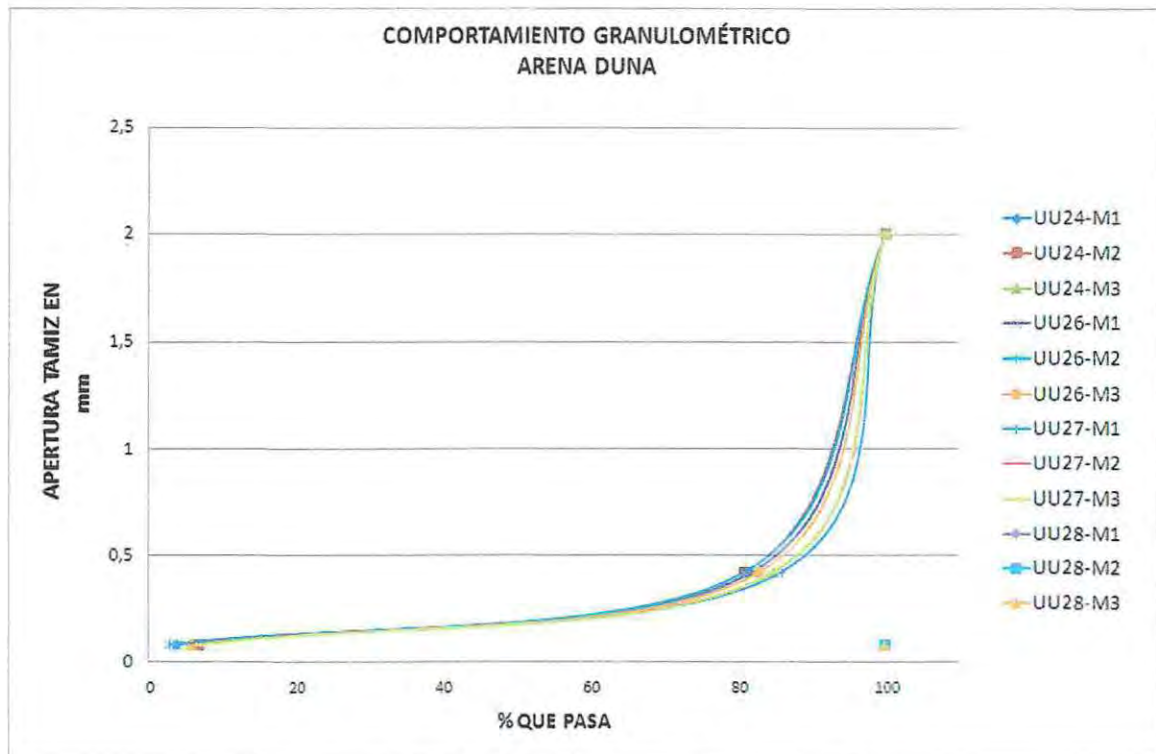


Figura 4-10 : Banda Granulométrica Arena Duna

4.3.2.2 Capacidad de Soporte California

El análisis de la capacidad de soporte de california CBR, para arenas de duna se muestra en la tabla 4-18.

Tabla 4-18 : Capacidad de Soporte CBR - Arena Duna

CAPACIDAD DE SOPORTE DE CALIFORNIA												
CBR (%)	UU24			UU26			UU27			UU28		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CBR Correspondiente al 95 % de la D.M.C.S.	36			36			36			36		
RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR							36					

M1 = Muestra 1
M2 = Muestra 2
M3 = Muestra 3

De la tabla 4-18 se desprende que un suelo que tenga un CBR del 36 % podrá clasificarse como suelo tipo 2.

4.3.2.3 Peso Específico de Los Sólidos

En la tabla 4-19 se muestra los parámetros aceptables para clasificar como suelo tipo 2 una arena de duna según su peso específico.

Tabla 4-19 : Peso Específico de los Sólidos Arena Duna

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS												
DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS	UU24			UU26			UU27			UU28		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,766			2,86			2,738			2,648		
RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN P.ESPECIFICO SOLIDOS						2,75 +/- 0,1 [kg/cm ³]						

M1 = Muestra 1

M2 = Muestra 2

M3 = Muestra 3

4.3.2.4 Límites de Atterberg

Las cuatro muestras de arena de duna ensayadas en laboratorio no presentan índice de plasticidad, es decir son NP (no plásticas), es por ello que no se consideran los Límites de Atterberg para la clasificación de las arenas de duna como suelo tipo 2.

4.4 LIMOS

Para analizar los limos inorgánicos bajo el ensayo triaxial, se evaluaron seis muestras de suelo, a continuación se describe el procedimiento llevado a cabo. La muestra se identifica como UU4.

4.4.1 Suelo UU4

Tabla 4-20 : Identificación Muestra UU4 - Limo

1 ANTECEDENTES GENERALES				
1.1 Descripción e identificación de suelos según ASTM D 2488-09a (3)				
PROYECTO	Trabajo de Título			
TIPO DE ENSAYO	Célula Triaxial	CALICATA	-	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO	Limo	PROFUNDIDAD	-	
FECHA DE MUESTREO	sábado, 12 de septiembre de 2015	[m]		
FECHA DE ENSAYE	sábado, 26 de septiembre de 2015			
1.1.1 Descripción Visual				
SUELO	Limo	DISTRIBUCIÓN APROXIMADA DE GRANOS		
PLASTICIDAD	12	GRAVA	ARENA	FINOS
TAMAÑO MÁXIMO	0,5 (mm)	[%]	[%]	[%]
COLOR	Café Rojizo	0	5	95
MATERIA ORNANICA	NP			
CLASIFICACIÓN USCS	MH			
1.2 Densidad de partículas sólidas, según NCh 1532 Of.80 (1)				
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,690	FECHA DE REALIZACIÓN	sábado, 26 de septiembre de 2015	
LABORATORISTA	-			
1.3 Densidad suspendida y humedad natural, según AASHTO T 233-02 (1)(2) y NCh 1515 Of.79 (1)				
DENSIDAD HUMEDA	1 619	[kg/m³]	HUMEDAD NATURAL [%]	59,0
DENSIDAD SECA	1 018	[kg/m³]	FECHA DE REALIZACIÓN	sábado, 26 de septiembre de 2015
LABORATORISTA				-

Tabla 4-21 : Características Muestra UU4 - Limo

2 CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA				
2.1 Compresión triaxial no consolidado y no drenado (UU), según ASTM D 2850-03a (2007) (1) (2)				
		PROBETA	PROBETA	PROBETA
PROBETA REMOLDEADA	Nº	1 de 3	2 de 3	3 de 3
TIPO DE PROBETA		Tallada	Tallada	Tallada
DIÁMETRO INICIAL	[mm]	50,8	51,9	51,6
ALTURA INICIAL	[mm]	101,3	101,3	101,3
ALTURA DESPUÉS CONSOLIDACIÓN	[mm]	81,0	81,0	81,0
RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO (A/D)	[-]	2,0	2,0	2
DENSIDAD HÚMEDA	[kg/m³]	1 620	1 620	1 620
DENSIDAD SECA	[kg/m³]	1 020	1 020	1020
HUMEDAD INICIAL EXCEDENTE	[%]	58,3	58,3	58,3
HUMEDAD FINAL PROBETA ENTERA	[%]	59,0	59,0	59,000
PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS	[-]	2,690	2,690	2,690
GRADO DE SATURACIÓN	[%]	96,01	96,22	96,33
VELOCIDAD DEFORMACIÓN	[%h/min]	1,000	1,000	1,000
RESISTENCIA MÁXIMA	[kgf/cm²]	3,128	3,576	4,178
TENSIÓN PRINCIPAL MENOR	[kgf/cm²]	0,500	1,000	1,500
TENSIÓN PRINCIPAL MAYOR	[kgf/cm²]	3,628	4,576	5,678
DEF. UNIT. AXIAL FALLA EN 0,01 MM	[%]	3,642	5,597	6,08
RAZÓN DE VACÍO	[-]	1,63	1,63	1,63

La presión de confinamiento con la que se realizan los ensayos triaxiales, para las probetas N° 1, N° 2 y N° 3, del suelo identificado UU4 son $\sigma_3 = 0,5$ [kgf/cm²], $\sigma_3 = 1,0$ [kgf/cm²], $\sigma_3 = 1,5$ [kgf/cm²], respectivamente, los esfuerzos de compresión triaxial se muestran en la tabla 4-22.

Tabla 4-22 : Ensayo Triaxial Muestra UU4 - Limo

3 ENSAYO TRIAXIAL					
DEFORMACIÓN AXIAL ϵ [%]			ESFUERZO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL		
s3=0,50 [kgf/cm ²]	s3=1,00 [kgf/cm ²]	s3=1,50 [kgf/cm ²]	(s1 - s3) [kgf/cm ²]		
0,184	0,000	0,000	0,819	0,000	0,000
0,184	0,239	0,294	0,819	1,405	1,990
0,235	0,239	0,243	1,500	1,405	1,309
0,703	0,708	0,714	2,168	2,476	2,784
1,197	0,708	0,620	2,547	2,476	2,605
1,197	1,197	1,297	2,547	2,985	3,223
1,695	1,197	1,498	2,822	2,985	3,447
1,695	1,691	1,686	2,822	3,243	3,663
2,677	1,691	1,704	3,072	3,243	3,613
3,161	2,668	2,176	3,127	3,491	3,855
3,642	3,154	2,665	3,128	3,540	3,952
4,137	3,643	3,149	3,123	3,566	4,009
4,623	4,126	3,629	3,083	3,568	4,053
5,114	4,615	4,117	3,053	3,576	4,099
5,600	5,106	4,612	3,017	3,571	4,125
6,090	5,597	5,105	2,998	3,575	4,153
6,578	6,077	5,576	2,966	3,567	4,168
7,075	6,572	6,070	2,950	3,558	4,166
8,072	7,075	6,078	2,931	3,555	4,178
9,045	8,066	7,087	2,897	3,533	4,169
10,017	9,031	8,044	2,882	3,521	4,160
11,007	10,007	9,007	2,876	3,499	4,121
11,980	10,986	9,992	2,855	3,479	4,104
12,956	11,971	10,986	2,820	3,465	4,111
13,944	12,953	11,963	2,797	3,439	4,080
14,910	13,930	12,949	2,759	3,409	4,059
15,883	14,893	13,904	2,731	3,383	4,034
16,879	15,874	14,868	2,720	3,350	3,979
17,861	16,875	15,888	2,741	3,307	3,873
18,838	17,853	16,868	2,826	3,268	3,710
20,024	18,829		2,860	3,221	
-	20,040		-	3,159	

El esfuerzo de compresión triaxial máximo, para cada probeta ensayada, se identifica con color amarillo en la tabla 4-22. En resumen tenemos,

- $\sigma_3 = 0,5 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \rightarrow (\sigma_1 - \sigma_3) = 3,128 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \rightarrow \xi = 3,642$
- $\sigma_3 = 1,0 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \rightarrow (\sigma_1 - \sigma_3) = 3,575 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \rightarrow \xi = 5,597$
- $\sigma_3 = 1,5 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \rightarrow (\sigma_1 - \sigma_3) = 4,178 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \rightarrow \xi = 6,078$

Para representar de mejor forma estos valores obtenidos, se grafican mediante un gráfico de curvas, esfuerzo v/s deformación como se muestra a continuación en la figura 4-11.

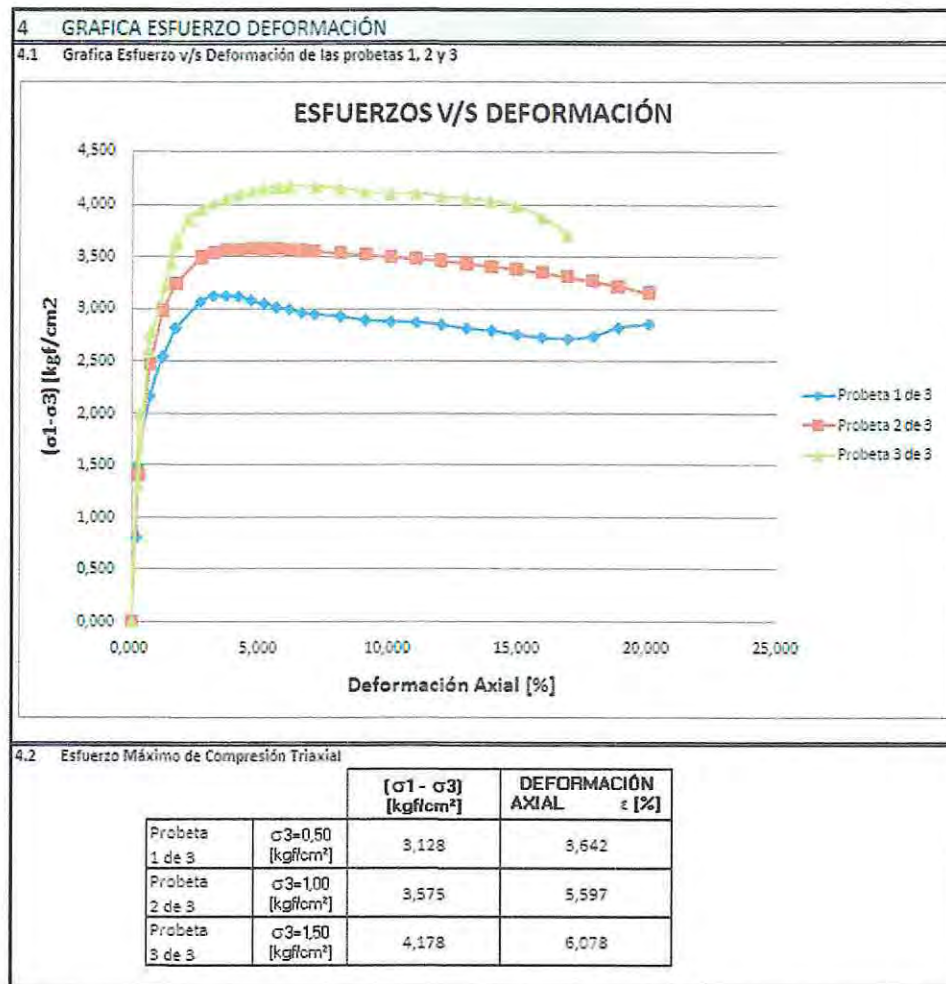


Figura 4-11 : Gráfica Esfuerzo Deformación Muestra UU4 - Limo

Con los esfuerzos máximos, resultados del ensayo triaxial, se procede a realizar los cálculos para la conformación del círculo de Mohr , se debe tener presente los siguientes parámetros del círculo:

Centro :
$$c = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \quad \text{(Ecuación 2.26)}$$

Radio :
$$c = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \quad \text{(Ecuación 2.27)}$$

