Influencia de la Tasa de Desplazamiento en los Parámetros de Resistencia del Ensayo de Corte Directo

Juan Pablo Quesada Almeyda

Jonathan Adrian Zambrano Jaimes

Trabajo de Grado Modalidad Investigativa para Optar al Título de Ingeniera Civil

Director:

Vladimir Ernesto Merchan Jaimes

Doctor en Ingeniería -Geotecnia

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A dios agradezco la gran oportunidad que me brindo para poder estudiar y terminar esta bonita carrera. A mi madre, padre, familiares y mi esposa que día a día me apoyaron incondicionalmente para poder cumplir este sueño anhelado.

A los Profesores que hicieron parte del camino de mi formación como futuro ingeniero civil de la universidad industrial de Santander.

Juan Pablo Quesada Almeyda

Agradecimientos

A la universidad industrial de Santander por permitirnos hacer parte de ella y así poder adquirir conocimientos que pueden contribuir al desarrollo del país y el mundo.

A la escuela de ingeniería civil de la universidad industrial de Santander, docentes y personal administrativo por formar parte del proceso de los futuros profesionales.

Al director de proyecto de grado el ing, M. Sc Vladimir Merchán Jaimes por su tiempo, conocimiento, y compromiso con el avance del proyecto.

Al personal técnico del laboratorio por colaboración y orientación de las actividades de los ensayos realizados para la ejecución del proyecto de grado.

Contenido

Pág.

Introducción 14

1. Objetivos 15

1.1 Objetivo General 15

1.2 Objetivos Específicos 15

2. Ubicación Geográfica de la Muestra Tomada 16

3. Caracterización del Suelo 17

3.1 Ensayo de Granulometria Inve 123 17

3.2 Limites de Atterberg Inve 125-126 18

3.3 Ensayo Modificado de Compactación Inve 143 19

4. Determinación de la Resistencia al Corte Inve 154-07 20

5. Procedimiento 21

6. Determinación de las Envolventes de Resistencia 25

6.1 Ejemplo: Ensayo de Corte con Tasa de Desplazamiento 1 (mm/min) 25

7. Interpretación de Resultados 34

7.1 Influencia de la Tasa de Desplazamiento de Corte en el Esfuerzo Cortante. 34

7.2 Evolución de la Envolvente de Resistencia para las Diferentes Tasas de Desplazamiento.... 37

7.3 Influencia de la Tasa de Desplazamiento de Corte en el Ángulo de Fricción. 37

7.4 Influencia de la Tasa de Desplazamiento de Corte en la Cohesión. 38

8. Conclusiones 39

Referencias Bibliográficas 41

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Ubicación geográfica de la muestra. 16

Figura 2. Curva granulométrica de la muestra 18

Figura 3. Anexo fotográfico (ensayo plasticidad.) 19

Figura 4. Curva de compactación de la muestra 19

Figura 5. Esquema de ensayo del corte 21

Figura 6. Muestra Inicial 21

Figura 7. Muestra en los anillos de corte. 22

Figura 8. Montado de la caja de corte y micrómetro vertical. 23

Figura 9. Extracción de muestra al final del ensayo. 24

Figura 10. Datos de la etapa de expansión durante el corte a un esfuerzo normal de 28kPa y Vc= 1mm/min. 26

Figura 11. Datos de la etapa de expansión durante el corte a un esfuerzo normal de 28kPa y Vc= 1mm/min. 27

Figura 12. Datos de la etapa de expansión durante el corte a un esfuerzo normal de 56 kPa y una Vc= 1mm/min 29

Figura 13. Relación entre el esfuerzo de corte y el desplazamiento horizontal a un esfuerzo normal de 56 kPa y 1 mm/min 29

Figura 14. Datos de la etapa de expansión -compresión durante el corte a un esfuerzo normal de 112 kPa y 1mm/min. 31

Figura 15**.** Relación entre el esfuerzo de corte y el desplazamiento horizontal a un esfuerzo normal de 112 kPa y Vc = 1mm/min 32

Figura 16. Envolvente de resistencia experimental para Vc= 1mm/min. 32

Figura 17. Envolvente de resistencia experimental para Vc= 0.1mm/min. 33

Figura 18. Envolvente de resistencia experimental para Vc= 0.01mm/min. 33

Figura 19. Evolución del esfuerzo cortante en el desplazamiento horizontal para la influencia de la tasa de desplazamiento y para el esfuerzo normal de 28 kPa. 35

Figura 20. Evolución del esfuerzo cortante en el deslazamiento horizontal para la influencia de la tasa de desplazamiento y para el esfuerzo normal de 56 kPa. 36

Figura 21. Evolución del esfuerzo cortante en el desplazamiento horizontal para la influencia de la tasa de desplazamiento y para esfuerzo normal de 112 kPa 36

Figura 22. Evolución de la envolvente de resistencia para diferentes tasas de desplazamiento... 37

Figura 23. Valores de cohesión para diferentes tasas de desplazamiento..... 39

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Descripción de la muestra 16

Tabla 2. Análisis granulométrico de la muestra 17

Tabla 3. Resultado de la caracterización del suelo. 20

Tabla 4. Datos de tasas de desplazamiento de corte y esfuerzos de confinamiento a usar en ensayos. 24

Tabla 5. Datos de la muestra al inicio del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=27.88 kPa 25

Tabla 6. Datos de la muestra al final del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=27.88 kPa 26

Tabla 7. Datos de la muestra al inicio del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=55.76 kPa 28

Tabla 8. Datos de la muestra al final del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=55.76 kPa 28

Tabla 9**.** Datos de la muestra al inicio del con = 1mm/min y 111.52 kPa. 30

Tabla 10. Datos de la muestra al final del ensayo con 1mm/min y 111.52 kPa. 30

Tabla 11. Ángulo de fricción y cohesión para cada tasa de desplazamiento (1mm/min, 0.1mm/min y 0.01mm/min) 34

Lista de Apéndices

"Ver Apéndices Adjuntos en el CD y pueden visualizarse en la Base de Datos UIS"

Apéndice A. Ensayos de corte directo

Apéndice B. Caracterización del suelo

Resumen

Título: Influencia de la Tasa de Desplazamiento en los Parámetros de Resistencia del Ensayo de Corte Directo.*

Autores: Juan Pablo Quesada Almeyda, Jonathan Adrian Zambrano Jaimes.**

Palabras Clave: Tasa de desplazamiento, cohesión, envolvente de resistencia, ángulo de fricción, resistencia al corte.

Descripción

La práctica común en geotecnia es ejecutar los ensayos de resistencia al corte bajo condiciones de una tasa de carga elevada. Lo anterior conduce a una sobrestimación de la cohesión y el ángulo de fricción del material a estudiar y por lo tanto obtener una envolvente de resistencia incorrecta. Ante la incertidumbre de cómo afecta los parámetros de resistencia por efectos de la tasa de desplazamiento se plantea este proyecto de investigación para tener una panorámica de los valores de resistencia.

La muestra a estudiar es de un proyecto de vivienda ubicada en balcones de cacique II en la ciudad de Bucaramanga, la muestra que se desea estudiar es una muestra de suelo saturado. Para estudiar dichos efectos se harán una serie de ensayos de corte directo utilizando distintas tasas de desplazamiento. Previamente a los ensayos de corte directo se requiere hacer ensayos granulométricos, límites de atterberg y ensayo modificado de compactación, para caracterizar el suelo a estudiar. Con los ensayos de corte directo a distintas tazas de desplazamiento se permitió obtener resultados que indican que la variación de la tasa de desplazamiento tiene una gran influencia en la evolución de la envolvente de resistencia y en el efecto drenante del suelo, se encontró diferencias en los parámetros de resistencia al corte, al cambiar la velocidad del ensayo. Se deja de presente que este análisis se realiza, sin seguir las recomendaciones descritas por la norma invías.

