

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RESISTENCIA AL CORTE EN CONDICIONES  
DRENADAS PARA MUESTRAS REMOLDEADAS**

**MAYRA LISSETTE SALAZAR ZAMBRANO**

**DIANA MARCELA SANABRIA RUIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RESISTENCIA AL CORTE EN CONDICIONES  
DRENADAS PARA MUESTRAS REMOLDEADAS**

**MAYRA LISSETTE SALAZAR ZAMBRANO**

**DIANA MARCELA SANABRIA RUIZ**

**Trabajo de grado modalidad Investigativa para optar el título de:**

**Ingeniero Civil**

**Director:**

**VLADIMIR ERNESTO MERCHAN JAIMES**

**I.C., M.I.-G, D.I.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO- MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## DEDICATORIA

*Este proyecto de grado se lo dedico a mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera.*

*A Dios que me enseñó a ser más valiente en todas las situaciones que se me presentaron en el transcurso de mi carrera*

*A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.*

*A mi padre por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre.*

*A mis madres por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.*

*A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome*

*A todo el resto de familia y amigos que de una u otra manera me han llenado de sabiduría para terminar este proyecto*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	21
1 OBJETIVOS	22
2 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA MUESTRA TOMADA	23
3 CARACTERIZACION DE LA MUESTRA TOMADA	24
4 CORTE DIRECTO	28
4.1 ENSAYO DE CORTE DIRECTO	28
4.1.1 EQUIPO	28
4.1.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CORTE	33
4.1.2.1 Primera Fase	33
4.1.2.2 Segunda Fase	37
5 ANALISIS EXPERIMENTAL DE LA MUESTRA DE ESTUDIO	38
5.1 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 1(mm/min), NO SATURADA	38
5.2 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 1(mm/min), SATURADA	46
5.3 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 0.005(mm/min), NO SATURADA	55
5.4 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 0.005(mm/min), SATURADA	64
6 INTERPRETACION DE RESULTADOS	73
6.1 INFLUENCIA DE LA HUMEDADES GRADOS DE SATURACIÓN Y	

TASAS DE VELOCIDAD EN EL ESFUERZO CORTANTE DE LA MUESTRA DE ESTUDIO	73
	<b>Pág.</b>
<b>6.2</b> INFLUENCIA DE LA TASA DE VELOCIDAD, HUMEDADES Y DIFERENTES GRADOS DE SATURACIÓN EN LA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA DE LA MUESTRA DE ESTUDIO	80
<b>6.3</b> INFLUENCIA DE LA TASA DE VELOCIDAD, HUMEDADES Y GRADO DE SATURACIÓN EN EL ÁNGULO DE FRICCIÓN	83
<b>6.4</b> INFLUENCIA DE LA TASA DE VELOCIDAD, HUMEDADES Y GRADO DE SATURACIÓN EN LA COHESION	87
<b>7</b> CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFIA	91

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la muestra tomada	23
<b>Figura 2.</b> Curva granulométrica de la muestra	25
<b>Figura 3</b> Grafica de límites para la muestra de estudio	26
<b>Figura 4.</b> Grafica corte directo muestra de estudio	27
<b>Figura 5.</b> Muestra en la caja de corte	29
<b>Figura 6.</b> Partes de la caja de corte	30
<b>Figura 7.</b> Pulverización de la muestra	31
<b>Figura 8.</b> Muestra Tamizada	31
<b>Figura 9.</b> Mezclado del material	32
<b>Figura 10.</b> Anillo con la muestra	33
<b>Figura 11.</b> Muestra cortada no saturada	34
<b>Figura 12.</b> Cargas	35
<b>Figura 13.</b> Muestra Saturada	36
<b>Figura 14.</b> Muestra cortada saturada	37
<b>Figura 15.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg	39
<b>Figura 16.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg	39
<b>Figura 17.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15% velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg	40
<b>Figura 18.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15% no saturada	41