Tabla 4-23 : Datos gráfica círculo de Muestra UU4 - Limo

5 CIRCULO DE MORH									
5.1 Antecedentes para el cálculo de la circunferencias de Morh Probetas 1, 2 y 3									
PROBETA N° 1				PROBETA N° 2			PROBETA N° 3		
Estado de Carga $s_3= 0,5$				Estado de Carga $s_3= 1,00$			Estado de Carga $s_3= 1,50$		
(s1 - s3)	3,128	[kgf/cm ²]		(s1 - s3)	3,575	[kgf/cm ²]	(s1 - s3)	4,178	[kgf/cm ²]
s1	3,628	[kgf/cm ²]		s1	4,575	[kgf/cm ²]	s1	5,678	[kgf/cm ²]
s3	0,500	[kgf/cm ²]		s3	1,000	[kgf/cm ²]	s3	1,500	[kgf/cm ²]
Centro	2,0642			Centro	2,7877		Centro	3,5892	
Radio	1,5642			Radio	1,7877		Radio	2,0892	
Angulo 2 θ	Angulo Radianes	Sigma	Tau	Angulo Radianes	Sigma	Tau	Angulo Radianes	Sigma	Tau
0	0,0000	3,6284	0,0000	0,0000	4,5754	0,0000	0,0000	5,6783	0,0000
10	0,1745	3,6046	0,2716	0,1745	4,5482	0,3104	0,1745	5,6466	0,3628
20	0,3491	3,5341	0,5350	0,3491	4,4676	0,6114	0,3491	5,5523	0,7145
30	0,5236	3,4188	0,7821	0,5236	4,3359	0,8938	0,5236	5,3984	1,0446
40	0,6981	3,2624	1,0054	0,6981	4,1571	1,1491	0,6981	5,1895	1,3429
50	0,8727	3,0696	1,1982	0,8727	3,9368	1,3694	0,8727	4,9320	1,6004
60	1,0472	2,8463	1,3546	1,0472	3,6815	1,5482	1,0472	4,6337	1,8093
70	1,2217	2,5992	1,4699	1,2217	3,3991	1,6799	1,2217	4,3037	1,9632
80	1,3963	2,3358	1,5404	1,3963	3,0981	1,7605	1,3963	3,9519	2,0574
90	1,5708	2,0642	1,5642	1,5708	2,7877	1,7877	1,5708	3,5892	2,0892
100	1,7453	1,7926	1,5404	1,7453	2,4773	1,7605	1,7453	3,2264	2,0574
110	1,9199	1,5292	1,4699	1,9199	2,1763	1,6799	1,9199	2,8746	1,9632
120	2,0944	1,2821	1,3546	2,0944	1,8938	1,5482	2,0944	2,5446	1,8093
130	2,2689	1,0588	1,1982	2,2689	1,6386	1,3694	2,2689	2,2463	1,6004
140	2,4435	0,8660	1,0054	2,4435	1,4182	1,1491	2,4435	1,9888	1,3429
150	2,6180	0,7096	0,7821	2,6180	1,2395	0,8938	2,6180	1,7799	1,0446
160	2,7925	0,5943	0,5350	2,7925	1,1078	0,6114	2,7925	1,6260	0,7145
170	2,9671	0,5238	0,2716	2,9671	1,0272	0,3104	2,9671	1,5317	0,3628
180	3,1416	0,5000	0,0000	3,1416	1,0000	0,0000	3,1416	1,5000	0,0000
190	3,3161	0,5238	-0,2716	3,3161	1,0272	-0,3104	3,3161	1,5317	-0,3628
200	3,4907	0,5943	-0,5350	3,4907	1,1078	-0,6114	3,4907	1,6260	-0,7145
210	3,6652	0,7096	-0,7821	3,6652	1,2395	-0,8938	3,6652	1,7799	-1,0446
220	3,8397	0,8660	-1,0054	3,8397	1,4182	-1,1491	3,8397	1,9888	-1,3429
230	4,0143	1,0588	-1,1982	4,0143	1,6386	-1,3694	4,0143	2,2463	-1,6004
240	4,1888	1,2821	-1,3546	4,1888	1,8938	-1,5482	4,1888	2,5446	-1,8093
250	4,3633	1,5292	-1,4699	4,3633	2,1763	-1,6799	4,3633	2,8746	-1,9632
260	4,5379	1,7926	-1,5404	4,5379	2,4773	-1,7605	4,5379	3,2264	-2,0574
270	4,7124	2,0642	-1,5642	4,7124	2,7877	-1,7877	4,7124	3,5892	-2,0892
280	4,8869	2,3358	-1,5404	4,8869	3,0981	-1,7605	4,8869	3,9519	-2,0574
290	5,0615	2,5992	-1,4699	5,0615	3,3991	-1,6799	5,0615	4,3037	-1,9632
300	5,2360	2,8463	-1,3546	5,2360	3,6815	-1,5482	5,2360	4,6337	-1,8093
310	5,4105	3,0696	-1,1982	5,4105	3,9368	-1,3694	5,4105	4,9320	-1,6004
320	5,5851	3,2624	-1,0054	5,5851	4,1571	-1,1491	5,5851	5,1895	-1,3429
330	5,7596	3,4188	-0,7821	5,7596	4,3359	-0,8938	5,7596	5,3984	-1,0446
340	5,9341	3,5341	-0,5350	5,9341	4,4676	-0,6114	5,9341	5,5523	-0,7145
350	6,1087	3,6046	-0,2716	6,1087	4,5482	-0,3104	6,1087	5,6466	-0,3628
360	6,2832	3,6284	0,0000	6,2832	4,5754	0,0000	6,2832	5,6783	0,0000

De los datos mostrados en la tabla 4-23 se gráfica σ v/s el esfuerzo cortante τ (tau), de cada probeta ensayada, obtenemos los círculos de para el limo identificado como UU4. La gráfica se muestra en la figura 4-12.

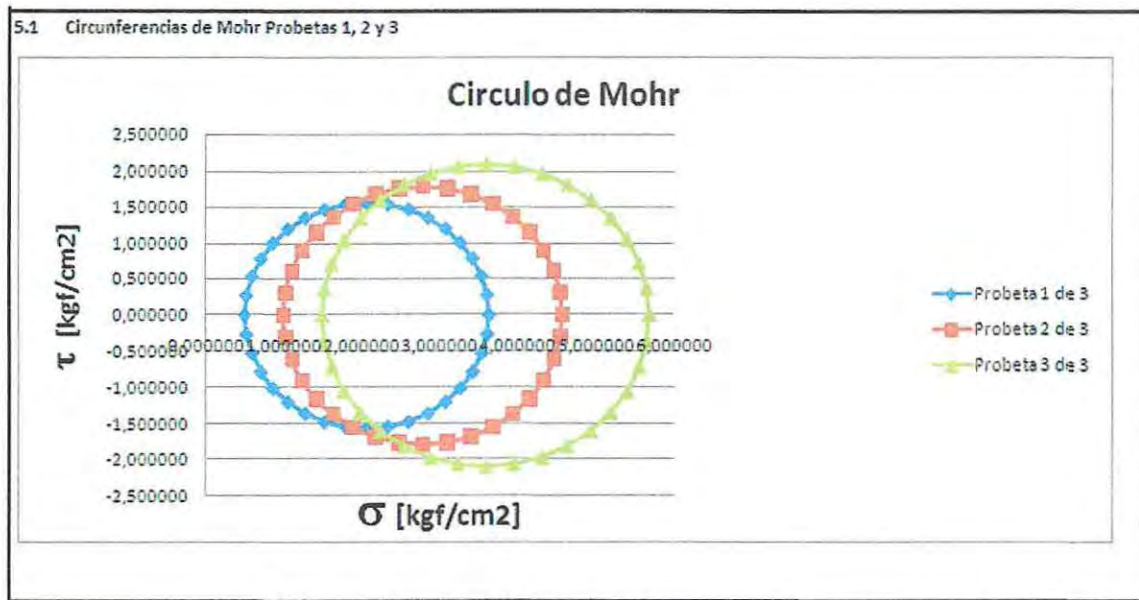


Figura 4-12 : Círculo de Mohr Muestra UU4 - Limo

Trazando la tangente que mejor se ajuste a los tres círculos, como se muestra en la figura 4-13, se procede a obtener el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo UU4

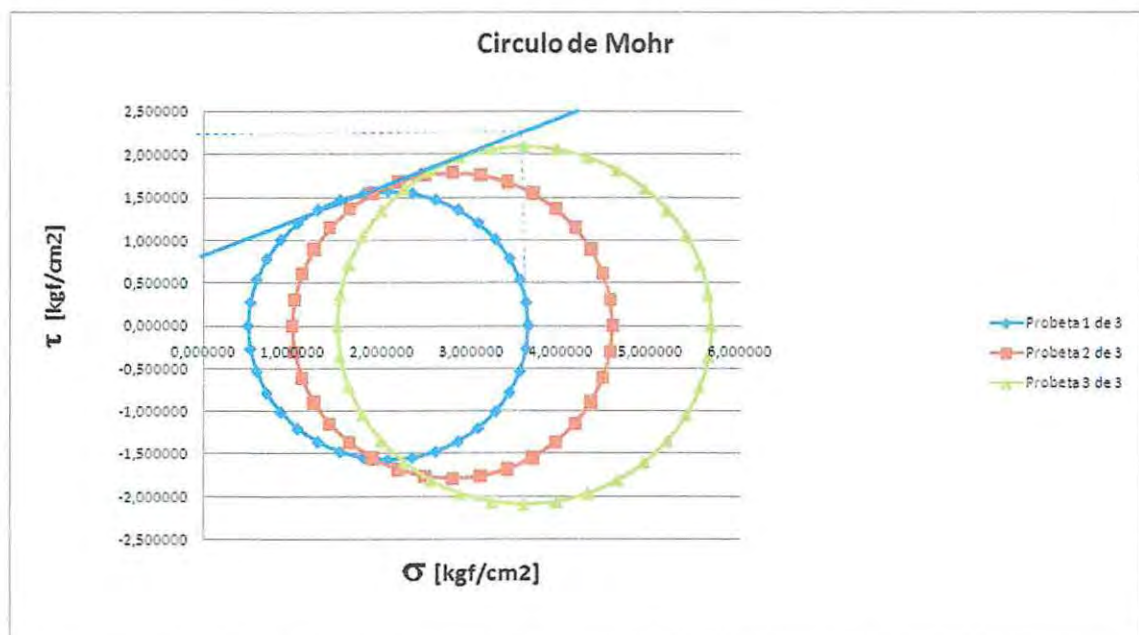


Figura 4-13 : Círculo de Mohr Muestra UU4 - Limo

Se obtiene la cohesión (c), de la intersección entre la tangente envolvente de los círculos de Mohr, con respecto al eje Y de las ordenadas, el ángulo de inclinación que forma la tangente, es el ángulo de fricción interna (ϕ) correspondiente, la tabla 4-24, muestra los valores obtenidos para el suelo UU4.

Tabla 4-24 : Valores Extraídos de los círculo de Mohr Suelo UU4 - Limo

5.2 Antecedentes Obtenidos del Circulo de Mohr			
Cohesión	C :	1,00	CO: 2,6
Angulo de Fricción Interna	ϕ :	33,02	CA: 4
Formula de Coulomb	$\tau = C + \sigma * \text{Tan } \phi$		Tan ϕ 0,65

Esta metodología de trabajo se lleva a cabo con las seis muestras identificadas como UU1, UU2, UU3, UU4, UU6, UU8, los valores de cada ensayo triaxial, c y ϕ , se resumen en la tabla 4-25 que a continuación se indica, en los anexos de esta memoria se adjunta el análisis de las muestras restantes.

Tabla 4-25 : Resultados Ensayo Triaxial - Limo

ENSAYO TRIAXIAL PARA LIMO								
IDENTIFICACIÓN MUESTRA	TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN	INDICE PLASTICIDAD	COHESIÓN	COHESIÓN	ANGULO FRICCIÓN INTERNA	PESO ESP. DE LOS SOLIDOS	PESO ESP. DEL SUELOS
		USCS	IP	C	C	f	Gs	γ
					[kPa]	°		γ [kN/m ³]
UU1	LIMO	MH	12	0,13	12,74	9,34	2,571	25,71
UU2	LIMO	MH	11	1,10	107,80	30,30	2,756	27,56
UU3	LIMO	MH	12	1,25	122,50	34,30	2,545	25,45
UU4	LIMO	MH	12	1,00	98,00	33,02	2,690	26,9
UU6	LIMO	MH	10	1,00	98,00	30,30	2,56	25,6
UU8	LIMO	MH	10	1,00	98,00	31,75	2,596	25,96
SUELO TIPO 1			11,00	1,20	104,86	31,69	2,714	26,29

Este resumen muestra los valores de c y ϕ para cada muestra ensaya, se saca un promedio de estos valores para poder identificar los limos inorgánicos como suelo tipo 3. Cabe destacar que de las seis muestras analizadas, podemos distinguir que el ensayo triaxial realizado a la muestra UU1, no guarda relación con los valores de las muestras restantes debido a una mala manipulación de la probeta al momento de ser ensayada, es por esto que se excluyen al sacar los promedios de c, ϕ y γ .

4.4.2 Propiedades Físicas de los Limos

4.4.2.1 Granulometría

A continuación se describen las propiedades físicas de los limos que se ensayan en el laboratorio, el fin es obtener un parámetro representativo de este tipo de suelo el cual pueda identificar de manera simplificada un limo como suelo tipo 3.

En las tabla 4-26 y 4-27 se muestra el análisis granulométrico de las seis muestras de limo, se ensayan tres probetas por cada una de las muestras.

Tabla 4-26 : Granulometría Limo

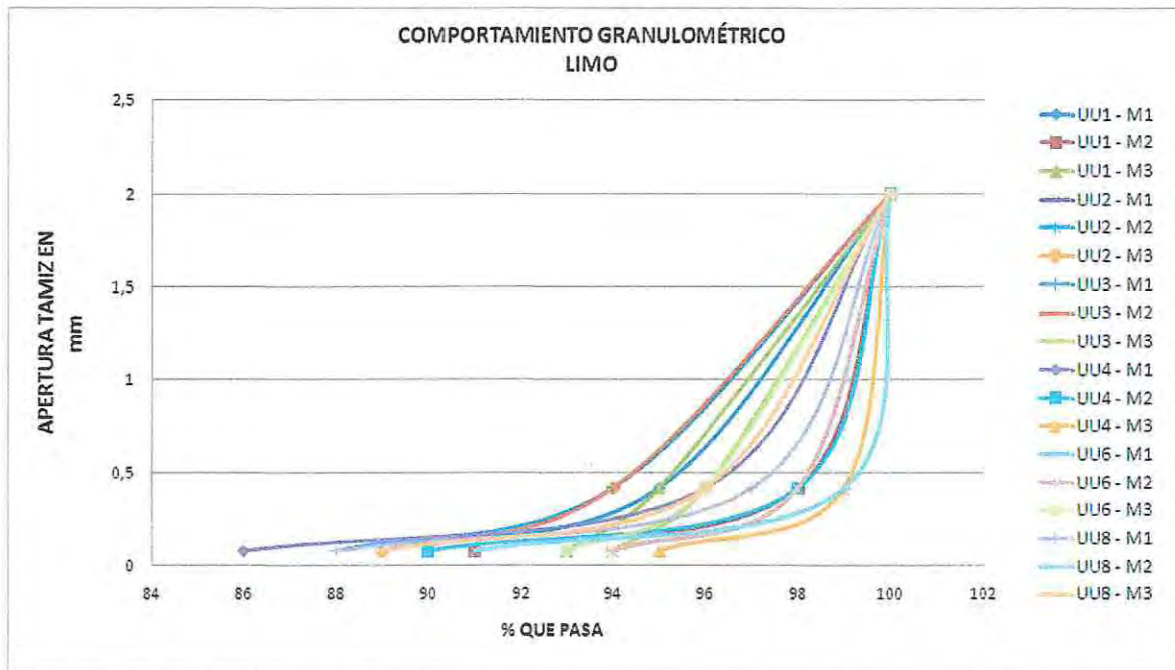
GRANULOMÉTRIAS LIMO										
TAMICES		UU1			UU2			UU3		
ASTM	NCh (mm)	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
3"	80									
2 1/2"	63									
2"	50									
1 1/2"	40									
1"	25									
3/4"	20									
3/8"	10									
N° 4	5									
N° 10	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N° 40	0,42	95	98	95	98	96	94	94	94	96
N° 200	0,08	89	91	93	94	93	89	88	89	94

Tabla 4-27 : Granulometría Limo

GRANULOMÉTRIAS LIMO										
TAMICES		UU4			UU6			UU8		
ASTM	NCh (mm)	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
3"	80									
2 1/2"	63									
2"	50									
1 1/2"	40									
1"	25									
3/4"	20									
3/8"	10									
N° 4	5									
N° 10	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N° 40	0,42	96	98	99	99	98	96	97	99	96
N° 200	0,08	86	90	95	91	94	93	88	91	89

Graficando los datos de las tablas 4-26 y 4-27 podemos obtener una tendencia de la granulometría representativa de las arenas de duna según su análisis. Figura 4-14.