---

* Trabajo de grado

** Faculta de ingeniería Físico mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Doctor en Ingeniería –Geotecnia. Doctor en Ingeniería –Geotecnia.

Abstract

Title: Influence of the Displacement Rate in the Resistance Parameters of the Direct Cutting Test.*

Authors: Juan Pablo Quesada Almeyda, Jonathan Adrian Zambrano Jaimes.**

Keywords: Rate of displacement, cohesion, strength envelope, friction angle, shear strength, strength parameters.

Description:

The common practice in geotechnics is to execute the tests of resistance to the cut under conditions of a high rate of load. The foregoing leads to an overestimation of the cohesion and the friction angle of the material to be studied and therefore to obtain an envelope of incorrect resistance. Given the uncertainty of how it affects the resistance parameters due to the effects of the displacement rate, this research project is proposed to have an overview of the resistance values.

The sample to study is a housing project located on balconies of Cacique II in the city of Bucaramanga, the sample to be studied is a sample of saturated soil. To study these effects, a series of direct cut trials will be carried out using different displacement rates. Prior to direct cutting tests, granulometric tests, atterberg limits and modified compaction tests are required to characterize the soil to be studied. With the direct cut tests at different displacement cups, results are obtained that indicate that the variation in the displacement rate has a great influence on the evolution of the resistance envelope and on the draining effect of the soil, the differences in the parameters of resistance to the cut, when changing the speed of the essay. It is clear that this analysis is carried out, without following the recommendations described by the invias standard.

* Graduate Work

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of civil Engineering, Director. Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. Doctor en Ingeniería – Geotecnia.

Introducción

La determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, constituye uno de los puntos fundamentales, a la hora de diseñar obras civiles. En donde se presenta un suelo saturado que es el tipo que encontramos a la hora de un estudio de suelos, En efecto una valoración correcta de este concepto nos arroja las propiedades del terreno donde se va a construir. El propósito del presente trabajo es mostrar la variación de los parámetros de resistencia de un suelo compactado y drenado, ubicado en la cra 45 # 56-32 Bucaramanga-Santander, conjunto residencial balcones del cacique II.

Los resultados del ensayo son aplicables para estimar la resistencia al corte en una situación de campo donde ha tenido lugar una consolidación completa bajo los esfuerzos normales actuales. La falla ocurre lentamente bajo condiciones drenadas, de tal manera que se disipan los excesos de presión de poros. Por otro lado, la práctica común en geotecnia es ejecutar los ensayos de resistencia al corte bajo condiciones de una tasa de carga elevada, lo que conduce a una sobrestimación de la cohesión del material y por la tanto obtener una envolverte de resistencia incorrecta.

La finalidad que el proyecto tiene es desarrollar, una serie de ensayos para estudiar la influencia de la tasa de desplazamiento en los parámetros de resistencia del ensayo de corte directo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

- Estudiar la influencia de la tasa de desplazamiento en la resistencia al corte de muestras compactadas.

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer la curva de compactación con el ensayo con el ensayo proctor modificado para un suelo limo-arenoso.
- Realizar una serie de ensayos de corte directo a diferentes tasas de desplazamiento para estudiar su efecto sobre la resistencia al corte.

2. Ubicación Geográfica de la Muestra Tomada

El material se obtuvo de una excavación del proyecto Balcones del Cacique II, con la que se realizaron los ensayos para el presente trabajo su ubicación de define en la Tabla N° 1.

Tabla 1.

Descripción de la muestra

Muestra	Ubicación	Sector	Profundidad	Descripción
Suelo del proyecto constructivo Balcones del cacique II	CR 45#56-32	Bucaramanga Santander	10 m	ML(limo inorgánico de baja plasticidad)

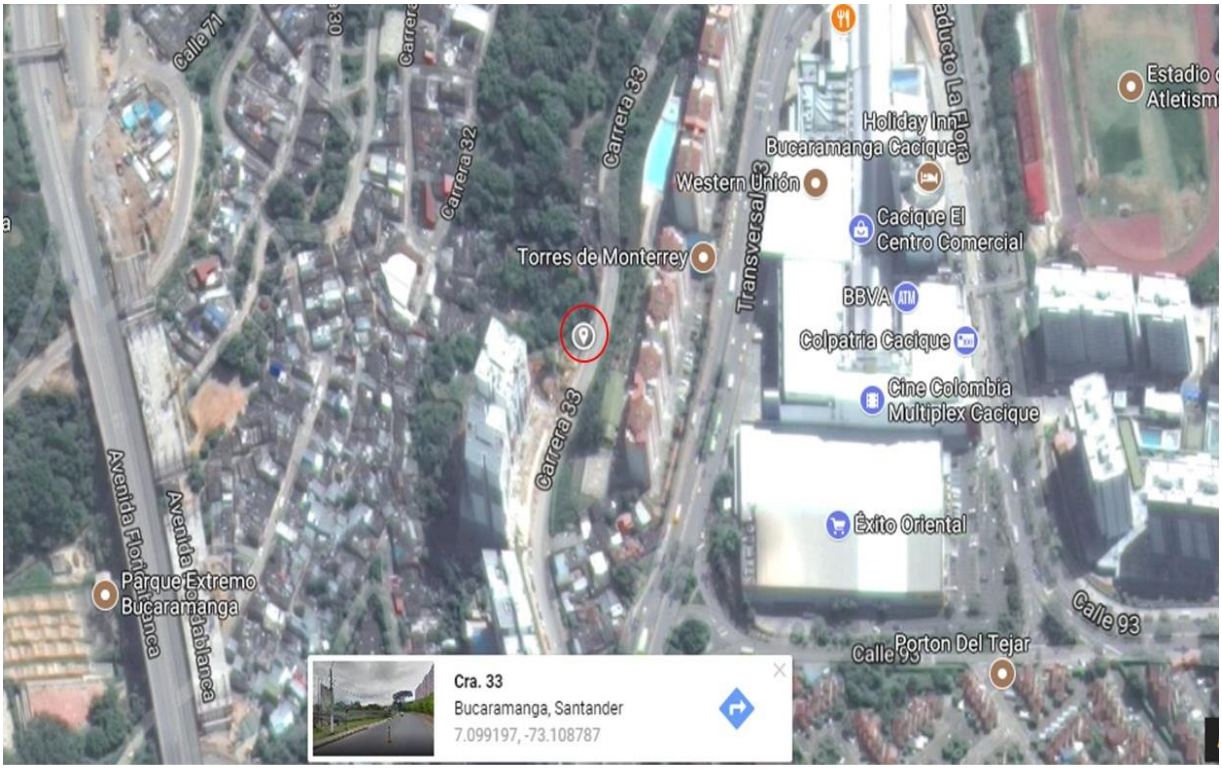


Figura 1. Ubicación geográfica de la muestra. Adaptado de: Registro Google Earth.

3. Caracterización del Suelo

La muestra fue llevada al laboratorio de la universidad industrial de Santander y se le realizaron los siguientes ensayos:

- Granulometría (INVE 123)
- Límites de atterberg (INVE 125-126)
- Ensayo de compactación (INVE 142)

3.1 Ensayo de Granulometria Inve 123

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 mm (No 200).

Tabla 2.

Análisis granulométrico de la muestra.

Malla No.	Porciento Retenido Parcial	% Que Pasa La Malla
***	%	%
2"	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	100.00
1"	0.00	100.00
3/4"	0.00	100.00
1/2"	1.00	99.00
3/8"	1.48	97.52
No. 4	5.73	91.79
SUMA	**8.21**	
10	9.59	82.2
20	9.13	73.07

Malla No.	Porciento Retenido Parcial	% Que Pasa La Malla
40	8.59	64.48
60	4.97	59.51
100	3.96	55.55
200	5.05	50.49
SUMA	**41.29**	
PASA 200	**50.44**	

Fuente: Registro propio.