<b>Figura 19.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg	41
	<b>Pág.</b>
<b>Figura 20.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg	42
<b>Figura 21.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg	42
<b>Figura 22.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% no saturada	43
<b>Figura 23.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg	44
<b>Figura 24.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg	44
<b>Figura 25.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg	45
<b>Figura 26.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25% no saturada	46
<b>Figura 27.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg	48
<b>Figura 28.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg	48
<b>Figura 29.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg	49
<b>Figura 30.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15%. Saturada	50
<b>Figura 31.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg	50
<b>Figura 32.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con	

humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg	51
	<b>Pág.</b>
<b>Figura 33.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg	51
<b>Figura 34.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada	52
<b>Figura 35.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25% velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg	53
<b>Figura 36.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg	53
<b>Figura 37.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg	54
<b>Figura 38.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada	55
<b>Figura 39.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg	56
<b>Figura 40.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg	57
<b>Figura 41.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg	57
<b>Figura 42.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% no saturada	58
<b>Figura 43.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg	59
<b>Figura 44.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg	59
<b>Figura 45.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg	60

<b>Figura 46.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% no saturada	61
	<b>Pág.</b>
<b>Figura 47.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg	61
<b>Figura 48.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg	62
<b>Figura 49.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg	62
<b>Figura 50.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% no saturada	63
<b>Figura 51.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg	65
<b>Figura 52.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg	65
<b>Figura 53.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg	66
<b>Figura 54.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% saturada	67
<b>Figura 55.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con Humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg	67
<b>Figura 56.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg	68
<b>Figura 57.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg	68
<b>Figura 58.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% saturada	69

<b>Figura 59.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 mm/min y una carga de 1 kg	70
	<b>Pág.</b>
<b>Figura 60.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg	70
<b>Figura 61.</b> Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg	71
<b>Figura 62.</b> Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% saturada	72
<b>Figura 63.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg.....	74
<b>Figura 64.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg.....	75
<b>Figura 65.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg. Saturada .....	75
<b>Figura 66.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg. Saturada.....	76
<b>Figura 67.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg.....	76
<b>Figura 68.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg.....	77
<b>Figura 69.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00	

mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg. Saturada.....	77
	<b>Pág.</b>
<b>Figura 70.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg. Saturada.....	78
<b>Figura 71.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg.....	78
<b>Figura 72.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg.....	79
<b>Figura 73.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg. Saturada.....	79
<b>Figura 74.</b> Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg. Saturada .....	80
<b>Figura 75.</b> Evolución de la envolvente de resistencia para las diferentes humedades y tasa de velocidad para muestra NO SATURADA	81
<b>Figura 76.</b> Evolución de la envolvente de resistencia para las diferentes humedades y tasa de velocidad para muestra SATURADA	82
<b>Figura 77.</b> Ángulos de fricción para diferentes tasas de velocidades, humedades y grado de saturación (No Saturada)	84
<b>Figura 78.</b> Ángulos de fricción para diferentes tasas de velocidades, humedades y grado de saturación (Saturada)	84
<b>Figura 79.</b> Análisis de Cohesión ante la tasa de desplazamiento para muestras No Saturadas	88

**Figura 80.** Análisis de Cohesión ante la tasa de desplazamiento para muestras No Saturadas

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Análisis granulométrico de la muestra de estudio	24
<b>Tabla 2.</b> Análisis Límites de Atterberg a la muestra de estudio	25
<b>Tabla 3.</b> Análisis de corte directo para la muestra de estudio	26
<b>Tabla 4.</b> Resumen de resultados de la caracterización de la muestra	27
<b>Tabla 5.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15%	40
<b>Tabla 6.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20%	43
<b>Tabla 7.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25%	45
<b>Tabla 8.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15% saturada	49
<b>Tabla 9.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada	52
<b>Tabla 10.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25% saturada	54
<b>Tabla 11.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15%	58
<b>Tabla 12.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20%	60
<b>Tabla 13.</b> Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25%	63

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 14.</b> Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% saturada	66
<b>Tabla 15.</b> Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% saturada	69
<b>TABLA 16.</b> Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% saturada	71
<b>TABLA 17.</b> Ángulos de fricción y cohesión con velocidad de corte de 1.00 mm/min	85
<b>TABLA 18.</b> Ángulos de fricción y cohesión con velocidad de corte de 0.005 mm/min	86

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RESISTENCIA AL CORTE EN CONDICIONES DRENADAS PARA MUESTRAS REMOLDEADAS

**AUTORAS:** MAYRA LISSETTE SALAZAR ZAMBRANO

DIANA MARCELA SANABRIA RUIZ

**PALABRAS CLAVES:** Envolvente de resistencia, cohesión, ángulo de fricción, resistencia al corte, condiciones saturadas, drenados.