Figura 4-14 : Banda Granulométrica Limos



4.4.2.2 Capacidad de Soporte California

El análisis de la capacidad de soporte de california CBR, para los limos se muestra en la tabla 4-28.

Tabla 4-28 : Capacidad de Soporte California "CBR"

CAPACIDAD DE SOPORTE DE CALIFORNIA									
CBR (%)	UU1			UU2			UU3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CBR Correspondiente al 95 % de la D.M.C.S.	11			9			10		

CAPACIDAD DE SOPORTE DE CALIFORNIA									
DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS	UU4			UU6			UU8		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CBR Correspondiente al 95 % de la D.M.C.S.	11			9			10		
RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR				10					

De la tabla 4-28 se desprende que un suelo que tenga un CBR 10 % podrá clasificarse como suelo tipo 3.

4.4.2.3 Peso Específico de Los Sólidos

En la tabla 4-29 se muestran los parámetros aceptables para clasificar como suelo tipo 3 un limo según su peso específico.

Tabla 4-29 : Peso específico de los sólidos - Limo

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS									
DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS	UU1			UU2			UU3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,571			2,572			2,545		

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS									
DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS	UU4			UU6			UU8		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	2,690			2,560			2,596		
RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN P.ESPECIFICO SOLIDOS				2,589 +/- 0,1 [kg/cm ³]					

Se considera un peso específico de 2,589 +/- 0.1 Kg/cm³ para clasificar un limo como suelo tipo 3.

4.4.2.4 Límites de Atterberg

Los limos tienen diferentes niveles de plasticidad, este parámetro se identifica en la tabla 4-30, para cada muestra de limos ensayados.

Tabla 4-30 : Índice de plasticidad - Limo

LIMITES DE ATTERBERG						
	UU1	UU2	UU3	UU4	UU6	UU8
LL	52	54	58	55	51	51
LP	40	43	46	43	41	41
IP	12	11	12	12	10	10
IP PROMEDIO	11					

De la tabla 4-30 se estima un índice de plasticidad promedio de 11, con este parámetro se clasifica un limo como suelo tipo 3.

4.5 MODELACIÓN DE FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES

Se extraen los valores de c , ϕ y γ promedio obtenidos de los ensayos triaxial para el suelo tipo 1 de la tabla 4-6, suelo tipo 2 de la tabla 4-16 y suelo tipo 3 de la tabla 4-25. Estos valores se ingresan a la planilla de estabilidad de taludes, la cual mediante iteraciones nos entrega un factor de seguridad para encontrar la estabilidad de los mismos, el procedimiento es el siguiente:

- Se introducen los parámetros geomecánicos c , ϕ y γ , de cada suelo según corresponda el análisis que se está realizando.
- Se introducen los datos geométricos del perfil del talud, ver figura 4-15, perfil tipo.
- Se introducen los datos geométricos del nivel freático, ver figura 4-16, perfil tipo.
- La planilla calcula automáticamente el método ordinario o de Fellenius, sin embargo, se deben realizar un par de iteraciones para encontrar el factor de seguridad de un talud por el método de Bishop.

Cabe destacar que la planilla de estabilidad de taludes es una herramienta pedagógica sin embargo para asegurar la certeza de estos resultados, se fue ingresando y comparando los valores obtenidos con el programa GEO5, estabilidad de taludes, encontrando valores aceptables.

Eventualmente el análisis de cada tipo de suelo se lleva a cabo para diferentes alturas e inclinaciones del talud, con el fin de conocer el comportamiento del suelo variando estos dos factores que influyen directamente en la estabilidad de un talud.

Se analiza cada tipo de suelo sin nivel de infiltración y con nivel de infiltración, se considera un nivel freático constante para todas las iteraciones debido a que una pequeña variación en la altura del agua genera variaciones en los factores de seguridad del talud.

La figura 4-15 muestra la geometría utilizada para el análisis de la estabilidad de taludes sin nivel freático, y la figura 4-16 muestra la geometría utilizada para el mismo análisis pero con nivel freático. Cabe destacar que la geometría varía según la inclinación (ángulo β) altura (h) que se fue proporcionando al talud para el análisis de los factores de seguridad (F_s).

Se considera el caso más desfavorable para el análisis con nivel freático, esto ocurre cuando el suelo se encuentra totalmente saturado, es por ello que la estabilidad del talud se analiza para esa situación.

Se realizan reiteradas iteraciones de la superficie de falla debido a que este factor es uno de los parámetros mas incidente al momento del cálculo del factor de seguridad, para cada análisis se idéntica una superficie de falla del tipo circular, la figura 4-17 indica la superficie de falla tipo que se utiliza para el análisis de cada suelo en estudio.

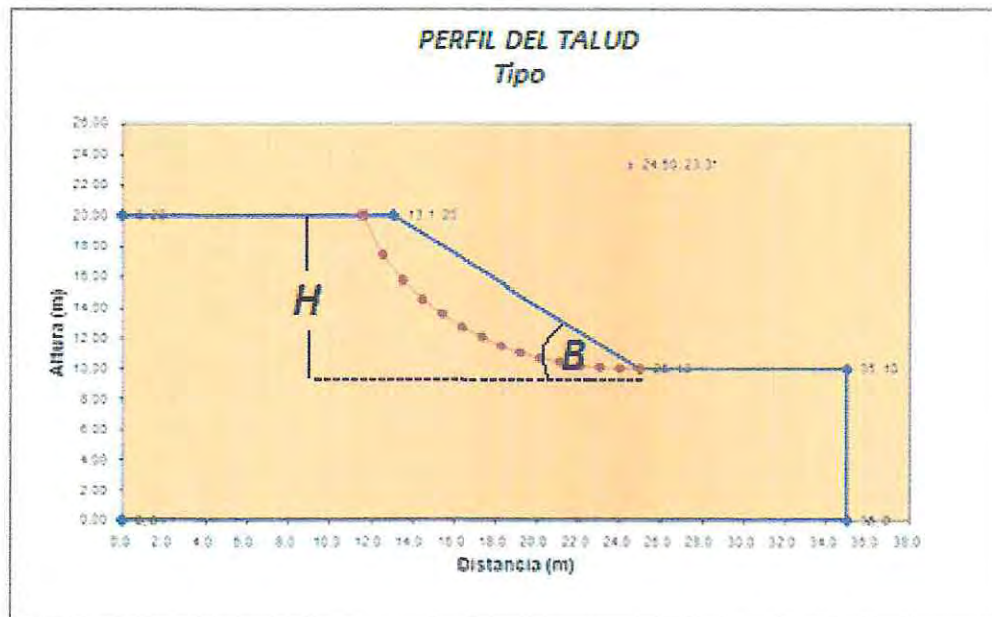


Figura 4-15 : Geometría Perfil Tipo Sin Infiltración

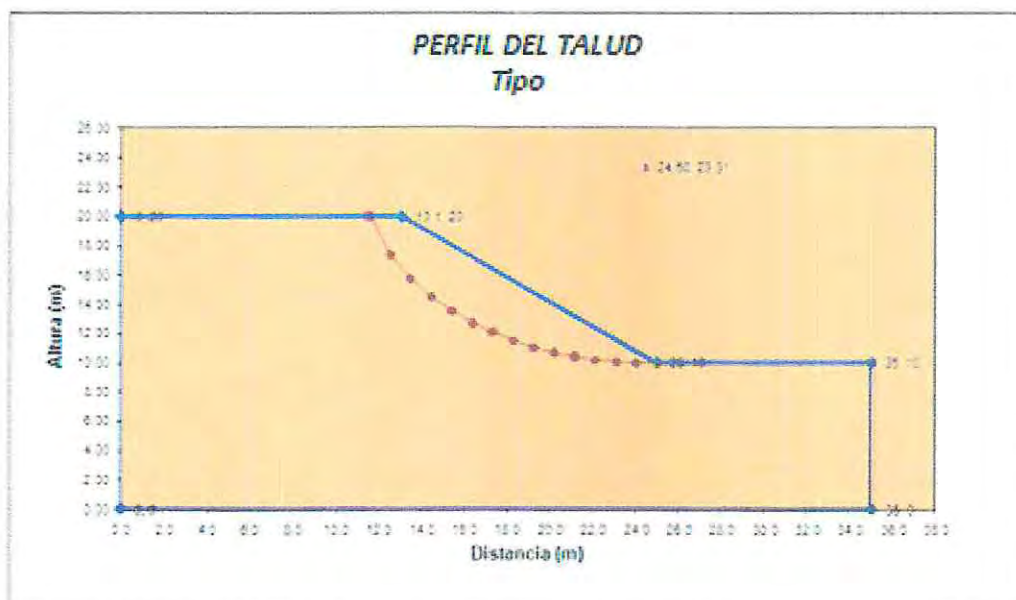


Figura 4-16 : Geometría Perfil Tipo Con Infiltración

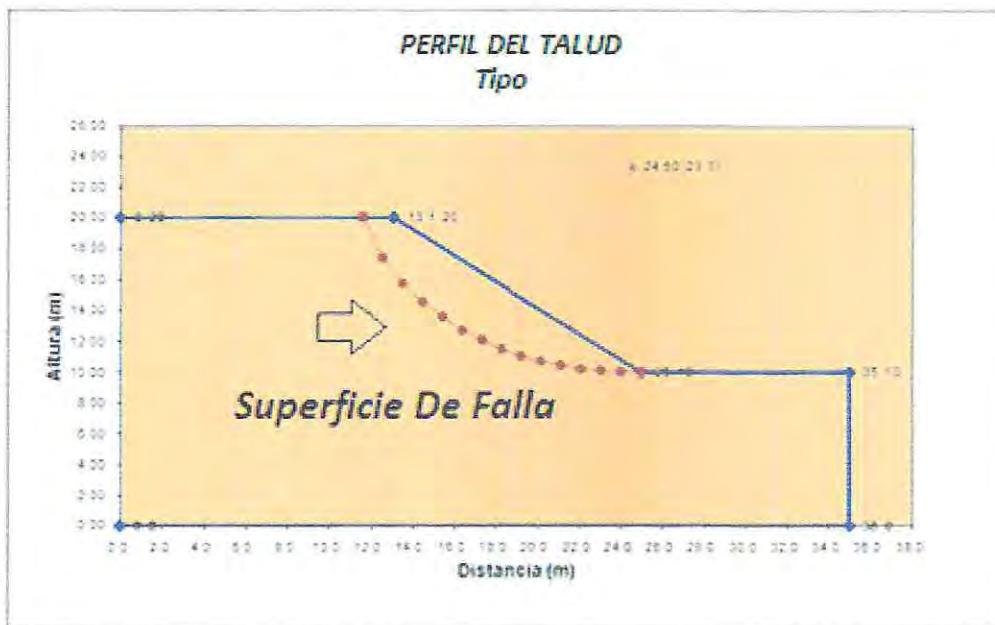


Figura 4-17 : Geometría Perfil Superficie de Falla

4.5.1 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 1 - Arenas Limosas

La distribución geométrica que se utiliza para estimar los factores de seguridad de la estabilidad del talud conformado por el suelo de tipo 1 se muestra en la figura 4-15.

Con la identificación del suelo en el punto 4.2, se realizan iteraciones considerando la variación de altura (h) y ángulo de inclinación (β) de un talud para encontrar la estabilidad de éste mediante un factor de seguridad apropiado para arenas limosas, identificado como suelo tipo 1.

4.5.1.1 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 1 - Sin infiltración

A continuación se muestran las tablas iterativas donde se identifican el factor de seguridad del suelo tipo 1 sin nivel de infiltración, según su ángulo de inclinación para $\beta=30^\circ$, $\beta=40^\circ$, $\beta=50^\circ$, $\beta=60^\circ$, $\beta=70^\circ$ y $\beta=80^\circ$, con la variación de altura desde 1 [m] hasta 10 [m] del talud.