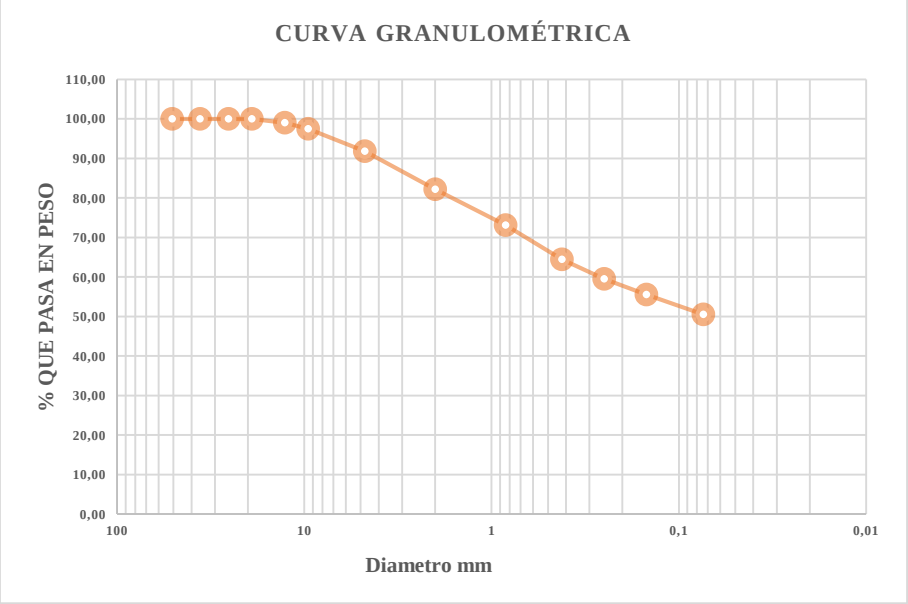


Figura 2. Curva granulométrica de la muestra

3.2 Limites de Atterberg Inve 125-126

El límite líquido tiene como finalidad determinar el contenido de humedad expresada en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla entre el estado líquido y el estado plástico.



Figura 3. Anexo fotográfico (ensayo plasticidad.)

3.3 Ensayo Modificado de Compactación Inve 143

Este ensayo se empleó para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de la muestra de un suelo compactado. Cuyo objeto es encontrar la densidad específica máxima, para una relación de humedad óptima.

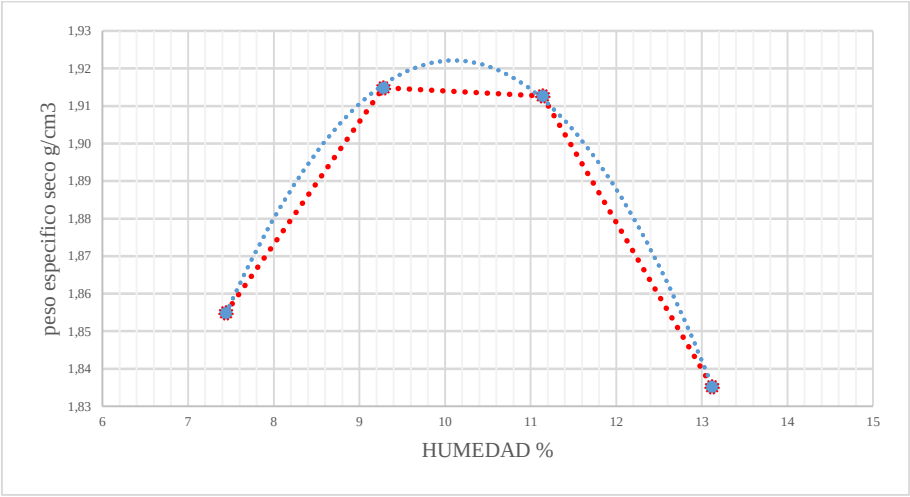


Figura 4. Curva de compactación de la muestra

Tabla 3.

Resultado de la caracterización del suelo.

MUESTRA	ENSAYO DE COMPACTACIÓN		LIMITES DE ATTEMBERG			GRANUOMETRIA			CLASICACIÓN DEL SUELO
	HUMEDAD OPTIMA	DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm3)	LIM LIQUIDO	LIM PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS	
SUELO DEL PROYECTO BALCONES DEL CACIQUE II	10%	1.92	32%	25%	7%	8.21%	41.29%	50.49%	ML

4. Determinación de la Resistencia al Corte Inve 154-07

Este ensayo tiene por objeto establecer el procedimiento para determinar la resistencia al corte de una muestra consolidada y drenada, empleando el método de corte directo.

En la parte experimental se harán procedimientos para determinar la resistencia al corte y la variación del desplazamiento vertical de una muestra de suelo, cuando se le aplique un esfuerzo de corte directo mientras se permite un drenaje completo de la muestra a ensayar.

Por otro parte la muestra se sujeta a diferentes cargas normales y a diferentes velocidades controladas en incrementos definidos.

Los resultados de estos ensayos son usados para estimar la resistencia al corte y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de una muestra de suelo. Para realizar los ensayos de corte directo a la muestra de suelo analizada nos basaremos en la norma INVE 154-07.

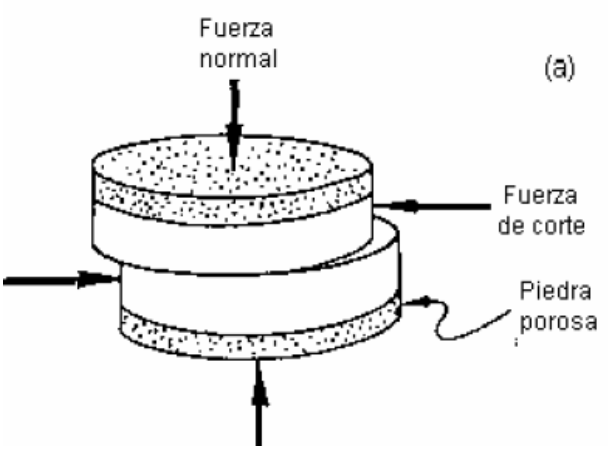


Figura 5. Esquema de ensayo del corte Adaptado de: INVE 157-07.

5. Procedimiento

El procedimiento inicia con la toma de la muestra, que como la norma lo señala debe ser lo menos inalterada posible, para que esta pueda contener sus propiedades iniciales.

Luego se extrae el anillo de corte y se enrasa la muestra con el borde del anillo utilizando una espátula, se procura que los diferentes anillos de corte que se enrasa tengan el mismo peso para evitar errores en los resultados.



Figura 6. Muestra Inicial



Figura 7. Muestra en los anillos de corte.

Se coloca el anillo con la muestra sobre la caja de corte directo y se desliza la muestra sobre el anillo hacia la caja de corte, luego se coloca la piedra porosa superior saturada. Posteriormente la caja de corte se lleva a la máquina de corte y se procede a montar está fijando los tornillos de ajuste. Se instala el micrómetro para deformación vertical, se inunda la muestra con agua de 2 a 4 horas, y se aplica la carga normal (inicialmente se aplica una carga normal de 8000 g (ver figura 8), después se repite el ensayo con cargas normales de 16 kg y 32 kg, se determinó la altura, diámetro y área de la muestra.



Figura 8. Montado de la caja de corte y micrómetro vertical.

Teniendo la muestra sujeta a la carga normal de 8 kg, se procede a definir una velocidad de corte para el ensayo, posteriormente se ajusta el medidor de fuerza horizontal igual a cero.