**DESCRIPCION:** Normalmente en geotecnia se realizan ensayos de Corte Directo en condiciones saturadas o se obtienen parámetros de resistencia a partir de ciertas correlaciones, pero no existe un estudio experimental que soporte la influencia de algunos parámetros ambientales en la envolvente de resistencia de los suelos en Bucaramanga y es por esta razón que se realiza este proyecto.

En esta investigación se presenta la necesidad de estudiar el comportamiento de los suelos limo-arcillosos y para esto se realizan análisis geotécnicos, los cuales requieren el conocimiento de los parámetros de resistencia del suelo.

A partir de la necesidad de estudiar dichos factores ambientales donde se ven afectados los parámetros de resistencia, se realizaron ensayos de corte directo con diferentes grados de humedad y diferentes tasas de velocidad a la estipulada en la norma, a una muestra tomada del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de determinar su cohesión y calcular la envolvente de resistencia presente en este suelo.

Para la realización de este trabajo experimental fue necesario el uso de un equipo de corte directo con el cual se logró obtener los diferentes resultados de cohesión y de la envolvente y donde se evidencia el efecto de los fenómenos ambientales en los parámetros de la resistencia de este suelo. Se sugiere tener en cuenta estos cambios en la envolvente a la hora de diseñar las obras civiles.

---

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil.  
Director Ing. PhD Vladimir E. Merchan Jaimes.

## ABSTRACT

**TITLE:** EXPERIMENTAL STUDY OF SHEAR STRENGTH IN DRAINED CONDITIONS FOR REMOLDED SAMPLES

**AUTHORS:** MAYRA LISSETTE SALAZAR ZAMBRANO

DIANA MARCELA SANABRIA RUIZ

**KEY WORDS:** Envelope of resistance, cohesion, angle of friction, shear strength, saturated conditions, drained.

**DESCRIPTION:** In Geotechnics are usually performed tests of shear strength in saturated conditions, or resistance parameters are obtained from correlations, but there is not an experimental study that support the influence of some environmental parameters in the envelope or resistance of Bucaramanga's soils. For this reason this project is developed.

For this investigation there is the need of studying the behavior of the silty shaly soils, for this objective, geotechnical analysis is performed, which requires the knowledge about the shear strength of the soil.

From the need to consider those environmental factors where the resistance parameters are affected, essays of Direct Cut were performed to a sample taken from Bucaramanga's metropolitan zone, with different values of humidity and different rates of speed than the normal one, in this way we can determinate its cohesion and to calculate the envelope of resistance present in that soil.

For the realization of this experimental work, it was necessary the use of Direct Cut equipment with which we could obtain different values of cohesion and envelope of resistance, where we can evidence the effect of the environmental phenomena in the parameters of the shear strength of this soil. It is suggested taking into account those changes in the envelope of resistance when designing civil works.

---

\* Graduation Project

\*\* Faculty of Physics and Mechanical Engineering Civil Engineering School  
Director Ing. PhD Vladimir E. Merchan Jaimes.

## INTRODUCCION

En el momento de diseñar obras civiles se deben tener en cuenta todos los factores que puedan alterar el desarrollo de la misma. Empezando por la caracterización del suelo, las cargas que puede resistir y en que condición de humedad se encuentra el terreno en el que se va a trabajar.

Es importante recalcar que el estudio de un terreno, se pueden presentar suelos con escaso nivel freático ó por el contrario suelos con alto nivel de saturación, este último caso es el mas común en cualquier obra ingenieril y por ende es el mas significativo en el desarrollo de la obra civil, ya que es uno de los casos mas desfavorables para el terreno, debido a que constantemente está recibiendo cargas y por ende el suelo puede sufrir de hinchamiento, altas deformaciones y llegar hasta el colapso del mismo.

Partiendo de lo anterior hemos desarrollado este proyecto. Tomando una muestra alterada de la zona Metropolitana de Bucaramanga, la cual se analizará el comportamiento con el Ensayo de Corte Directo con muestras remoldeadas.