Tabla 4-31 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración

$\beta = 30^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN						FACTOR DE SEGURIDAD	
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA							
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	30,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	11,00	0,00	11,00	21,27	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	9,735	9,800
2,00	30,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	12,00	0,00	12,00	20,05	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	5,235	5,313
3,00	30,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	13,00	0,00	13,00	18,35	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,971	4,057
4,00	30,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,10	14,00	0,00	14,00	16,60	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,388	3,479
5,00	30,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,40	15,00	0,00	15,00	14,90	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,030	3,124
6,00	30,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,70	16,00	0,00	16,00	13,20	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,787	2,883
7,00	30,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,00	17,00	0,00	17,00	11,50	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,607	2,704
8,00	30,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	11,20	18,00	0,00	18,00	9,70	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,493	2,591
9,00	30,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	9,60	19,00	0,00	19,00	8,10	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,377	2,477
10,00	30,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	7,80	20,00	0,00	20,00	6,30	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,303	2,403

Tabla 4-32 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración

$\beta = 40^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN						FACTOR DE SEGURIDAD	
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA							
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	40,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,81	11,00	0,00	11,00	21,81	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	8,501	8,538
2,00	40,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,65	12,00	0,00	12,00	20,65	10,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,345	4,439
3,00	40,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,50	13,00	0,00	13,00	19,50	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,222	3,324
4,00	40,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,30	14,00	0,00	14,00	18,30	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,715	2,825
5,00	40,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,10	15,00	0,00	15,00	17,10	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,418	2,533
6,00	40,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,00	16,00	0,00	16,00	16,00	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,201	2,321
7,00	40,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,80	17,00	0,00	17,00	14,80	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,062	2,186
8,00	40,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	15,50	18,00	0,00	18,00	13,50	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,967	2,093
9,00	40,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,50	19,00	0,00	19,00	12,50	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,863	1,991
10,00	40,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,10	20,00	0,00	20,00	11,10	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,808	1,939

Tabla 4-33 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración

$\beta = 50^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	50,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,17	11,00	0,00	11,00	22,17	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	7,892	7,996
2,00	50,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,33	12,00	0,00	12,00	21,33	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,948	4,054
3,00	50,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,49	13,00	0,00	13,00	20,49	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,910	3,018
4,00	50,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,65	14,00	0,00	14,00	19,65	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,443	2,543
5,00	50,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,86	15,00	0,00	15,00	18,86	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,152	2,265
6,00	50,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,00	16,00	0,00	16,00	18,00	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,969	2,124
7,00	50,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,15	17,00	0,00	17,00	17,15	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,843	1,964
8,00	50,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,30	18,00	0,00	18,00	16,30	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,744	1,870
9,00	50,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	17,45	19,00	0,00	19,00	15,45	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,660	1,794
10,00	50,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,70	20,00	0,00	20,00	14,70	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,604	1,735

Tabla 4-34 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración

$\beta = 60^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	60,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,43	11,00	0,00	11,00	22,43	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	7,637	7,771
2,00	60,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,85	12,00	0,00	12,00	21,85	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,800	3,916
3,00	60,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	13,00	0,00	13,00	21,27	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,819	2,910
4,00	60,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,70	14,00	0,00	14,00	20,70	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,381	2,453
5,00	60,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,12	15,00	0,00	15,00	20,12	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,134	2,195
6,00	60,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	16,00	0,00	16,00	19,55	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,975	2,030
7,00	60,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,10	17,00	0,00	17,00	19,10	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,878	1,925
8,00	60,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,40	18,00	0,00	18,00	18,40	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,781	1,837
9,00	60,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	19,00	0,00	19,00	17,85	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,718	1,776
10,00	60,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,25	20,00	0,00	20,00	17,25	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,665	1,725

Tabla 4-35 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración

$\beta = 70^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
				X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y			
1,00	70,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,64	11,00	0,00	11,00	22,64	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	7,619	7,794
2,00	70,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,28	12,00	0,00	12,00	22,28	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,880	4,001
3,00	70,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,91	13,00	0,00	13,00	21,91	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,981	3,012
4,00	70,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,55	14,00	0,00	14,00	21,55	14,00	25,00	10,00	23,00	11,00	1,936	1,916
5,00	70,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,18	15,00	0,00	15,00	21,18	15,00	25,00	10,00	23,00	11,00	1,705	1,674
6,00	70,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	16,00	0,00	16,00	20,46	16,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,427	1,405
7,00	70,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	17,00	0,00	17,00	20,46	17,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,323	1,293
8,00	70,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,10	18,00	0,00	18,00	20,10	18,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,243	1,219
9,00	70,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,73	19,00	0,00	19,00	19,73	19,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,180	1,156
10,00	70,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,40	20,00	0,00	20,00	19,40	20,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,127	1,100

Tabla 4-36 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 1. Sin Infiltración

$\beta = 80^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
				X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y			
1,00	80,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,83	11,00	0,00	11,00	22,83	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	7,856	8,098
2,00	80,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,65	12,00	0,00	12,00	22,65	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,287	4,398
3,00	80,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,52	13,00	0,00	13,00	22,52	13,00	25,00	10,00	23,50	11,00	2,043	1,991
4,00	80,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,30	14,00	0,00	14,00	22,30	14,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,734	1,646
5,00	80,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,15	15,00	0,00	15,00	22,15	15,00	25,00	10,00	23,50	11,00	1,567	1,438
6,00	80,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,00	16,00	0,00	16,00	22,00	16,00	25,00	10,00	24,00	11,00	1,242	1,162
7,00	80,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,77	17,00	0,00	17,00	21,77	17,00	25,00	10,00	24,00	11,00	1,159	1,071
8,00	80,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,60	18,00	0,00	18,00	21,60	18,00	25,00	10,00	24,00	11,00	1,095	0,995
9,00	80,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,42	19,00	0,00	19,00	21,42	19,00	25,00	10,00	24,00	11,00	1,047	0,937
10,00	80,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,25	20,00	0,00	20,00	21,25	20,00	25,00	10,00	24,00	11,50	0,960	0,907

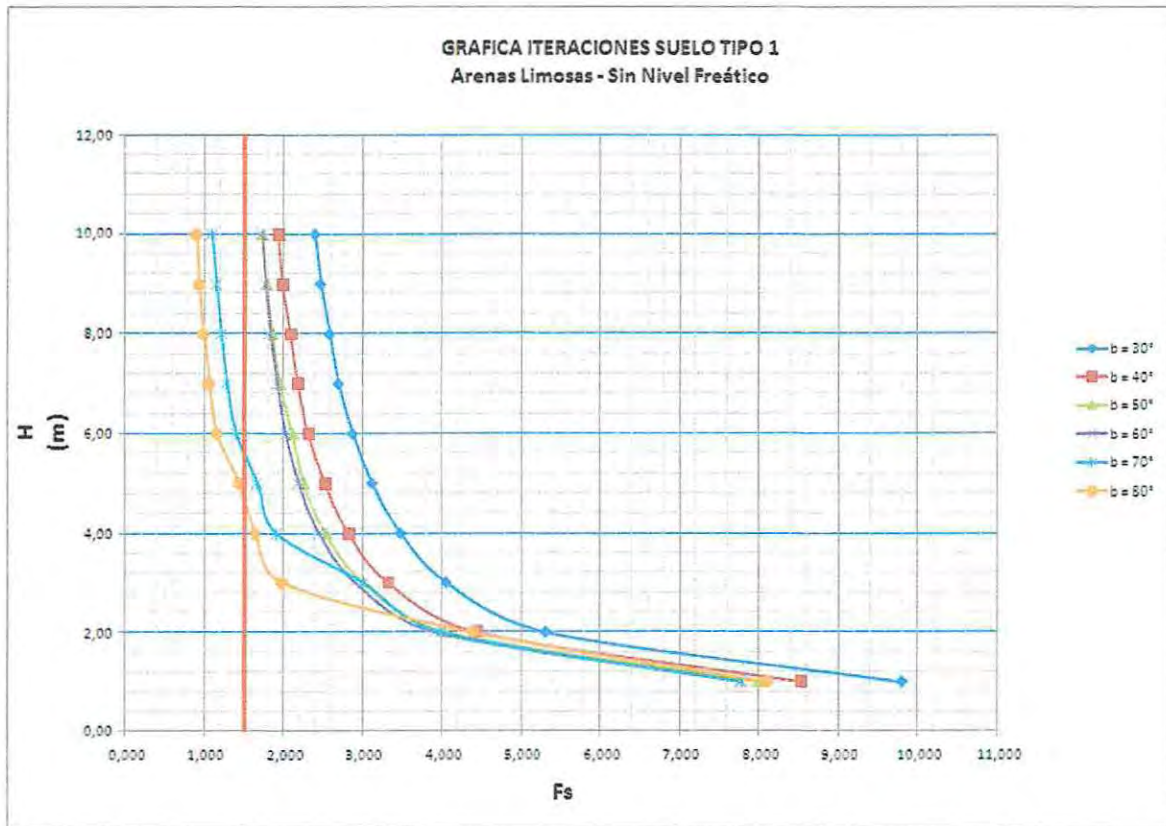


Figura 4-18 : Altura Talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs)

El análisis anterior se realiza para el caso sin infiltración, sin embargo esta situación no siempre es la que se encuentra en terreno, es por esto que también se desarrolla el caso más desfavorable cuando el suelo se encuentra con presencia de nivel freático.

4.5.1.2 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 1 - Con Infiltración.

A continuación se muestran las tablas iterativas donde se identifican el factor de seguridad del suelo tipo 1 con nivel de infiltración, según su ángulo de inclinación para $\beta = 30^\circ$, $\beta = 40^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\beta = 70^\circ$ y $\beta = 80^\circ$, con la variación de altura desde 1 [m] hasta 10 [m] del talud.

Tabla 4-37 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración

$\beta = 30^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	30,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	23,27	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	8,514	8,578
2,00	30,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	21,55	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	4,321	4,401
3,00	30,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	19,85	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,143	3,233
4,00	30,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,10	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	18,10	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,594	2,691
5,00	30,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,40	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	16,40	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,256	2,357
6,00	30,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,70	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	14,70	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,024	2,129
7,00	30,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,00	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	13,00	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,852	1,958
8,00	30,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	11,20	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	11,20	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,742	1,848
9,00	30,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	9,60	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	9,60	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,631	1,741
10,00	30,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	7,80	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	7,80	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,558	1,669

Tabla 4-38 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración

$\beta = 40^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	40,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,81	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	23,81	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	7,345	7,425
2,00	40,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,65	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	22,65	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,501	3,596
3,00	40,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,50	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	21,50	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,458	2,567
4,00	40,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,30	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	20,30	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,981	2,102
5,00	40,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,10	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	19,10	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,698	1,828
6,00	40,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	18,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,489	1,628
7,00	40,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,80	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	16,80	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,354	1,500
8,00	40,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	15,50	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	15,50	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,261	1,412
9,00	40,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,50	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	14,50	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,158	1,315
10,00	40,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,10	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	13,10	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,105	1,265

Tabla 4-39 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración

$\beta = 50^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN										
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD		
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP	
				X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	50,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,17	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,17	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	6,750	6,850	
2,00	50,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,33	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	23,33	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,116	3,222	
3,00	50,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,49	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	22,49	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,150	2,266	
4,00	50,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,65	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	21,65	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,696	1,825	
5,00	50,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,86	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	20,86	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,420	1,564	
6,00	50,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	20,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,238	1,396	
7,00	50,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,15	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	19,15	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,110	1,280	
8,00	50,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,30	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	18,30	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,008	1,191	
9,00	50,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	17,45	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	17,45	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,927	1,121	
10,00	50,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,70	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	16,70	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,858	1,064	

Tabla 4-40 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración

$\beta = 60^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN										
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD		
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP	
				X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	60,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,43	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,43	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	6,475	6,602	
2,00	60,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,85	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	23,85	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,941	3,056	
3,00	60,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	23,27	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,019	2,129	
4,00	60,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,70	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	22,70	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,587	1,705	
5,00	60,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,12	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	22,12	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,331	1,467	
6,00	60,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	21,55	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,156	1,315	
7,00	60,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,10	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	21,10	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,029	1,214	
8,00	60,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,40	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	20,40	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,927	1,135	
9,00	60,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	19,85	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,845	1,079	
10,00	60,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,25	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	19,25	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,778	1,033	

Tabla 4-41 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración

$\beta = 70^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	70,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,64	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,64	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	6,407	6,573
2,00	70,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,28	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	24,28	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,950	3,071
3,00	70,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,91	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	23,91	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,076	2,156
4,00	70,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,55	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	23,55	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,266	1,501
5,00	70,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,18	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	23,18	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,023	1,044
6,00	70,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	22,46	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,785	0,797
7,00	70,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	22,46	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,663	0,678
8,00	70,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,10	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	22,10	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,564	0,605
9,00	70,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,73	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	21,73	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,484	0,542
10,00	70,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,40	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	21,40	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,413	0,487

Tabla 4-42 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 1. Con Infiltración

$\beta = 80^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	80,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,83	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,83	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	6,552	6,781
2,00	80,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,65	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	24,65	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,204	3,324
3,00	80,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,52	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	24,52	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,410	1,359
4,00	80,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,30	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	24,30	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,069	1,016
5,00	80,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,15	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	24,15	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,856	0,813
6,00	80,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	24,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,557	0,520
7,00	80,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,77	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	23,77	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,443	0,426
8,00	80,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,60	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	23,60	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,343	0,350
9,00	80,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,42	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	23,42	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,261	0,295
10,00	80,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,25	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	23,25	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,140	0,176

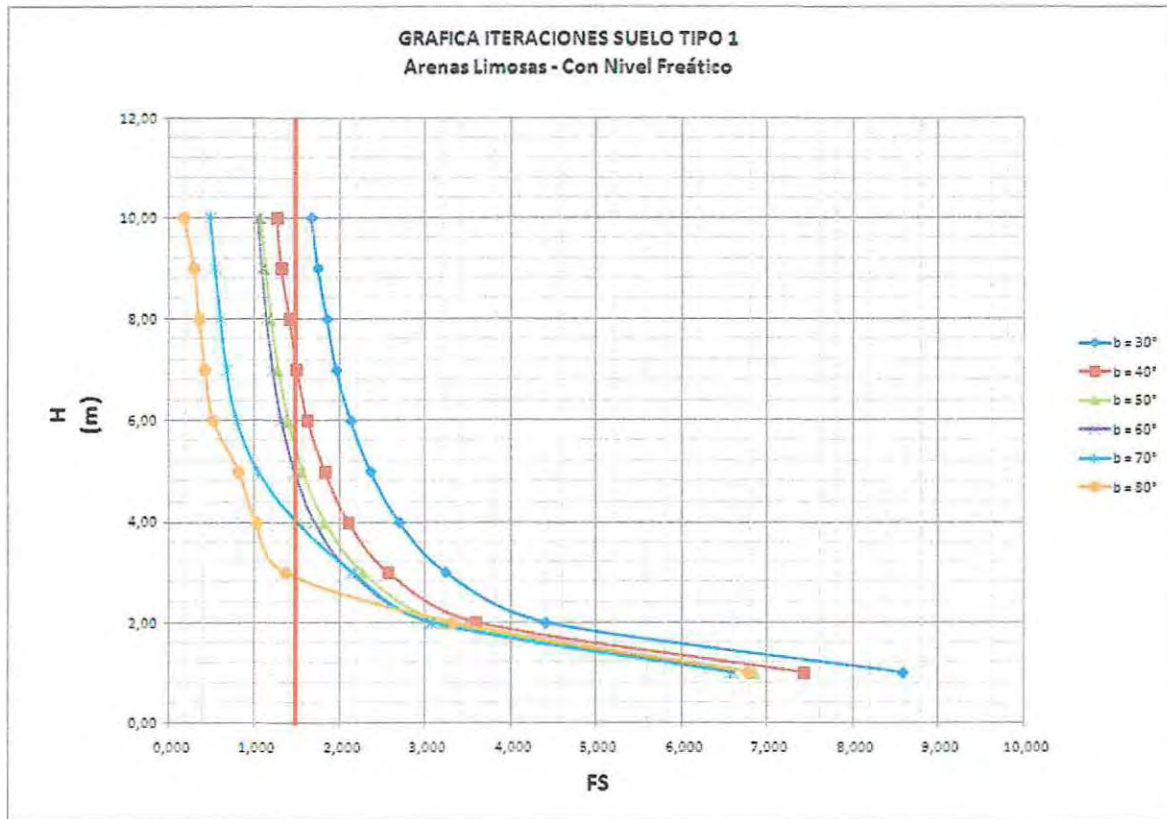


Figura 4-19 : Altura talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs)

De la figura 4-19, se puede concluir que los factores de seguridad para diversos ángulos de inclinación del talud son más bajos que para el caso de sin infiltración, a medida que se aumenta la altura de elevación del talud, este tiende a tener un factor de seguridad menor, lo que es de toda lógica ya que hay presencia de nivel freático en la situación analizada.

4.5.2 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 2 - Arena Duna

La distribución geométrica que se utiliza para estimar los factores de seguridad de la estabilidad del talud conformado por el suelo de tipo 2 se muestra en la figura 4-15.

Con la identificación del suelo en el punto 4.3, se realizan iteraciones considerando la variación de altura (h) y ángulo de inclinación (β) de un talud para encontrar la estabilidad de éste mediante un factor de seguridad apropiado para arena de duna, identificado como suelo tipo 2.