Se da inicio al ensayo de corte y simultáneamente tomamos lecturas de la fuerza de corte que va resistiendo la muestra contra el valor del desplazamiento asociado, además de toman lecturas del desplazamiento vertical a medida que avanza el ensayo de corte hasta alcanzar la resistencia máxima del espécimen. Después de que la muestra ha fallado se desmonta la máquina de corte, se extrae la caja de la máquina y de esta la muestra ensayada, se procede a establecer el contenido de humedad final de a la muestra. (Ver figura 9).



Figura 9. Extracción de muestra al final del ensayo.

Finalizado el ensayo con carga normal de 8 kg se procede a ensayar otro espécimen, pero con una carga de 16 kg y nuevamente se toman lecturas de deformación vertical a medida que avanza el ensayo de corte hasta alcanzar la resistencia máxima del espécimen. De igual manera se establece el contenido natural de humedad y el contenido final de humedad. Después de terminar el ensayo de corte con carga de 16 kg, se repite el ensayo de corte con una carga normal de 32 kg se sigue el procedimiento y se toman lecturas de deformación vertical durante el corte.

Finalizados los tres ensayos con cargas normales de 8 kg, 16 kg, 32 kg respectivamente y con una tasa de desplazamiento de 1mm/min se procede a repetir el proceso anterior con tasas de desplazamiento de 0.1 mm/min y 0.01 mm/min como se observa la tabla N° 4.

Tabla 4.

Datos de tasas de desplazamiento de corte y esfuerzos de confinamiento a usar en ensayos.

Tasa de desplazamiento de corte (mm/min)	**Esfuerzos normales aplicados o de confinamiento (kPa)**
1	28,56,111
0.1	28,56,111
0.01	28,56,111

6. Determinación de las Envolventes de Resistencia

De los datos de fuerza cortante y desplazamiento horizontal registrado durante cada uno de los ensayos con sus cargas aplicadas (28, 56, 112 [kPa] ó 8, 16, 32 [kg] respectivamente) es posible graficar la fuerza cortante máxima contra el esfuerzo normal aplicado y determinar la envolvente de cada una de las velocidades ensayadas.

6.1 Ejemplo: Ensayo de Corte con Tasa de Desplazamiento 1 (mm/min)

Como la muestra utilizada en el ensayo es una muestra alterada, se debe tener condiciones de humedad y densidad obtenidas en los ensayos de límites y compactación.

Como se observa en las tablas 5 y 6 se calcula el contenido de humedad de la muestra antes de realizar el ensayo y después de que la muestra ha alcanzado su resistencia pico (es decir al final del ensayo).

Muestra al Inicio del Ensayo

Tabla 5.

Datos de la muestra al inicio del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=28 kPa

Tipo de Suelo	Compactado	
Peso del Anillo	108.10	g
Diámetro de la muestra Lo	5.990	cm
Altura	2.32	cm
Área	28.15	cm^2
Volumen Inicial	65.38	cm^3
Peso Húmeda + Anillo	124.22	g

Tipo de Suelo	Compactado	
Humedad de la Muestra	25.65	%
Densidad Máxima	1.90	g/cm³

Tabla 6.

Datos de la muestra al final del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=28 kPa

Peso Húmeda	43.6	g
Peso Seca	34.7	g
Humedad de la Muestra	20.41	%

La muestra se introduce en la caja de corte directo y esta se moldea en la máquina de corte haciendo el respectivo ajuste de tornillos, se instala el micrómetro para medir la deformación vertical, se inunda la muestra con agua de 2 a 4 horas, y se aplica la carga normal de 28 kPa (8kg).

Fase de Corte

Se toma lecturas del desplazamiento vertical en el tiempo durante el corte (estas lecturas de tiempo se convierten a lecturas de desplazamiento horizontal) como se puede observar en la figura 10.

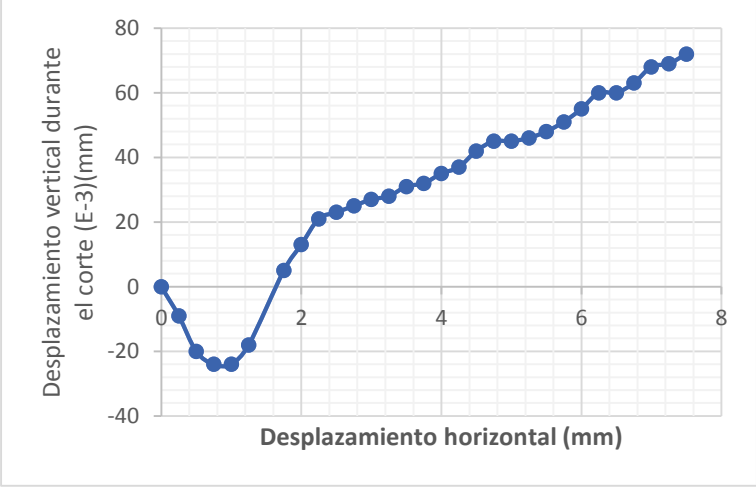


Figura 10. Datos de la etapa de expansión durante el corte a un esfuerzo normal de 28kPa y Vc= 1mm/min.

Se toma lecturas de la fuerza de corte que resiste la muestra en el desplazamiento horizontal, con ayude de estas lecturas obtenemos la relación entre el esfuerzo cortante y el desplazamiento horizontal y además se obtiene el esfuerzo cortante máximo que resiste el espécimen como se observa en la figura 11.

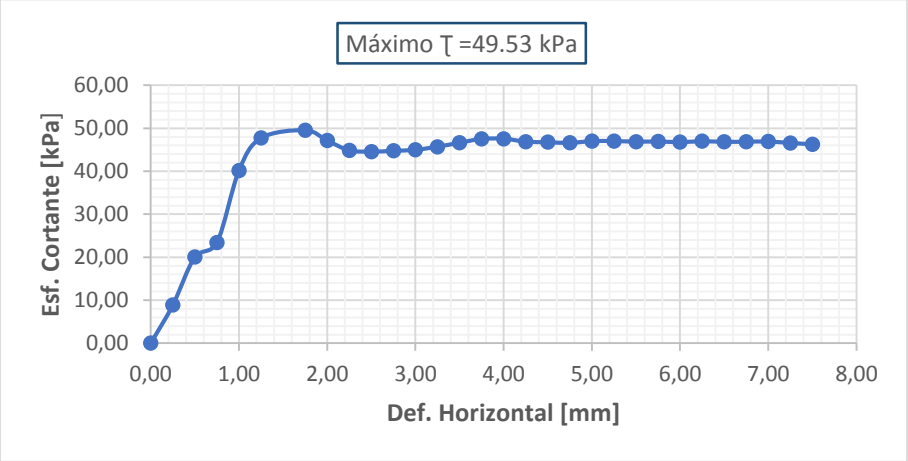


Figura 11. Datos de la etapa de expansión durante el corte a un esfuerzo normal de 28kPa y Vc= 1mm/min.

Cortes Sucesivos

Con el fin de determinar la envolvente de resistencia para la tasa de desplazamiento de corte 1mm/min, se repite los pasos anteriores dos veces, uno con un esfuerzo normal de 56 kPa (16 kg) y otro con un esfuerzo normal de 112 kPa (32 kg) respectivamente.

Segundo Corte: Esfuerzo Normal de 56 kPa (16 kg)

Se prepara una nueva probeta para realizar el ensayo de corte con un esfuerzo normal de 56 kPa (16 kg).

Como se observa en las tablas 7 y 8 se calcula el contenido de humedad de la muestra antes de realizar el ensayo y después de que la muestra ha alcanzado su resistencia pico (es decir al final del ensayo).