Se estudiará el suelo en condiciones secas y saturadas, variando no solo su humedad, sino también la velocidad de corte y la carga que recibe cada muestra, esto con el fin de observar las variaciones en la envolvente de resistencia del material, las tasas de desplazamiento que puede sufrir el material.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la influencia de diferentes variables como la humedad, el grado de saturación y la tasa de desplazamiento en las envolventes de resistencia de un material del Área Metropolitana de Bucaramanga en condiciones drenadas.

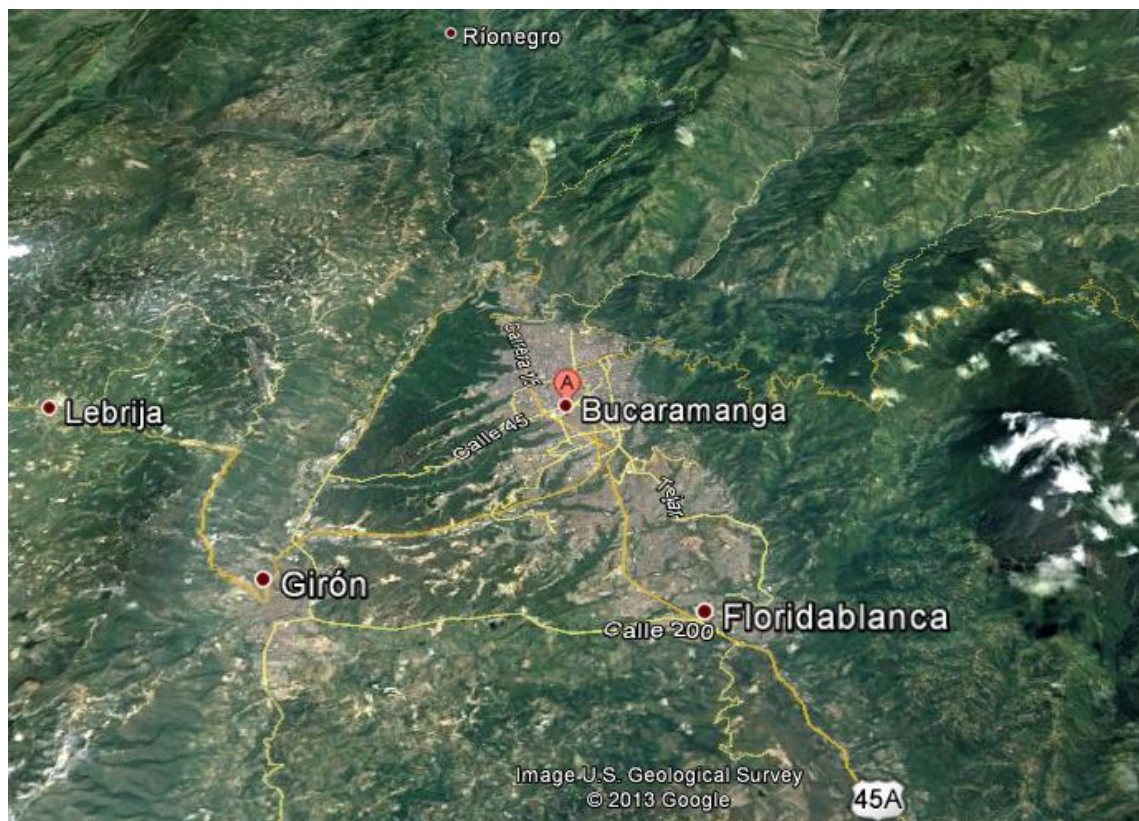
## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar el efecto de la estructura inicial de la muestra definida por el contenido de agua inicial en la envolvente de resistencia del material, así como el grado de saturación y la tasa de desplazamiento.
- Estudiar el efecto del grado de saturación de la muestra definida por el contenido de agua inicial en la envolvente de resistencia del material
- Estudiar el efecto de la tasa de desplazamiento de la muestra definida por el contenido de agua inicial en la envolvente de resistencia del material
- Analizar la influencia en el comportamiento esfuerzo-deformación de la variación de los diferentes parámetros geotécnicos de la muestra
- Interpretar los resultados experimentales de la luz de la mecánica de suelos no saturados.