4.5.2.1 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 2 - Sin Infiltración

A continuación se muestran las tablas iterativas donde se identifican el factor de seguridad del suelo tipo 2 sin nivel de infiltración, según su ángulo de inclinación para $\beta= 30^\circ$, $\beta= 40^\circ$, $\beta= 50^\circ$, $\beta=60$ y $\beta=70^\circ$, con la variación de altura desde 1 [m] hasta 10 [m] del talud.

Tabla 4-43 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración

$\beta = 30^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	30,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	11,00	0,00	11,00	21,27	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,817	2,918
2,00	30,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	12,00	0,00	12,00	20,05	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,076	2,178
3,00	30,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	13,00	0,00	13,00	18,35	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,850	1,957
4,00	30,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,10	14,00	0,00	14,00	16,60	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,757	1,866
5,00	30,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,40	15,00	0,00	15,00	14,90	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,696	1,806
6,00	30,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,70	16,00	0,00	16,00	13,20	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,661	1,773
7,00	30,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,00	17,00	0,00	17,00	11,50	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,637	1,751
8,00	30,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	11,20	18,00	0,00	18,00	9,70	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,629	1,740
9,00	30,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	9,60	19,00	0,00	19,00	8,10	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,606	1,719
10,00	30,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	7,80	20,00	0,00	20,00	6,30	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,603	1,716

Tabla 4-44 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración

$\beta = 40^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	40,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,81	11,00	0,00	11,00	21,81	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,576	2,726
2,00	40,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,65	12,00	0,00	12,00	20,65	10,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,773	1,923
3,00	40,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,50	13,00	0,00	13,00	19,50	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,527	1,681
4,00	40,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,30	14,00	0,00	14,00	18,30	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,419	1,577
5,00	40,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,10	15,00	0,00	15,00	17,10	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,357	1,518
6,00	40,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,00	16,00	0,00	16,00	16,00	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,303	1,469
7,00	40,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,80	17,00	0,00	17,00	14,80	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,286	1,452
8,00	40,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	15,50	18,00	0,00	18,00	13,50	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,275	1,438
9,00	40,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,50	19,00	0,00	19,00	12,50	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,251	1,420
10,00	40,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,10	20,00	0,00	20,00	11,10	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,253	1,420

Tabla 4-45 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración

$\beta = 50^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	50,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,17	11,00	0,00	11,00	22,17	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,514	2,730
2,00	50,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,33	12,00	0,00	12,00	21,33	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,868	2,034
3,00	50,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,49	13,00	0,00	13,00	20,49	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,533	1,708
4,00	50,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,65	14,00	0,00	14,00	19,65	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,377	1,558
5,00	50,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,86	15,00	0,00	15,00	18,86	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,286	1,475
6,00	50,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,00	16,00	0,00	16,00	18,00	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,231	1,422
7,00	50,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,15	17,00	0,00	17,00	17,15	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,194	1,389
8,00	50,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,30	18,00	0,00	18,00	16,30	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,168	1,364
9,00	50,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	17,45	19,00	0,00	19,00	15,45	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,147	1,347
10,00	50,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,70	20,00	0,00	20,00	14,70	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,132	1,334

Tabla 4-46 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración

$\beta = 60^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	60,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,43	11,00	0,00	11,00	22,43	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	2,967	3,172
2,00	60,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,85	12,00	0,00	12,00	21,85	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,848	2,071
3,00	60,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	13,00	0,00	13,00	21,27	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,518	1,744
4,00	60,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,70	14,00	0,00	14,00	20,70	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,373	1,598
5,00	60,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,12	15,00	0,00	15,00	20,12	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,296	1,520
6,00	60,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	16,00	0,00	16,00	19,55	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,252	1,473
7,00	60,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,10	17,00	0,00	17,00	19,10	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,234	1,456
8,00	60,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,40	18,00	0,00	18,00	18,40	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,205	1,424
9,00	60,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	19,00	0,00	19,00	17,85	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,194	1,413
10,00	60,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,25	20,00	0,00	20,00	17,25	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,183	1,402

Tabla 4-47 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 2. Sin Infiltración

$\beta = 70^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	70,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,64	11,00	0,00	11,00	22,64	11,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,039	3,311
2,00	70,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,28	12,00	0,00	12,00	22,28	12,00	25,00	10,00	24,00	10,00	1,932	2,235
3,00	70,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,91	13,00	0,00	13,00	21,91	13,00	25,00	10,00	23,00	11,00	1,161	1,269
4,00	70,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,55	14,00	0,00	14,00	21,55	14,00	25,00	10,00	23,00	11,00	1,017	1,132
5,00	70,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,18	15,00	0,00	15,00	21,18	15,00	25,00	10,00	23,00	11,00	0,931	1,047
6,00	70,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,82	16,00	0,00	16,00	20,82	16,00	25,00	10,00	23,00	11,00	0,877	0,991
7,00	70,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	17,00	0,00	17,00	20,46	17,00	25,00	10,00	23,00	11,00	0,840	0,954
8,00	70,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,10	18,00	0,00	18,00	20,10	18,00	25,00	10,00	23,00	11,00	0,640	0,709

Para el análisis del suelo tipo 2 se realizaron iteraciones hasta un ángulo de inclinación del talud de $\beta = 70^\circ$. La arena de duna, para el caso sin infiltración presenta inestabilidad para ángulos superiores al indicado anteriormente, es por ello que no se realizan las iteraciones para un ángulo de inclinación $\beta = 80^\circ$.

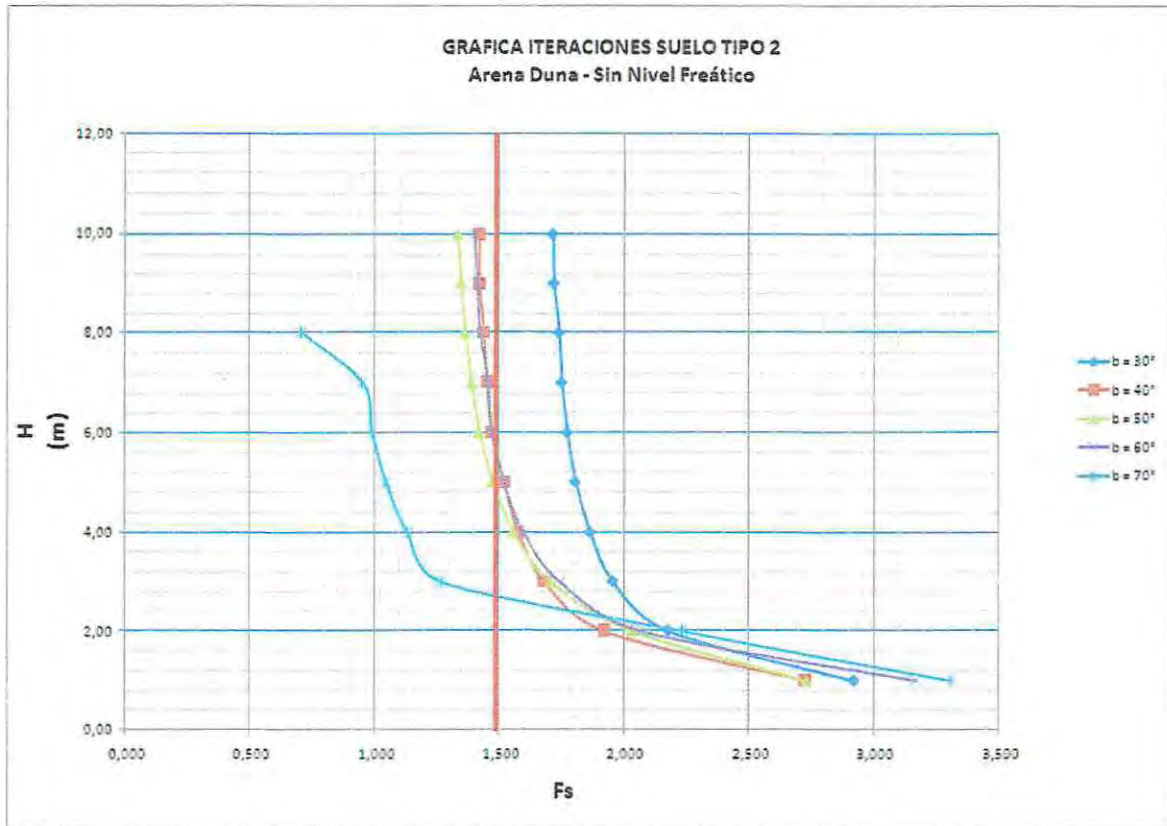


Figura 4-20 : Altura Talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs) - Suelo Tipo 2

Principalmente el análisis para el caso sin infiltración, nos entrega coeficientes de seguridad elevados para alturas pequeñas, sin embargo por sobre los dos metros la variación de los factores de seguridad es considerable según el caso de análisis.

Se observa de la gráfica que los valores de los factores de seguridad para $\beta = 60^\circ$ son superiores a los de $\beta = 50^\circ$, es decir el talud es más estable para ángulo $\beta = 60^\circ$ que para $\beta = 50^\circ$, esta pequeña variación de resistencia se produce debido a la interacción de la superficie potencial de falla, a medida que se aumenta la pendiente del talud esta se debe ir ajustando para seguir la tendencia de estudio que busca este trabajo de título, cabe decir que al ser una variación tan pequeña del orden de 0,1, se considera despreciable.

4.5.2.2 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 2 - Con Infiltración

A continuación se muestran las tablas iterativas donde se identifican el factor de seguridad del suelo tipo 2 con nivel de infiltración, según su ángulo de inclinación para $\beta = 30^\circ$, $\beta = 40^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta = 60^\circ$ y $\beta = 70^\circ$, con la variación de altura desde 1 [m] hasta 10 [m] del talud.

Tabla 4-48 : Factores de Seguridad para $\beta = 30^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración

$\beta = 30^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	30,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	23,27	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,663	1,769
2,00	30,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	21,55	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,156	1,269
3,00	30,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	19,85	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,994	1,113
4,00	30,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,10	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	18,10	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,925	1,049
5,00	30,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,40	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	16,40	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,879	1,006
6,00	30,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,70	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	14,70	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,853	0,981
7,00	30,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,00	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	13,00	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,835	0,966
8,00	30,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	11,20	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	11,20	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,802	0,940
9,00	30,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	9,60	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	9,60	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,811	0,941
10,00	30,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	7,80	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	7,80	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,808	0,939

Tabla 4-49 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración

$\beta = 40^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	40,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,81	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	23,81	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,480	1,639
2,00	40,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,65	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	22,65	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,916	1,087
3,00	40,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,50	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	21,50	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,728	0,912
4,00	40,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,30	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	20,30	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,641	0,833
5,00	40,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,10	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	19,10	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,589	0,789
6,00	40,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	18,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,539	0,751
7,00	40,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,80	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	16,80	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,525	0,738
8,00	40,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	15,50	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	15,50	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,516	0,724
9,00	40,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,50	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	14,50	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,491	0,711
10,00	40,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,10	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	13,10	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,495	0,711

Tabla 4-50 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración

$\beta = 50^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	50,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,17	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,17	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,408	1,638
2,00	50,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,33	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	23,33	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,975	1,164
3,00	50,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,49	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	22,49	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,718	0,929
4,00	50,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,65	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	21,65	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,585	0,815
5,00	50,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,86	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	20,86	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,501	0,750
6,00	50,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	20,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,447	0,710
7,00	50,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,15	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	19,15	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,408	0,682
8,00	50,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,30	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	18,30	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,378	0,661
9,00	50,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	17,45	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	17,45	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,355	0,648
10,00	50,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,70	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	16,70	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,332	0,635

Tabla 4-51 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración

$\beta = 60^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
1,00	60,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,43	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,43	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,721	1,934
2,00	60,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,85	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	23,85	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,927	1,184
3,00	60,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	23,27	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,659	0,946
4,00	60,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,70	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	22,70	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,521	0,836
5,00	60,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,12	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	22,12	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,434	0,774
6,00	60,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	21,55	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,373	0,738
7,00	60,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,10	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	21,10	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,323	0,723
8,00	60,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,40	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	20,40	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,289	0,698
9,00	60,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	19,85	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,257	0,689
10,00	60,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,25	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	19,25	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,232	0,680

Tabla 4-52 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 2. Con Infiltración

$\beta = 70^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								NIVEL FREATICO								FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1,00	70,00	1,00	11,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,64	11,00	0,00	11,00	0,00	11,00	24,64	11,00	25,00	10,00	35,00	10,00	1,739	2,024
2,00	70,00	2,00	12,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,28	12,00	0,00	12,00	0,00	12,00	24,28	12,00	25,00	10,00	35,00	10,00	0,935	1,288
3,00	70,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,91	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	23,91	13,00	23,00	11,00	35,00	10,00	0,455	0,593
4,00	70,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,55	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	23,55	14,00	23,00	11,00	35,00	10,00	0,298	0,493
5,00	70,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,18	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	23,18	15,00	23,00	11,00	35,00	10,00	0,198	0,408
6,00	70,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,82	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	22,82	16,00	23,00	11,00	35,00	10,00	0,125	0,357
7,00	70,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	22,46	17,00	23,00	11,00	35,00	10,00	0,068	0,324
8,00	70,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,10	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	22,10	18,00	23,00	11,00	35,00	10,00	0,055	0,296

A continuación se muestran la gráfica correspondiente a los datos expuestos en las tablas anteriores.

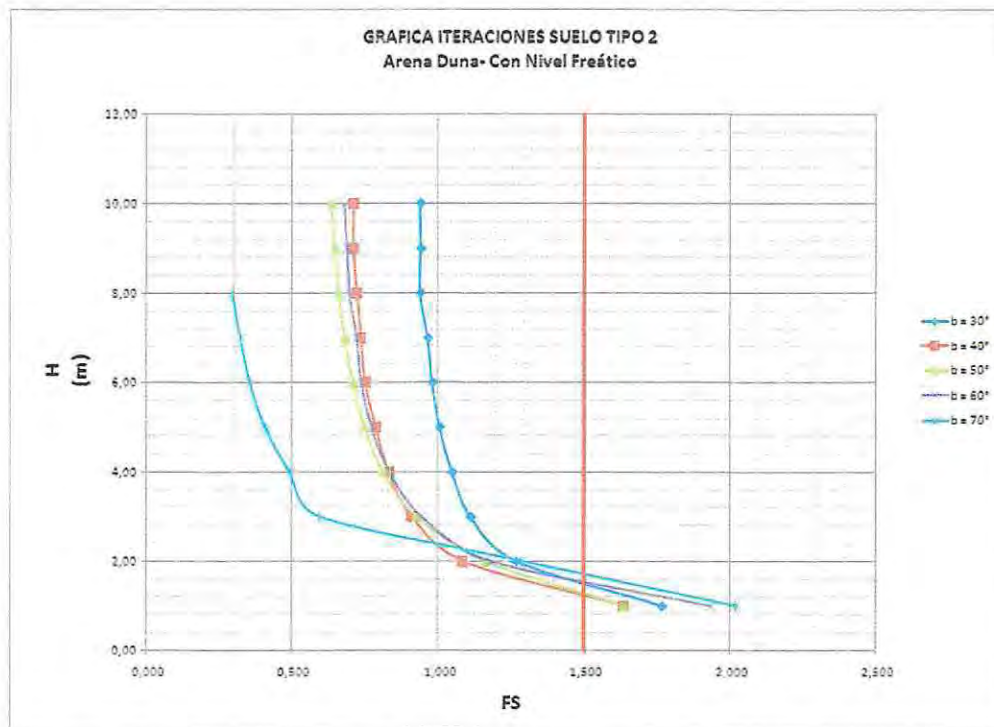


Figura 4-21 : Altura Talud (h) v/s Factor de Seguridad (Fs) - Suelo Tipo 2

Para un suelo tipo 2, arena de duna, con nivel de infiltración, el comportamiento de un talud es mucho más restringido, los factores de seguridad varían dependiendo del ángulo de inclinación.