Tabla 7.

Datos de la muestra al inicio del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=56 kPa

Tipo de Suelo	Compactado	
Peso del Anillo	100.7	g
Diámetro de la muestra Lo	5,990	cm
Altura	2.32	cm
Área	28.15	cm^2
Volumen Inicial	65.38	cm^3
Peso Húmeda + Anillo	124.22	g
Humedad de la Muestra	24.92	%
Densidad Máxima	1.90	g/cm^3

Tabla 8.

Datos de la muestra al final del ensayo con Vc= 1mm/min y σ=56 kPa

Peso Húmeda	41	g
Peso Seca	32.7	g
Humedad de la Muestra	20.24	%

La muestra se introduce en la caja de corte directo y esta se moldea en la máquina de corte haciendo el respectivo ajuste de tornillos, se instala el micrómetro para medir la deformación vertical, se inunda la muestra con agua de 2 a 4 horas, y se aplica la carga normal de 56 kPa (16 kg).

Fase de Corte

Se toma lecturas del desplazamiento vertical en el tiempo durante el corte (estas lecturas de tiempo se convierten a lecturas de desplazamiento horizontal) como se puede observar en la figura 12.

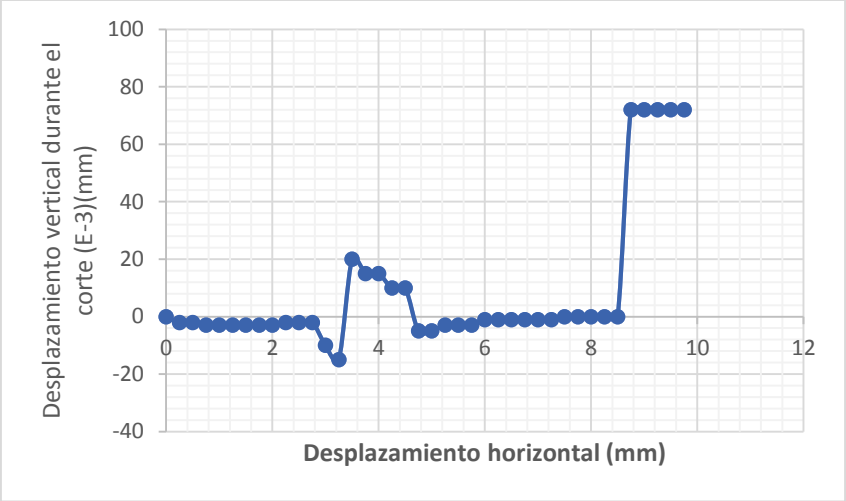


Figura 12. Datos de la etapa de expansión durante el corte a un esfuerzo normal de 56 kPa y una Vc= 1mm/min

Se toman lecturas de la fuerza de corte que resiste la muestra en el desplazamiento horizontal, con ayuda de estas lecturas obtenemos la relación entre el esfuerzo cortante y el desplazamiento horizontal además se obtiene el esfuerzo cortante máximo que resiste el espécimen como se observa en la figura 13.

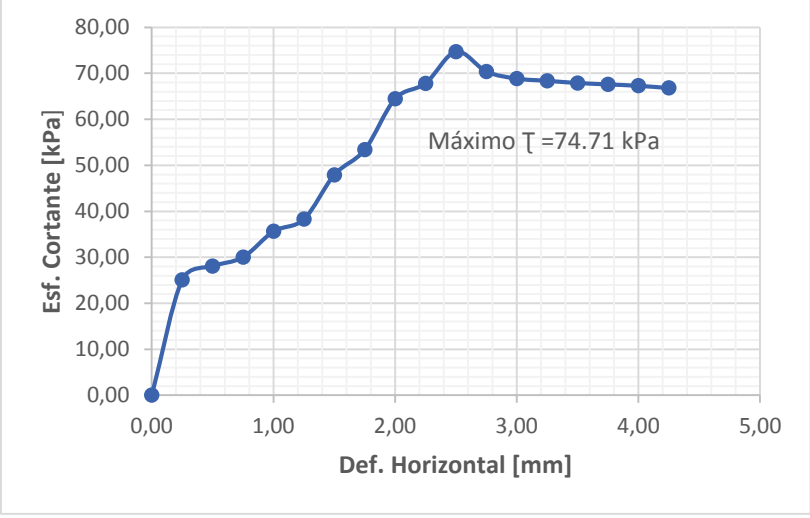


Figura 13. Relación entre el esfuerzo de corte y el desplazamiento horizontal a un esfuerzo normal de 56 kPa y 1 mm/min

Tercer Corte: Esfuerzo Normal de 112 kPa (32 kg).

Se extrae y se talla un nuevo espécimen de la muestra inalterada y se introduce una nueva muestra en el anillo de corte.

Como se observa en las tablas 9 y 10, se calcula el contenido de humedad de la muestra antes de realizar el ensayo y después de que la muestra ha alcanzado su resistencia pico (es decir al final del ensayo).

Tabla 9**.**

Datos de la muestra al inicio del con = 1mm/min y 112 kPa.

Tipo de Suelo	Compactado	
Peso del Anillo	109.50	g
Diámetro de la muestra Lo	5,990	cm
Altura	2.32	cm
Área	28.15	cm^2
Volumen Inicial	65.38	cm^3
Peso Húmeda + Anillo	124.22	g
Humedad de la Muestra	24.08	%
Densidad Máxima	1.91	g/cm^3

Muestra al final del ensayo:

Tabla 10.

Datos de la muestra al final del ensayo con 1mm/min y 112 kPa.

Peso Húmeda	43.8	g
Peso Seca	35.3	g
Humedad de la Muestra	19.41	%

La muestra se introduce en la caja de corte directo y esta se monta en la máquina de corte haciendo el respectivo ajuste de tornillos, se instala el micrómetro para deformación vertical, se inunda la muestra con agua de 2 a 4 horas, y se aplica un esfuerzo normal de 112 kPa (32 kg).

Fase de corte.

En la figura 14, se toman lecturas del desplazamiento vertical en el tiempo, durante el corte.

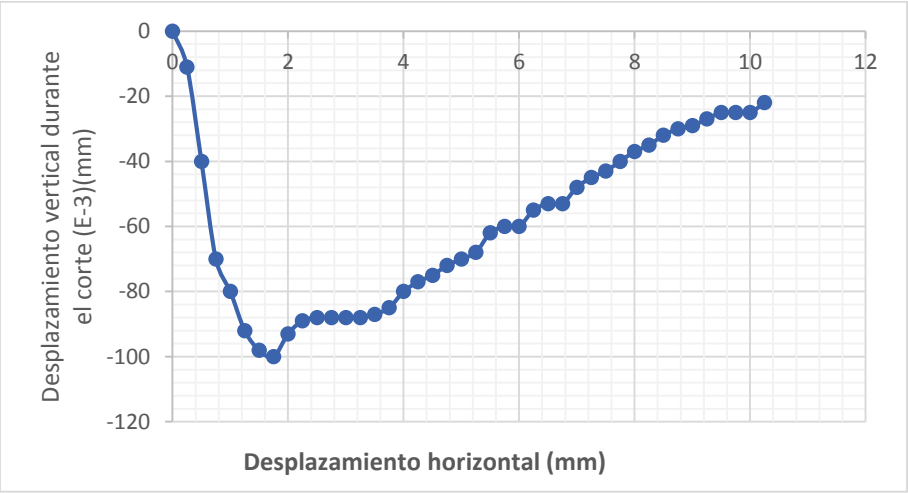


Figura 14. Datos de la etapa de expansión -compresión durante el corte a un esfuerzo normal de 112 kPa y 1mm/min.