4.5.3 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 3 - Limo

La distribución geométrica que se utiliza para estimar los factores de seguridad de la estabilidad del talud conformado por el suelo de tipo 3 se muestra en la figura 4-15.

Con la identificación del suelo en el punto 4.4 se realizan iteraciones considerando la variación de altura (h) y ángulo de inclinación (β) de un talud para encontrar la estabilidad de éste mediante un factor de seguridad apropiado para un limo identificado como suelo tipo 3.

4.5.3.1 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 3 - Sin Infiltración

A continuación se muestran las tablas iterativas donde se identifican el factor de seguridad del suelo tipo 3 sin nivel de infiltración, según su ángulo de inclinación para $\beta= 40^\circ$, $\beta= 50^\circ$, $\beta=60^\circ$, $\beta=70^\circ$ y $\beta=80^\circ$, con la variación de altura desde 3 [m] hasta 10 [m] del talud.

Tabla 4-53 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración

$\beta = 40^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
3,00	40,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,50	13,00	0,00	13,00	19,50	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	9,635	9,690
4,00	40,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,30	14,00	0,00	14,00	18,30	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	7,668	7,724
5,00	40,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,10	15,00	0,00	15,00	17,10	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	6,501	6,558
6,00	40,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,00	16,00	0,00	16,00	16,00	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	5,656	5,712
7,00	40,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,80	17,00	0,00	17,00	14,80	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	5,092	5,149
8,00	40,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	15,50	18,00	0,00	18,00	13,50	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,681	4,740
9,00	40,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,50	19,00	0,00	19,00	12,50	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,282	4,340
10,00	40,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,10	20,00	0,00	20,00	11,10	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,024	4,085

Tabla 4-54 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración

$\beta = 50^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
3,00	50,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,49	13,00	0,00	13,00	20,49	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	8,569	8,582
4,00	50,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,65	14,00	0,00	14,00	19,65	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	6,784	6,774
5,00	50,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,86	15,00	0,00	15,00	18,86	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	5,725	5,691
6,00	50,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,00	16,00	0,00	16,00	18,00	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	5,020	4,975
7,00	50,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,15	17,00	0,00	17,00	17,15	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,526	4,473
8,00	50,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,30	18,00	0,00	18,00	16,30	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,135	4,078
9,00	50,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	17,45	19,00	0,00	19,00	15,45	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,823	3,764
10,00	50,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,70	20,00	0,00	20,00	14,70	20,00	25,00	10,00	24,90	10,00	3,558	3,508

Tabla 4-55 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración

$\beta = 60^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA				FACTOR DE SEGURIDAD			
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
3,00	60,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	13,00	0,00	13,00	21,27	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	8,169	8,057
4,00	60,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,70	14,00	0,00	14,00	20,70	14,00	25,00	10,00	24,00	10,00	6,536	6,308
5,00	60,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,12	15,00	0,00	15,00	20,12	15,00	25,00	10,00	24,00	10,00	5,593	5,277
6,00	60,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	16,00	0,00	16,00	19,55	16,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,967	4,590
7,00	60,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,10	17,00	0,00	17,00	19,10	17,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,548	4,093
8,00	60,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,40	18,00	0,00	18,00	18,40	18,00	25,00	10,00	24,00	10,00	4,172	3,740
9,00	60,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	19,00	0,00	19,00	17,85	19,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,898	3,451
10,00	60,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,25	20,00	0,00	20,00	17,25	20,00	25,00	10,00	24,00	10,00	3,670	3,229

Tabla 4-56 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración

$\beta = 70^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA				FACTOR DE SEGURIDAD			
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
3,00	70,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,91	13,00	0,00	13,00	21,91	13,00	25,00	10,00	24,00	10,00	8,479	8,048
4,00	70,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,55	14,00	0,00	14,00	21,55	14,00	25,00	10,00	23,00	11,00	6,654	6,642
5,00	70,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,18	15,00	0,00	15,00	21,18	15,00	25,00	10,00	23,00	11,00	5,600	5,578
6,00	70,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,82	16,00	0,00	16,00	20,82	16,00	25,00	10,00	23,50	11,00	4,918	4,883
7,00	70,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	17,00	0,00	17,00	20,46	17,00	25,00	10,00	23,50	11,00	4,435	4,387
8,00	70,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,10	18,00	0,00	18,00	20,10	18,00	25,00	10,00	23,50	11,00	4,076	4,014
9,00	70,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,73	19,00	0,00	19,00	19,73	19,00	25,00	10,00	23,50	11,00	3,793	3,720
10,00	70,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,40	20,00	0,00	20,00	19,40	20,00	25,00	10,00	23,50	11,00	3,531	3,443

Tabla 4-57 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 3. Sin Infiltración

$\beta = 80^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUDES SIN INFILTRACIÓN							
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								SUPERFICIE ROTURA						FACTOR DE SEGURIDAD	
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO ENTRADA		PUNTO SALIDA		TERCER PUNTO		METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
					X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
3,00	80,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,52	13,00	0,00	13,00	22,52	13,00	25,00	10,00	23,50	11,00	6,427	6,207
4,00	80,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,30	14,00	0,00	14,00	22,30	14,00	25,00	10,00	23,50	11,00	5,261	4,826
5,00	80,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,15	15,00	0,00	15,00	22,15	15,00	25,00	10,00	23,50	11,00	4,602	3,891
6,00	80,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,00	16,00	0,00	16,00	22,00	16,00	25,00	10,00	24,00	11,80	4,070	3,800
7,00	80,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,77	17,00	0,00	17,00	21,77	17,00	25,00	10,00	24,00	11,80	3,747	3,409
8,00	80,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,60	18,00	0,00	18,00	21,60	18,00	25,00	10,00	24,00	11,80	3,473	3,044
9,00	80,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,42	19,00	0,00	19,00	21,42	19,00	25,00	10,00	24,00	11,80	3,259	2,756
10,00	80,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,25	20,00	0,00	20,00	21,25	20,00	25,00	10,00	24,00	11,80	3,086	2,518

Para el análisis del suelo tipo 3 se realizaron iteraciones hasta un ángulo de inclinación del talud de $\beta = 80^\circ$. Los resultados antes presentados, para el caso de los limos, evaluando su condición para la estabilidad de un talud, resultan ser muy estables, considerando que se debe estudiar la situación más desfavorable con nivel freático, se presentan los valores para ese caso.

4.5.3.2 Iteración Factor de Seguridad Suelo Tipo 3 - Con Infiltración

A continuación se muestran las tablas iterativas donde se identifican el factor de seguridad del suelo tipo 3 con nivel de infiltración, según su ángulo de inclinación para $\beta = 40^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\beta = 70^\circ$ y $\beta = 80^\circ$, con la variación de altura desde 3 [m] hasta 10 [m] del talud.

Tabla 4-58 : Factores de Seguridad para $\beta = 40^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración

$\beta = 40^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN								FACTOR DE SEGURIDAD									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								PUNTO 1				PUNTO 2				PUNTO 3				PUNTO 4				METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 3		PUNTO 4							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y					
3,00	40,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,50	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	21,50	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	9,020	9,074						
4,00	40,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,30	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	20,30	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	7,078	7,133						
5,00	40,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,10	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	19,10	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	5,922	5,979						
6,00	40,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	18,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	5,048	5,140						
7,00	40,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,80	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	16,80	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	4,523	4,581						
8,00	40,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	15,50	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	15,50	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	4,113	4,175						
9,00	40,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	14,50	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	14,50	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	3,715	3,776						
10,00	40,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	13,10	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	13,10	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	3,458	3,523						

Tabla 4-59 : Factores de Seguridad para $\beta = 50^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración

$\beta = 50^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN								FACTOR DE SEGURIDAD									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								PUNTO 1				PUNTO 2				PUNTO 3				PUNTO 4				METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 3		PUNTO 4							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y					
3,00	50,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,49	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	22,49	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	7,957	7,967						
4,00	50,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,65	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	21,65	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	6,191	6,177						
5,00	50,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,86	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	20,86	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	5,136	5,100						
6,00	50,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	20,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	4,443	4,387						
7,00	50,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,15	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	19,15	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	3,936	3,887						
8,00	50,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	18,30	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	18,30	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	3,543	3,492						
9,00	50,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	17,45	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	17,45	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	3,228	3,180						
10,00	50,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	16,70	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	16,70	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	35,00	10,00	2,978	2,938						

Tabla 4-60 : Factores de Seguridad para $\beta = 60^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración

$\beta = 60^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN								FACTOR DE SEGURIDAD									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								PUNTO 1				PUNTO 2				PUNTO 3				PUNTO 4				METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4											
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y									
3,00	60,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,27	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	23,27	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	7,525	7,404								
4,00	60,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,70	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	22,70	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	5,897	5,663								
5,00	60,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,12	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	22,12	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	4,946	4,633								
6,00	60,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,55	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	21,55	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	4,308	3,946								
7,00	60,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,10	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	21,10	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,864	3,444								
8,00	60,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	20,40	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	20,40	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,485	3,100								
9,00	60,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,85	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	19,85	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,195	2,813								
10,00	60,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	19,25	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	19,25	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,956	2,594								

Tabla 4-61 : Factores de Seguridad para $\beta = 70^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración

$\beta = 70^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN								FACTOR DE SEGURIDAD									
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD								PUNTO 1				PUNTO 2				PUNTO 3				PUNTO 4				METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4											
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y									
3,00	70,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,91	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	23,91	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	7,751	7,306								
4,00	70,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,55	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	23,55	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	6,193	6,182								
5,00	70,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,18	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	23,18	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	5,126	5,103								
6,00	70,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,82	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	22,82	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	4,429	4,392								
7,00	70,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,46	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	22,46	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,930	3,880								
8,00	70,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	22,10	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	22,10	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,576	3,512								
9,00	70,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,73	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	21,73	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,259	3,186								
10,00	70,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	21,40	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	21,40	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,984	2,897								

Tabla 4-62 : Factores de Seguridad para $\beta = 80^\circ$ - Suelo Tipo 3. Con Infiltración

$\beta = 80^\circ$

ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD												TALUD CON INFILTRACIÓN								FACTOR DE SEGURIDAD	
	GEOMETRIA				PERFIL DEL TALUD																METODO ORDINARIO	METODO DE BISHOP
	PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD	Y _{max}	Y _{min}	PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6		PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4			
				X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
3,00	80,00	3,00	13,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,52	13,00	0,00	13,00	0,00	13,00	24,52	13,00	25,00	10,00	35,00	10,00	5,915	5,683
4,00	80,00	4,00	14,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,30	14,00	0,00	14,00	0,00	14,00	24,30	14,00	25,00	10,00	35,00	10,00	4,726	4,277
5,00	80,00	5,00	15,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,15	15,00	0,00	15,00	0,00	15,00	24,15	15,00	25,00	10,00	35,00	10,00	4,030	3,322
6,00	80,00	6,00	16,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	24,00	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	24,00	16,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,521	3,239
7,00	80,00	7,00	17,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,77	17,00	0,00	17,00	0,00	17,00	23,77	17,00	25,00	10,00	35,00	10,00	3,173	2,827
8,00	80,00	8,00	18,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,60	18,00	0,00	18,00	0,00	18,00	23,60	18,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,871	2,443
9,00	80,00	9,00	19,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,42	19,00	0,00	19,00	0,00	19,00	23,42	19,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,631	2,145
10,00	80,00	10,00	20,00	10,00	35,00	10,00	25,00	10,00	23,25	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	23,25	20,00	25,00	10,00	35,00	10,00	2,433	1,902

Para el caso del estudio de limos con infiltración, el comportamiento que este tiene para el análisis de un talud, sigue siendo estable, por lo que no se consideran resultados razonables después del análisis, esto implica que no se realiza una correlación para este tipo de suelo.

5. CAPITULO QUINTO

En este capítulo se busca correlacionar mediante una gráfica las características físicas, capacidad de soporte (CBR), límites de Atterberg (IP), densidades y granulometrías con los parámetros de corte, de los suelos expuestos en el presente trabajo de título. Para esto se realiza un análisis de los datos obtenidos del capítulo número cuatro. Comparando las características físicas de varias muestras de suelo similares, se logra clasificar en un solo tipo de suelo, obteniendo además los parámetros de corte a través de ensayos triaxiales y mediante un análisis inferir un valor típico de estos parámetros y con esto modelar el comportamiento de los taludes bajo distintas condiciones geométricas.

5.1 ANÁLISIS DE DATOS SUELO TIPO 1 - ARENA LIMOSA

A continuación se presenta un análisis de datos de los resultados expuestos en el capítulo anterior. Se analizará el suelo tipo 1 - Arena Limosa, el cual tiene el siguiente comportamiento.

Tabla 5-1 : Factores de Seguridad Suelo Tipo 1

ARENA LIMOSA		SIN INFILTRACIÓN						CON INFILTRACIÓN					
ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD	β = 30	β = 40	β = 50	β = 60	β = 70	β = 80	β = 30	β = 40	β = 50	β = 60	β = 70	β = 80
		FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD
	ALTURA DEL TALUD	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP
1,00	1,00	9,500	8,536	7,996	7,771	7,794	8,098	8,578	7,425	6,990	6,602	6,573	6,781
2,00	2,00	5,813	4,499	4,054	3,916	4,001	4,398	4,401	3,596	3,222	3,056	3,071	3,324
3,00	3,00	4,057	3,324	3,018	2,910	3,012	3,991	3,293	2,567	2,266	2,129	2,156	1,359
4,00	4,00	3,479	2,825	2,549	2,459	1,916	1,646	2,691	2,102	1,825	1,705	1,501	1,016
5,00	5,00	3,124	2,593	2,265	2,195	1,674	1,498	2,357	1,829	1,564	1,467	1,044	0,313
6,00	6,00	2,893	2,321	2,124	2,090	1,405	1,162	2,129	1,628	1,396	1,315	0,797	0,590
7,00	7,00	2,704	2,186	1,964	1,925	1,293	1,079	1,959	1,500	1,290	1,214	0,678	0,426
8,00	8,00	2,591	2,093	1,870	1,837	1,219	0,995	1,849	1,412	1,191	1,135	0,605	0,390
9,00	9,00	2,477	1,991	1,794	1,776	1,156	0,937	1,741	1,315	1,121	1,079	0,542	0,295
10,00	10,00	2,403	1,939	1,735	1,725	1,109	0,907	1,669	1,295	1,084	1,039	0,497	0,176

Se considera un nivel aceptable de estabilidad de taludes para un factor de seguridad por sobre el 1,5.