Se toman lecturas de la fuerza de corte que resiste la muestra en el desplazamiento horizontal, con la ayuda de estas lecturas obtenemos la relación entre el esfuerzo cortante y el desplazamiento horizontal además se obtiene el esfuerzo cortante máximo que resiste el espécimen como se observa en la figura 15.

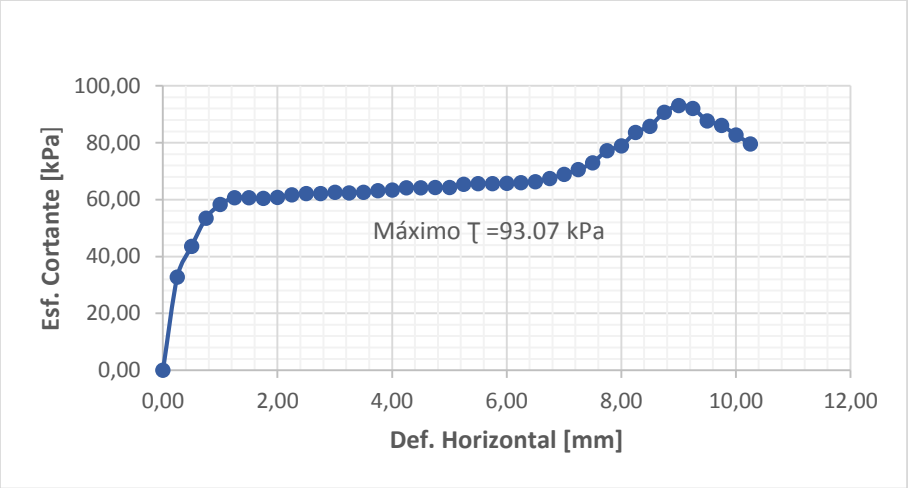


*Figura 15***.** Relación entre el esfuerzo de corte y el desplazamiento horizontal a un esfuerzo normal de 112 kPa y Vc = 1mm/min

Como se observa en la figura 16 se obtiene la envolvente de resistencia experimental para esta tasa de desplazamiento de 1mm/min, con los valores de esfuerzo máximo (50, 65, 90 kPa) para cada esfuerzo de confinamiento de (28,56 y 112 kPa).

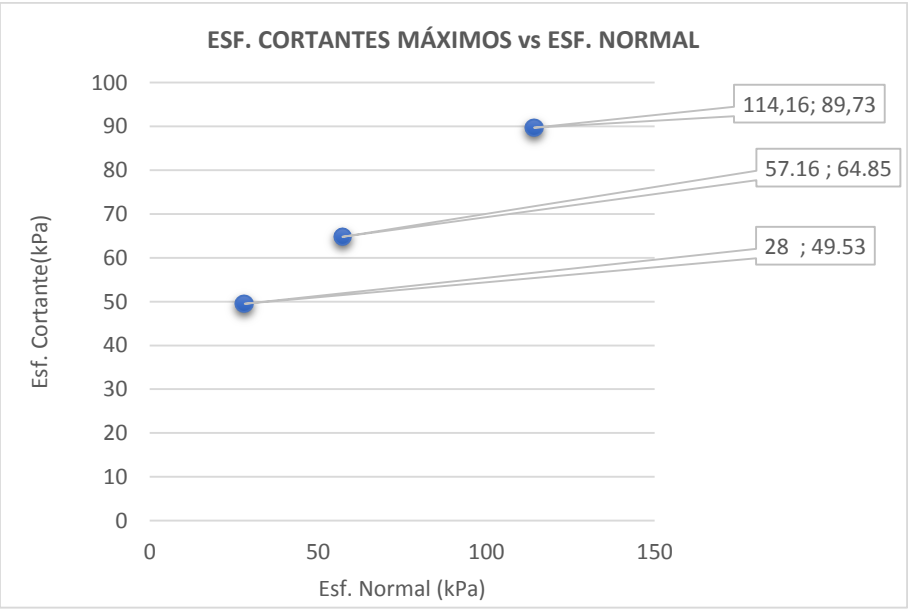


Figura 16. Envolvente de resistencia experimental para Vc= 1mm/min.

Resultados Envolvente de Resistencia Experimental Sucesivos

Con el fin de determinar la envolvente de resistencia para las dos tasas de desplazamiento faltante (0.1mm/min y 0.01mm/min) con sus respectivos esfuerzos normales de 28kPa (8kg), 56 kPa (16 kg) y 112 kPa (32 kg). En las figuras 19 y 20 se evidencian las envolventes de falla.

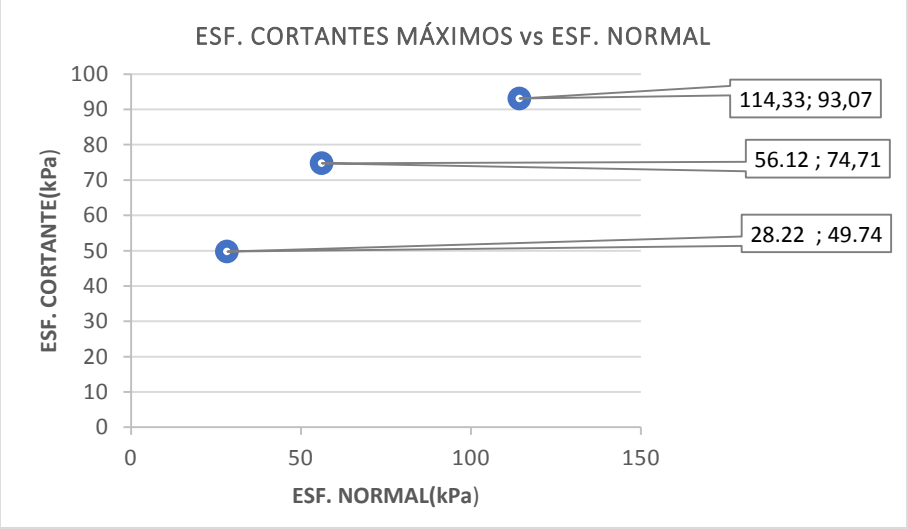


Figura 17. Envolvente de resistencia experimental para Vc= 0.1mm/min.

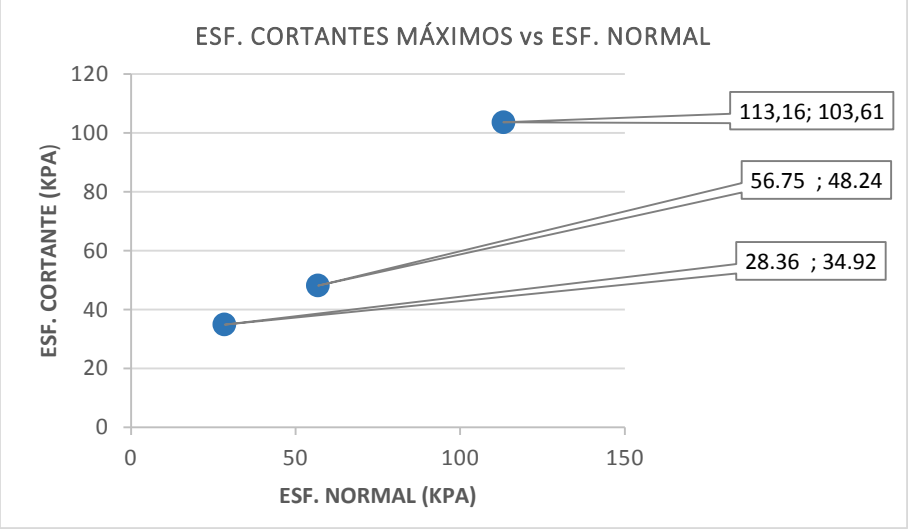


Figura 18. Envolvente de resistencia experimental para Vc= 0.01mm/min.