Como se muestra en la tabla 5-1, el comportamiento de un talud varía según su altura y ángulo de inclinación, para el caso de sin infiltración, un talud realizado con suelo tipo 1 es estable hasta un ángulo de inclinación de $\beta = 60^\circ$, sin embargo para un ángulo de $\beta = 70^\circ$, luego de los 6 metros de altura el talud es inestable, lo mismo ocurre para $\beta = 80^\circ$ después de alcanzar una altura de 5 metros.

Es más desfavorable la situación con nivel freático, ya que el talud es estable solo hasta alcanzar un ángulo $\beta = 30^\circ$, posterior a $\beta = 40^\circ$ el talud es inestable luego de los 8 metros, para $\beta = 50^\circ$ y $\beta = 60^\circ$ el talud es inestable luego de los 6 metros, para $\beta = 70^\circ$ el talud se vuelve inestable después de los 5 metros y resulta más desfavorable para el grado de inclinación de $\beta = 80^\circ$, ya que después de los 3 metros se produce el deslizamiento del talud para el suelo tipo 1.

Lo antes descrito puede resumirse en una grafica la cual indica los niveles aceptables y no del talud según el requerimiento.



ITERACIÓN SUELO TIPO 1
 Arena Limosa
 Grafica Altura - Angulo de inclinación v/s Factor Seguridad

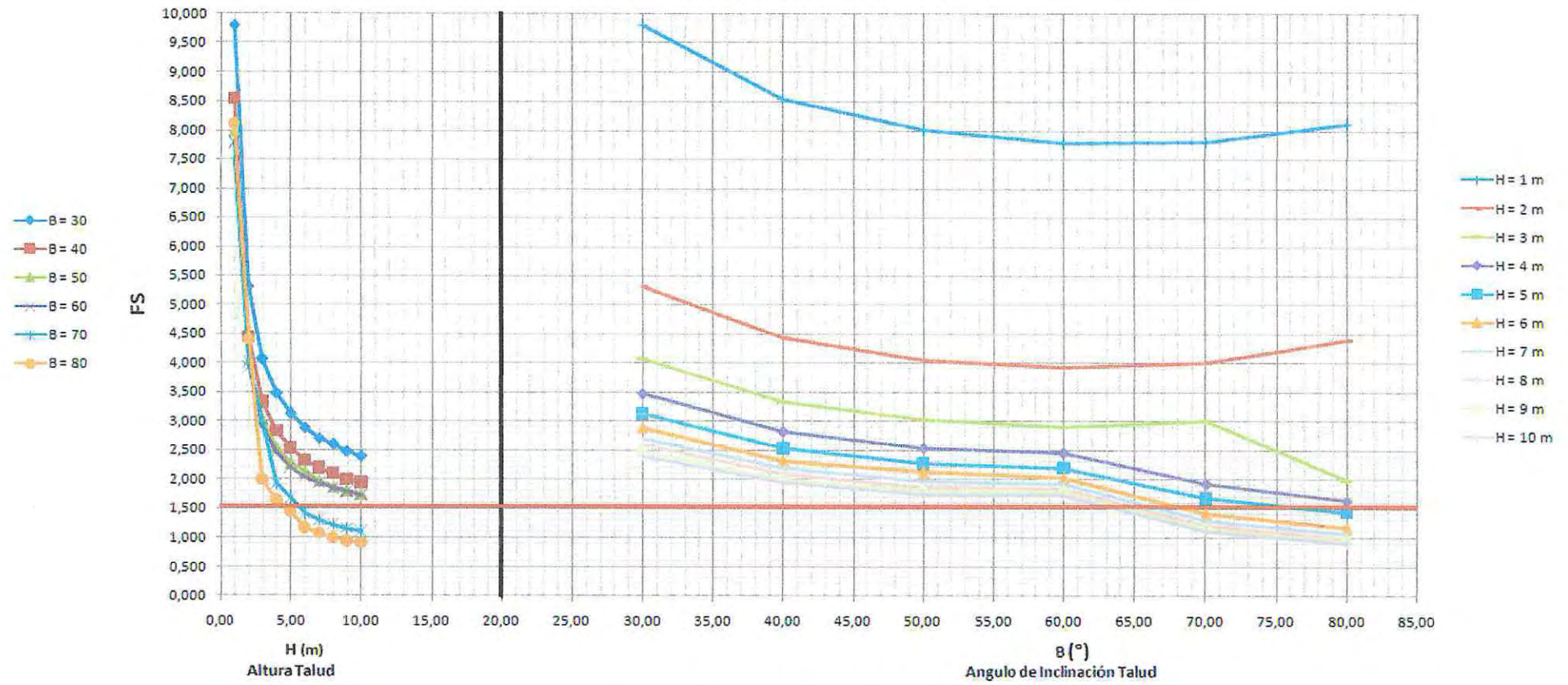


Figura 5-1 : Iteración Suelo Tipo 1

5.2 ANÁLISIS DE DATOS SUELO TIPO 2 - ARENA DE DUNA

A continuación se presenta un análisis de datos de los resultados expuestos en el capítulo anterior. Se analizará el suelo tipo 2- Arena de Duna, el cual tiene el siguiente comportamiento.

Tabla 5-2 : Factores de Seguridad Suelo Tipo 2

ARENA DUNA		SIN INFILTRACIÓN					CON INFILTRACIÓN				
ITERACIÓN	ANTECEDENTES DEL TALUD	B = 30	B = 40	B = 50	B = 60	B = 70	B = 30	B = 40	B = 50	B = 60	B = 70
		FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD
	ALTURA DEL TALUD	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP	METODO DE BISHOP
1,00	1,00	2,918	2,726	2,730	3,172	3,311	1,769	1,639	1,638	1,934	2,024
2,00	2,00	2,178	1,923	2,034	2,071	2,235	1,269	1,027	1,164	1,184	1,398
3,00	3,00	1,957	1,681	1,708	1,744	1,269	1,118	0,812	0,929	0,946	0,993
4,00	4,00	1,866	1,577	1,558	1,598	1,132	1,049	0,833	0,815	0,836	0,493
5,00	5,00	1,806	1,518	1,475	1,520	1,047	1,005	0,789	0,750	0,774	0,409
6,00	6,00	1,773	1,469	1,422	1,473	0,991	0,981	0,751	0,710	0,738	0,357
7,00	7,00	1,751	1,452	1,389	1,456	0,954	0,906	0,738	0,682	0,723	0,324
8,00	8,00	1,740	1,438	1,364	1,424	0,709	0,540	0,724	0,661	0,698	0,296
9,00	9,00	1,719	1,420	1,347	1,413	-	0,541	0,711	0,648	0,689	-
10,00	10,00	1,716	1,420	1,334	1,402	-	0,939	0,711	0,635	0,680	-

Al igual que para el suelo tipo 1, se considera un nivel aceptable de estabilidad de taludes para un factor de seguridad por sobre el 1,5.

Como se muestra en la tabla 5-2, el comportamiento de un talud conformado por arena de duna, varía según su altura y ángulo de inclinación, para el análisis del caso sin infiltración, un talud es estable cuando tiene una inclinación por debajo de 30°, sin embargo para una inclinación de 40° 50° y 60° solo la altura máxima que puede tomar un talud conformado por arena de duna es de hasta 5 metros, para un ángulo de inclinación $\beta = 70^\circ$ la altura máxima aceptable será de 2 metros, con el fin de no producir la inestabilidad del talud.

La arena de duna tiene un comportamiento más desfavorable que la arena limosa para la situación con nivel freático, se considera un talud aceptable solo para una altura de 1 metro con un ángulo de inclinación de hasta $\beta = 70^\circ$, por sobre los 2 metros de altura un talud es inestable para cualquiera sea el ángulo en análisis.

Lo antes descrito puede resumirse en una gráfica la cual indica los niveles aceptables y no del talud según el requerimiento.

ITERACIÓN SUELO TIPO 2
Arena Duna
Grafica Altura - Angulo de Inclinación v/s Factor de Seguridad

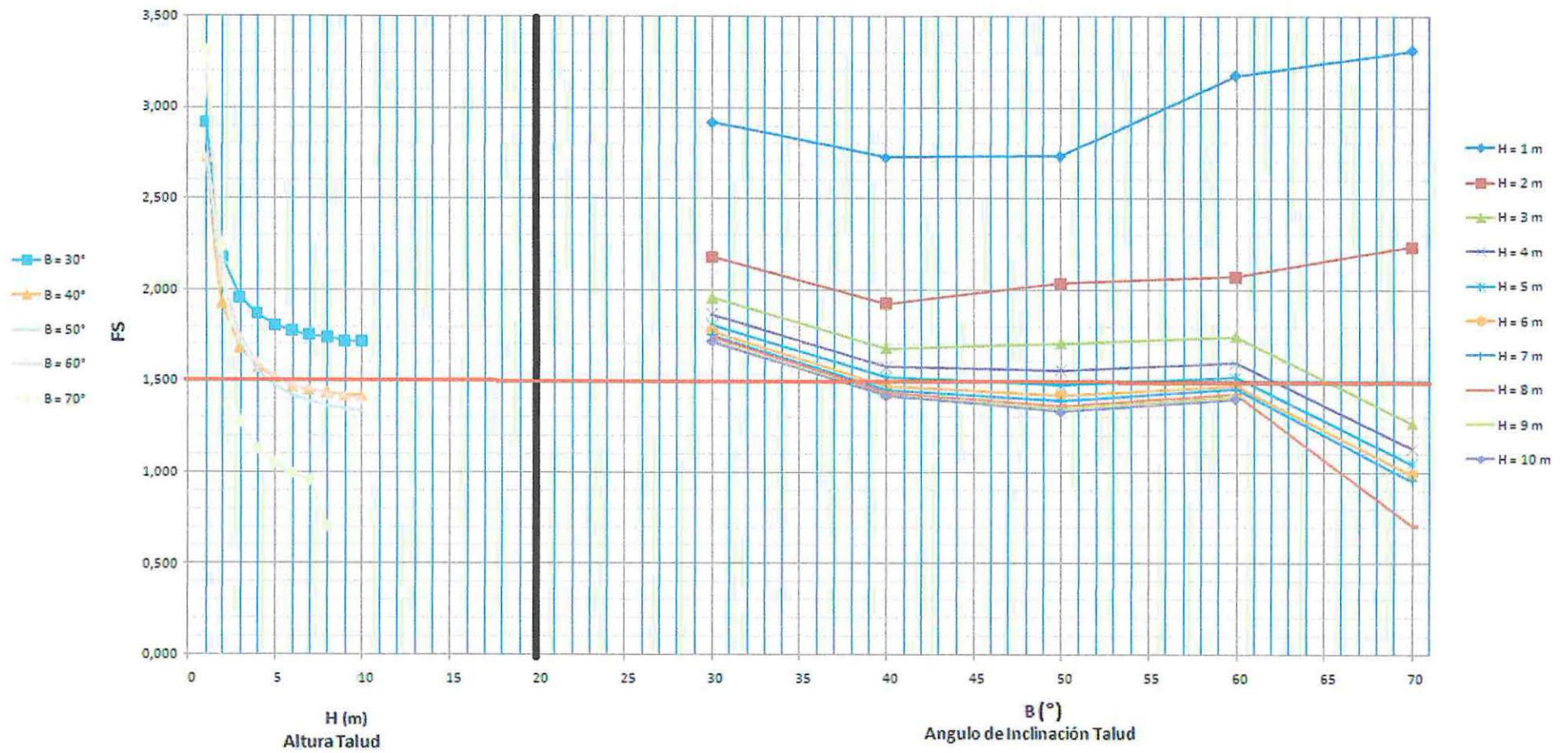
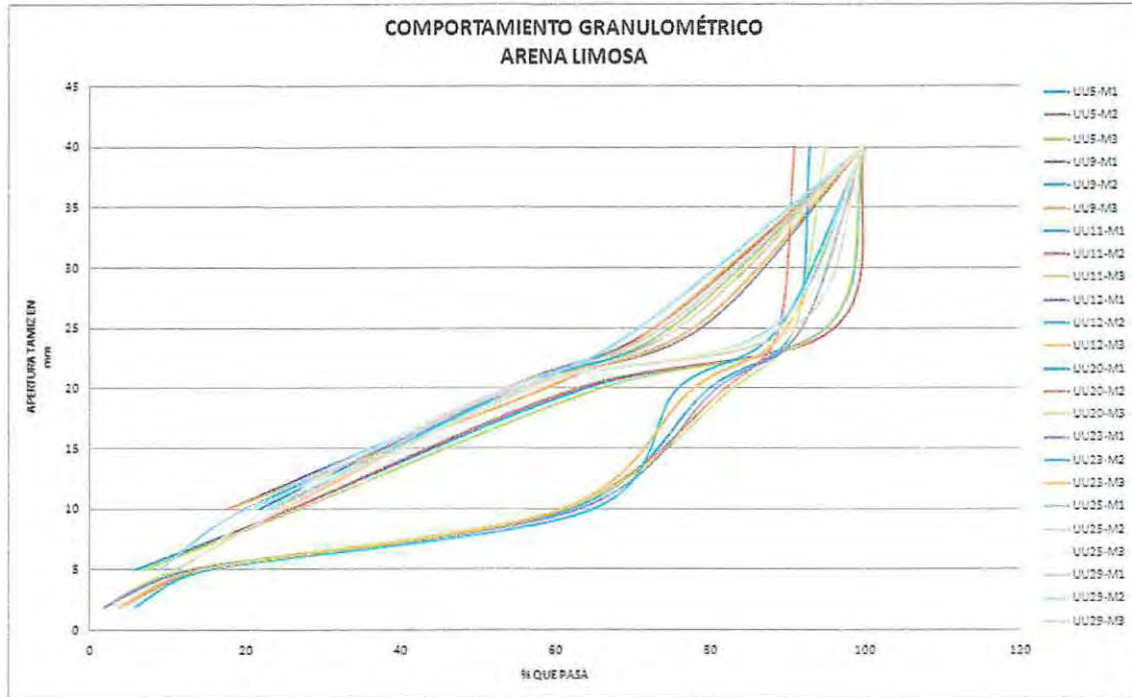


Figura 5-2 : Iteración Suelo Tipo 2

5.3 CORRELACIÓN ARENA LIMOSA

Para encontrar la correlación apropiada de un suelo correspondiente a arena limosa, debemos tener las siguientes características físicas de la muestra que deseamos analizar,

a) Granulometría



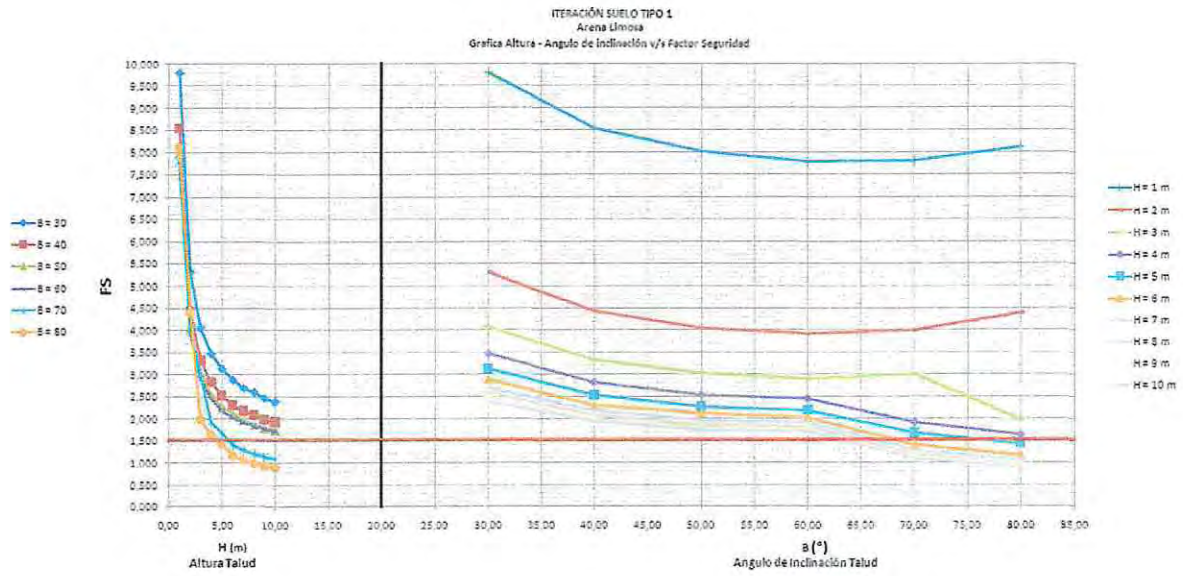
b) CBR

RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR	35 A 45
----------------------------------	---------

c) Peso específico de los sólidos

RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN P.ESPECIFICO SOLIDOS	2,75 +/- 0,10 [kg/cm ³]
---	-------------------------------------

Con suelos que presenten parámetros dentro de los rangos antes indicados, se podrá clasificar el suelo como suelo tipo 1, por lo que puede encontrar los valores de un factor de seguridad apropiado para un ángulo y una altura determinada de un talud, según corresponda, de la gráfica que se muestra a continuación.