Resultados de cohesión y ángulo de fricción de cada tasa de desplazamiento.

En la tabla 11 se describe los resultados de ángulo de fricción y cohesión para cada tasa de desplazamiento.

Tabla 11.

Ángulo de fricción y cohesión para cada tasa de desplazamiento (1mm/min, 0.1mm/min y 0.01mm/min)

Velocidad	Ø=	c [kPa]
1mm/min	25	37
0.1mm/min	25	41
0.01mm/min	40	7

7. Interpretación de Resultados

Una vez obtenido los resultados de los ensayos de corte para las diferentes tasas de desplazamiento, se procede analizar la influencia de la tasa de desplazamiento en la resistencia al corte de muestras compactadas.

7.1 Influencia de la Tasa de Desplazamiento de Corte en el Esfuerzo Cortante.

En las figuras () y () se observa que la muestra de suelo limo ML, tiene una importante influencia en la resistencia al corte, lo cual nos indica que a menor tasa de desplazamiento la resistencia al corte se disminuirá para esfuerzos normales medios y altos. Para esfuerzos normales bajos no sigue la tendencia anterior como se puede observar en la figura (). Teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que la resistencia al corte debe suponerse cuidadosamente teniendo en cuenta que esta

no solo dependerá del esfuerzo normal, sino que también de penderá de la tasa de desplazamiento de corte.

Como se puede observar en las figuras (), () y () la tasa de desplazamiento de corte influye en el comportamiento que tiene el suelo ya que a pequeñas tasas de desplazamiento de corte (0.01mm/min)), disminuye considerablemente el esfuerzo cortante para un esfuerzo normal de 28 kg.

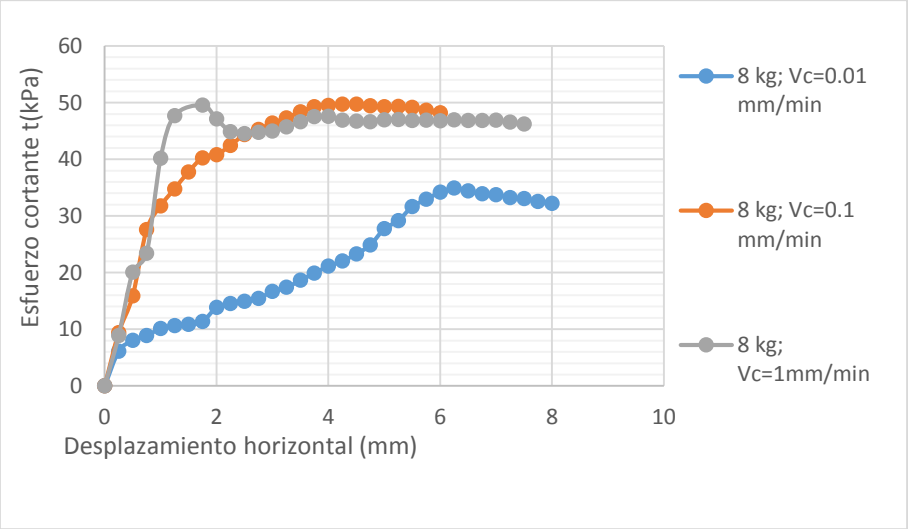


Figura 19. Evolución del esfuerzo cortante en el desplazamiento horizontal para la influencia de la tasa de desplazamiento y para el esfuerzo normal de 28 kPa.

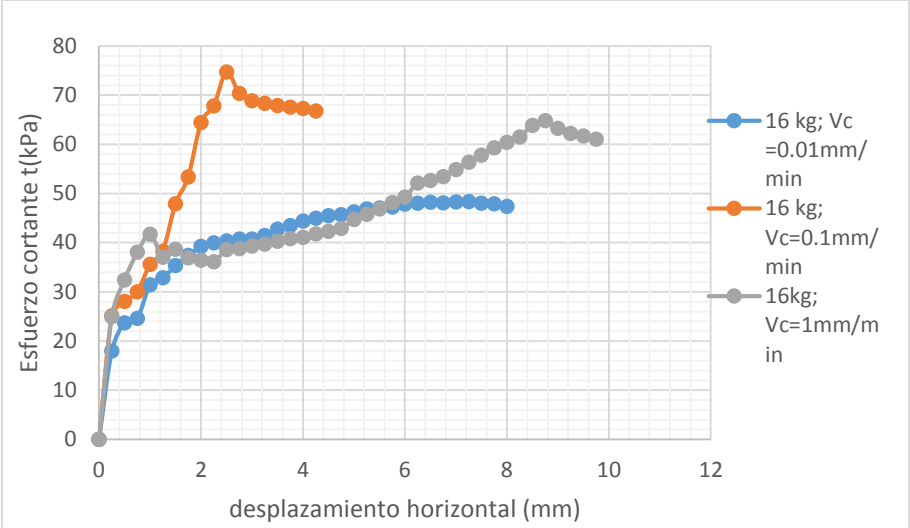


Figura 20. Evolución del esfuerzo cortante en el deslazamiento horizontal para la influencia de la tasa de desplazamiento y para el esfuerzo normal de 56 kPa.

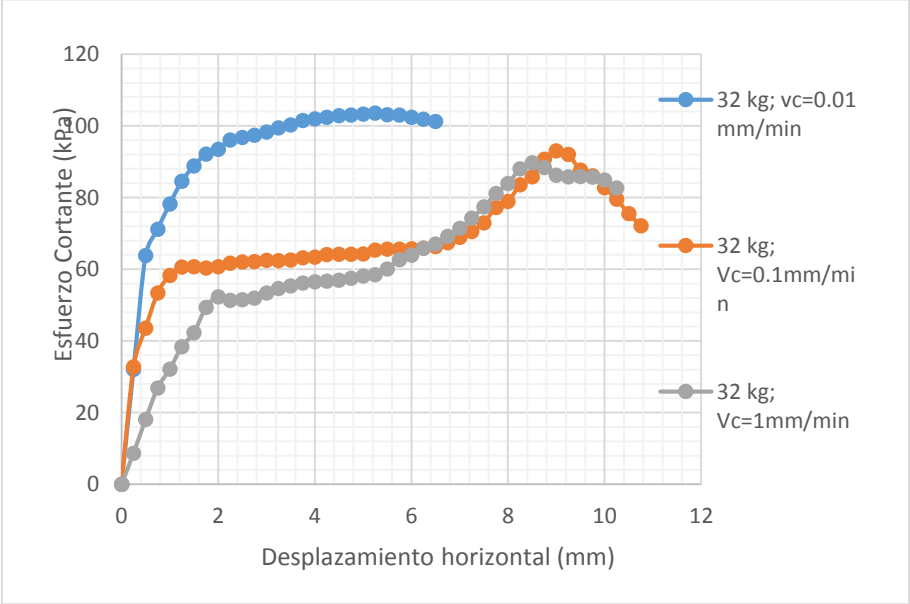


Figura 21. Evolución del esfuerzo cortante en el desplazamiento horizontal para la influencia de la tasa de desplazamiento y para esfuerzo normal de 112 kPa

7.2 Evolución de la Envolvente de Resistencia para las Diferentes Tasas de Desplazamiento.

Como se puede ver en la figura 24, se realizaron varios ensayos de corte directo con diferentes tasas de desplazamiento, al realizar estas pruebas se producen diferentes envolventes de resistencia en el suelo limo inorgánico; lo cual indica que dependiendo de la tasa de desplazamiento se tendrá una envolvente de resistencia diferente, a menor tasa de desplazamiento de resistencia aumentara, es decir la pendiente de la envolvente será en comparación con las demás más alta indicando un aumento en el Angulo de fricción.