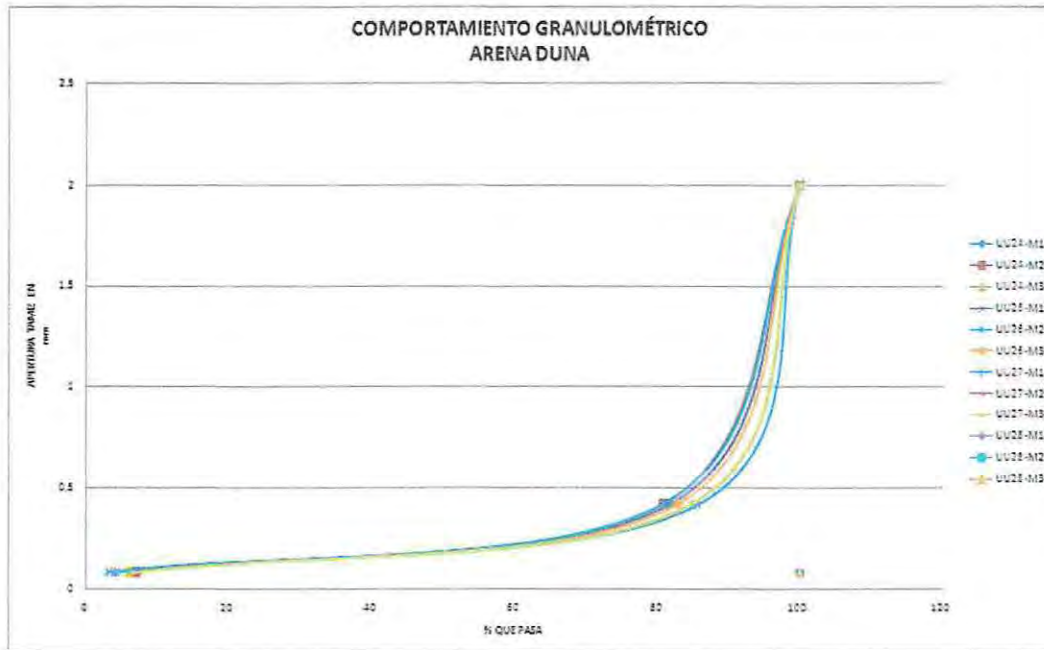


* Ver figura tamaño real en los anexos

5.4 CORRELACIÓN ARENA DE DUNA

Para encontrar la correlación apropiada de un suelo correspondiente a arena de duna, debemos tener las siguientes características físicas de la muestra que deseamos analizar,

a) Granulometría



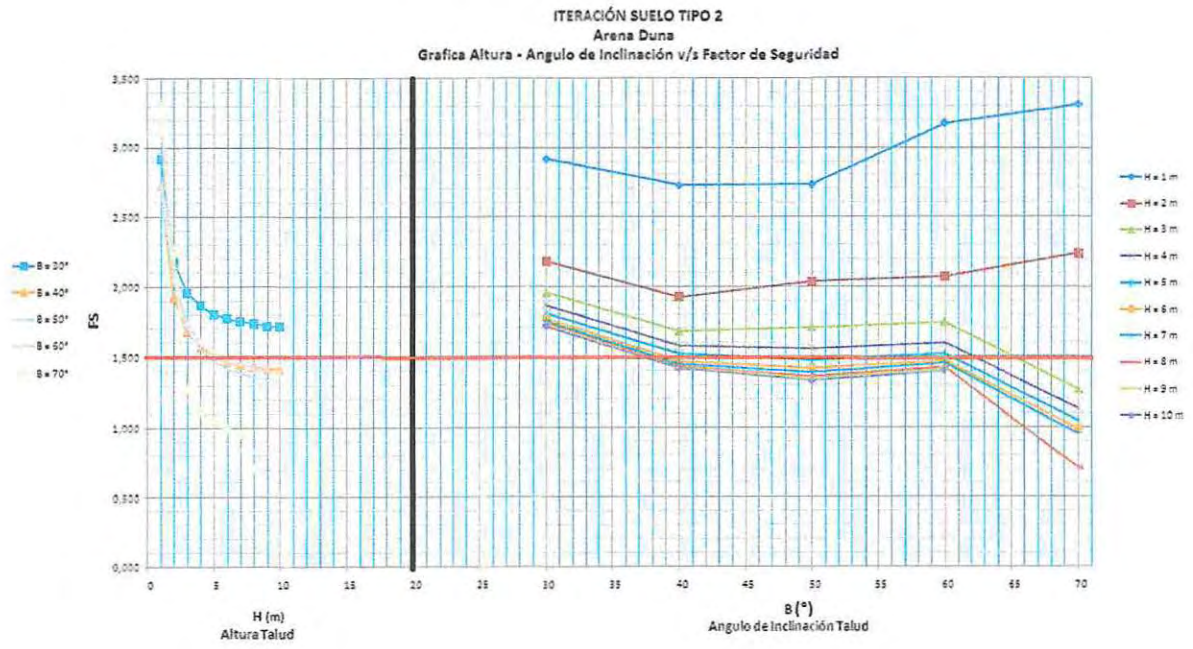
b) CBR

RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR	36
----------------------------------	----

c) Peso específico de los sólidos

RANGO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN P.ESPECIFICO SOLIDOS	2,75 +/- 0,10 [kg/cm ³]
---	-------------------------------------

Con suelos que presenten parámetros dentro de los rangos antes indicados, se podrá clasificar el suelo como suelo tipo 2, por lo que puede encontrar los valores de un factor de seguridad apropiado para un ángulo y una altura determinada de un talud, según corresponda, de la gráfica que se muestra a continuación.



* Ver figura tamaño real en los anexos

5.5 CORRELACIÓN LIMOS

Los resultados del análisis realizado a los suelos limosos son muy irregulares debido al comportamiento que éste fue presentando durante la modelación de los factores de seguridad. Los limos presentan valores de factores de seguridad muy variados, estos valores son muy elevados y hacen que los taludes conformados por este tipo de suelo sean muy estables, según se indica en el punto 4.5.3 del capítulo cuatro, esta condición hace cuestionar los valores obtenidos debido a la presencia de material fino en ese tipo de suelo, las muestras estudiadas presentan valores de cohesión y ángulo de fricción interna muy similares, por lo que en una primera instancia se quiso caracterizar al igual que las arenas limosas y arenas de dunas con el fin de cumplir el objetivo de este trabajo de título, sin embargo al ir evaluando las muestras con sus respectivas iteraciones se llega a factores de seguridad por sobre los 2.5 para alturas de 10 metros con un ángulo de inclinación de 80° , un talud muy estable para el tipo de suelo que lo conforma, el limo tiene un alto contenido de material fino por lo que sus características resistentes varían con el contenido de humedad. Por este motivo se concluye que los limos no son caracterizables para poder encontrar una correlación entre sus características físicas y su resistencia cortante. Éste tipo de suelo presenta un comportamiento poco regular al momento de su evaluación para la estabilidad de taludes, al tener un mayor porcentaje de finos y tener un índice de plasticidad elevado, hace que su comportamiento no sea uniforme, debido a que las condiciones que este tipo de suelo puede presentar in situ, humedad, IP, materia orgánica, entre otros, puede afectar directamente en el comportamiento que este tenga en un talud.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La metodología llevada a cabo en el presente trabajo de título, arroja resultados favorables para dos de los tres suelos analizados. Principalmente la arena limosa y la arena de duna se logran caracterizar según sus parámetros físicos respecto a los valores de los ensayos triaxiales obtenidos del análisis en laboratorio. Cabe destacar que estos suelos fueron caracterizables considerando sus valores de cohesión y ángulo de fricción interna como principal parámetro para el análisis de estabilidad de taludes. La variación de pequeños rangos de valores de los parámetros c y ϕ resulta no ser tan influyente en la estabilidad de taludes si su variación es leve dentro de los parámetros con lo que se analizan las arenas, además como los pesos específicos no son considerablemente variables entre una muestra y otra, se logra una perfecta correlación, dando valores aceptables para los factores de seguridad según una altura y ángulo de inclinación requerido.

Cabe destacar que uno de los factores más incidentes en estos análisis es la presencia y ubicación de la napa freática dentro del cuerpo del talud en estudio, para efectos de este trabajo de título, se considero la condición más desfavorable, ésta se presenta cuando en el sector, que requerirá talud, este completamente saturado.

Se propone considerar futuras investigaciones en las cuales se pueda realizar estas modelaciones variando ciertos parámetros, los cuales, para cumplir con el objetivo de este trabajo de título se consideran como constantes.

El suelo tipo 3 de éste trabajo de título, considerado como un limo, tuvo un comportamiento distinto al presentado por las dos arenas antes mencionadas, este suelo tiene un valor alto de índice de plasticidad, debido a la mayor cantidad de material fino presente en él, este factor es muy incidente al momento de calcular la cohesión del suelo, además al presentar valores de humedad altos, por sobre el 50% de humedad presente en el suelo, hacen que no sea un suelo caracterizables para poder realizar correlaciones con sus características físicas, cada muestra tiene características propias del sector en que se extrajo y entrega resultados únicos, en ningún momento se sigue una tendencia con los parámetros de corte que este tenga, a pesar de que los valores de la cohesión son muy similares no se logra incorporar el índice de plasticidad y el contenido de humedad ya que no sigue ningún patrón. Los factores presentes en condiciones naturales del suelo, son muy variables, es por ello que el objetivo de este trabajo de título no se cumple con el análisis de este suelo.

Los resultados del análisis de estabilidad de talud correspondiente a las arenas limosas son aceptables ya que para alturas pequeñas, desde 1 metro hasta los 5 metros, con ángulos de inclinación de hasta 70° , los factores de seguridad son todos sobre 2 por lo que se pueden formar taludes estables con ese tipo de suelo, por sobre esa altura estos factores de seguridad van disminuyendo encontrando algunas combinaciones de altura y ángulo de inclinación que generan la inestabilidad del talud produciendo el deslizamiento. Principalmente, la arena limosa y la arena de duna siguen el mismo

comportamiento, cabe destacar que es recomendable utilizar las tablas y graficas para una mejor interpretación de los resultados debido a que también se debe analizar el criterio de nivel freático.

Cuando los taludes tengan factores de seguridad menor al recomendado ($F_s < 1.5$) estos no serán estables, lo que implica que el talud podría sufrir un deslizamiento del terreno o desprendimiento de parte de este ocasionando derrumbes, para trabajar con factores de seguridad menores al recomendado es necesario realizar revestimientos al talud para prevenir estos deslizamientos, mediante la plantación de especies vegetales apropiadas para el suelo según la cantidad de agua presente en él, recubrimiento del talud con una placa de concreto o con un revestimiento en piedra.

6.2 COMENTARIO

Principalmente este trabajo de título tiene como finalidad encontrar una correlación entre los parámetros físicos del suelo con los parámetros de corte del mismo considerando el ensayo triaxial, si bien es cierto para análisis de estabilidad de taludes es imprescindible realizar ensayos triaxiales o similares para conocer estos parámetros y poder encontrar pendiente o altura apropiada para un determinado talud. Este trabajo busca encontrar una aproximación de valores aceptables de factores de seguridad que se puedan necesitar para diversas alturas o inclinaciones, el objetivo se cumple para dos de los tres tipos de suelos analizados por lo que no es un patrón a seguir sino más bien es una herramienta que entrega aproximaciones que se pueden considerar válidas al momento realizar intervenciones a un talud. Esta herramienta es válida para suelos con las características descritas en el desarrollo de este trabajo, es por ello que un suelo que cumple con esas características podrá evaluar sus datos en las gráficas de correlación.

6.3 RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJO

En función de las conclusiones anteriormente expuestas y considerando futuras investigaciones, a continuación se presenta una serie de recomendaciones con la intención de orientar de quienes decidan tomar como referencia este trabajo de título.

1.- Se recomienda trabajar con un solo tipo de suelo con el fin de estudiar a cabalidad sus propiedades físicas y realizar diferentes variaciones del nivel freático en el análisis de estabilidad de taludes para poder tener unos parámetros de referencia más acotados considerando este factor.

2.- Se considera realizar un trabajo con un solo tipo de suelo, realizando variación de altura y de ángulo más acotados de las que se hicieron en este trabajo de título para tener que evitar eventuales interpolaciones de los valores presentados.

6.4 INDICE DE REFERENCIAS

Referencias Bibliográficas.

1. ASTM D 2488 - 09a. Descripción e identificación de suelos
2. NCh 1532 of 80. Densidad de partículas sólidas
3. NCh 1515 of 79. Densidad suspendida y humedad natural.
4. ASTM D 2850 - 03a (2007), Compresión triaxial no consolidado y no drenado (UU)
5. Volumen 8 MC. Sección 8.102.1. Suelos Método para determinar Granulometría.
6. NCh 1852- Of 81. Determinación de CBR.
7. Software Geo 5. Estabilidad de taludes.
8. Valerio O. Ensayos Triaxiales Para Suelos, Métodos y materiales Volumen 1, Lanamme UCR. 2011
9. Leoni J. Resistencia al Corte, Capitulo 3, Facultad de Ingenieria U.N.L.P,
10. Cardenas M. Caracterización Geotécnica y Determinación de Ángulos de Talud en Yacimiento Franke, Memoria para optar al título de Ingeniero en Minas, Universidad de Chile. 2009.
11. Paper, Estabilidad de taludes, Geología y Geotecnia, Universidad Nacional de Rosario. 2003.

6.5 ANEXOS