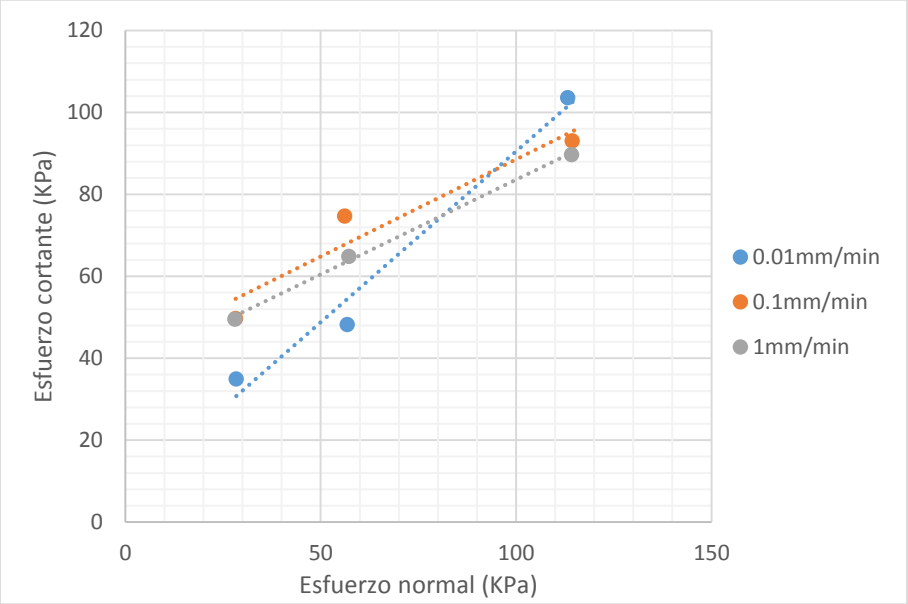


Figura 22. Evolución de la envolvente de resistencia para diferentes tasas de desplazamiento.

7.3 Influencia de la Tasa de Desplazamiento de Corte en el Ángulo de Fricción.

En la figura 24 se puede observar que la tasa de desplazamiento de corte tiene influencia en el ángulo de fricción de la muestra; de igual manera la tabla 10 nos hace ver a menor tasa de

desplazamiento se produce mayor ángulo de fricción, indicando mayor resistencia al corte al someterse lentamente al corte.

Teóricamente al disminuir la tasa de desplazamiento de corte se debe incrementar el ángulo de fricción ya que el agua drenara ira apareciendo la fuerza de fricción entre las partículas; en este caso ocurre lo mismo, es decir al disminuir la tasa el ángulo de fricción aumenta lo que este resultado comprueba lo dicho teóricamente.

7.4 Influencia de la Tasa de Desplazamiento de Corte en la Cohesión.

Como se puede observar en la figura 25, la tasa de desplazamiento de corte tiene una importante influencia en la cohesión de la muestra; lo cual indica a menor tasa de desplazamiento la muestra tendrá una menor cohesión, indicando una menor adherencia entre partículas de este suelo, esto para tasa de desplazamiento bajas en el rango de 0.1 mm/ min a 0.01 mm/min, para tasas de desplazamiento mayor no se genera la tendencia anterior es decir a mayor tasa de desplazamiento mayor cohesión, entonces de manera general al disminuirse la tasa de desplazamiento la cohesión disminuye como se puede observar en la figura 25.

El hecho de que al disminuirse la tasa de desplazamiento se disminuya la cohesión se debe al tipo de suelo que se está analizando pues en este proyecto de investigación se analizó un suelo ML y estos suelos tiene poca cohesión.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que este parámetro debe suponerse cuidadosamente teniendo como base esta variación por efecto de la tasa de desplazamiento.

En general, la cohesión es un parámetro muy sensible en comparación con el ángulo de fricción. Revisando algún texto muestra que la cohesión puede tener una gran dispersión; un coeficiente de variación de más del 50%.

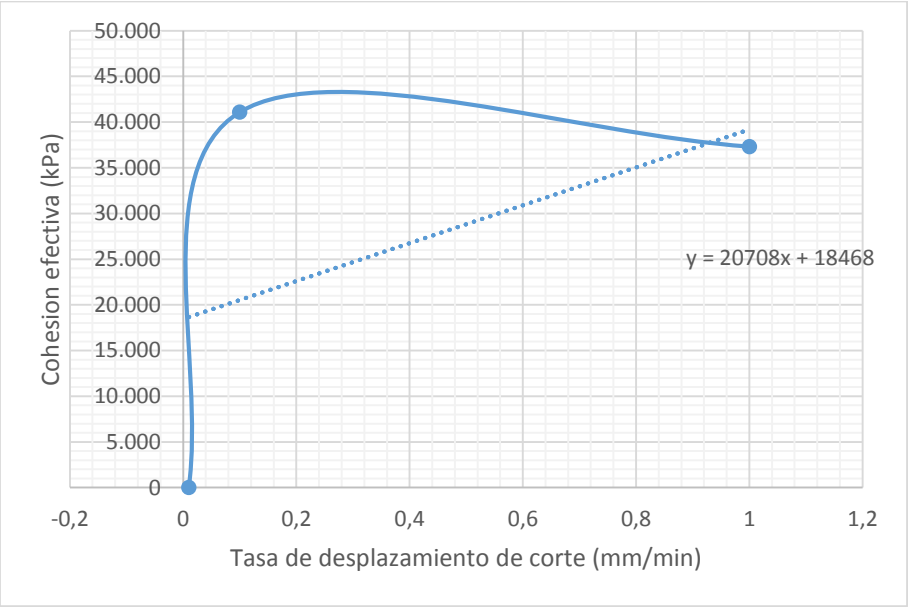


Figura 23. Valores de cohesión para diferentes tasas de desplazamiento.

8. Conclusiones

La realización de ensayos de corte directo con diferentes tasas de desplazamientos permite tener información de la evolución de la envolvente de resistencia y de la variación de los parámetros de resistencia del ensayo de corte directo, de esta forma se puede asumir de manera más adecuada y observar la evolución de estos a la hora de diseñar obras civiles. Se deja de presente que este análisis se realiza, sin seguir las recomendaciones de la norma invías.

Según los ensayos realizados se puede observar con claridad la influencia de la tasa de desplazamientos en la cohesión y fricción del material, se concluye que este parámetro varía según la tasa de desplazamiento baja, de esta manera se está cometiendo un error en la práctica común, de geotecnia al ejecutar ensayos de resistencia al corte bajo condiciones de una tasa de desplazamiento elevada. En este proyecto en particular se encontró que la tasa de desplazamiento de 0.01mm/min es la más adecuada para un ensayo drenado.

Como es de esperar la tasa de desplazamiento de corte tiene una influencia en el drenado, por lo tanto, se puede concluir que el efecto del drenaje se observa en el aumento de la cohesión a medida que aumenta la tasa de desplazamiento, pues este fenómeno está directamente relacionado con la presión de poros, por consiguiente, tasa de desplazamientos altas generan cohesiones aparentes y situaciones parcialmente drenadas.

Referencias Bibliográficas

INVIAS (2013). *Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos: E-123-13*. Instituto Nacional de Vías.

INVIAS (2013). *Determinación del límite líquido de los suelos: INV E – 125 – 13*. Instituto Nacional de Vías.

INVÍAS (2013). *Ensayo de corte directo en condiciones consolidadas drenadas: E-154*. Colombia: Instituto Nacional de Vías.

INVIAS (2013). *Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos: INV E – 126 – 13*. Instituto Nacional de Vías.

Juárez, Eulalio (2015). *Mecánica de suelos Tomo 1: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.