## 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MUESTRA TOMADA

Para realizar este proyecto se consiguió una muestra de suelo tomada en el área metropolitana de Bucaramanga donada por el ingeniero Rubén Torres.

**Figura 1.** Ubicación geográfica de la muestra tomada



**FUENTE:** *Registro Google Earth*

### 3. CARACTERIZACION DE LA MUESTRA TOMADA

Para poder hacer la caracterización de esta muestra fue necesario realizarle una serie de ensayos en su estado natural y estos ensayos basándose en las normas **INV E-123, INV E-125, INV E-126.**

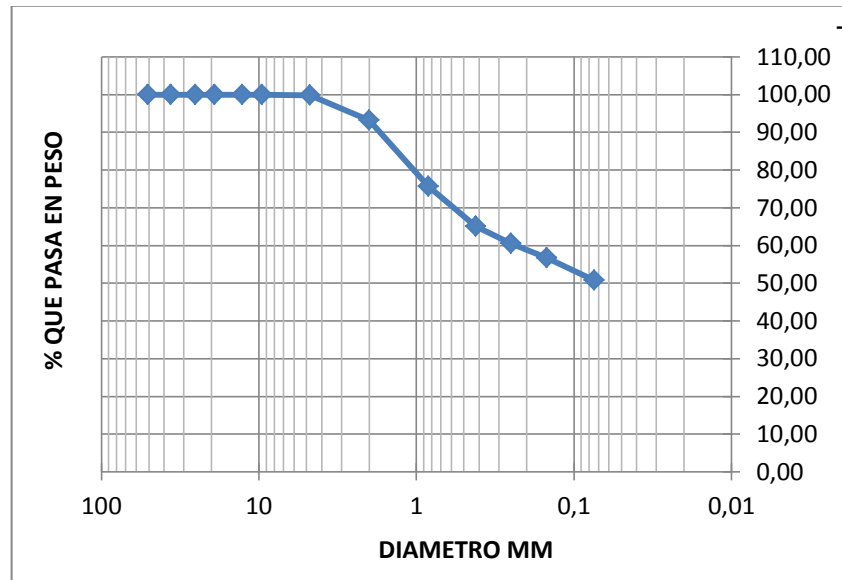
- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Corte directo

Los resultados de estos ensayos se encuentran resumidos en la **TABLA No 4.**

**TABLA 1.** Análisis granulométrico de la muestra de estudio

MALLA No	ABERTURA	PESO DE SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	Kg	%	%
2"	50,8	0,0000	0,00	100,00
1 1/2"	36,1	0,0000	0,00	100,00
1"	25,4	0,0000	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,0000	0,00	100,00
1/2"	12,7	0,0000	0,00	100,00
3/8"	9,52	0,0000	0,00	100,00
No 4	4,75	0,0016	0,23	99,77
10	2	0,0466	6,66	93,11
20	0,84	0,1226	17,51	75,6
40	0,42	0,0744	10,63	64,97
60	0,25	0,0318	4,54	60,43
100	0,149	0,0258	3,69	56,74
200	0,074	0,0416	5,94	50,8
PASA 200	****	0,3547		
<b>SUMA</b>	****	0,6975	48,97	
<b>TOTAL</b>		<b>0,6991</b>		
<b>FUENTE:</b> Registro Propio				

**Figura 2.** Curva granulométrica de la muestra



Fuente: *Registro Propio*

**TABLA 2.** Análisis Límites de Atterberg a la muestra de estudio

**LIMITE LÍQUIDO**

Capsula No	Numero De Golpes	Peso Capsula	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Del Agua	Peso Suelo Seco	Contenido De Agua
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	%
<b>2</b>	45	0,0077	0,0326	0,0265	0,0061	0,0188	32,45
<b>10</b>	34	0,0071	0,0328	0,0264	0,0064	0,0193	33,16
<b>8</b>	22	0,0068	0,0322	0,0257	0,0065	0,0189	34,39
<b>18</b>	16	0,0072	0,0330	0,0263	0,0067	0,0191	35,08

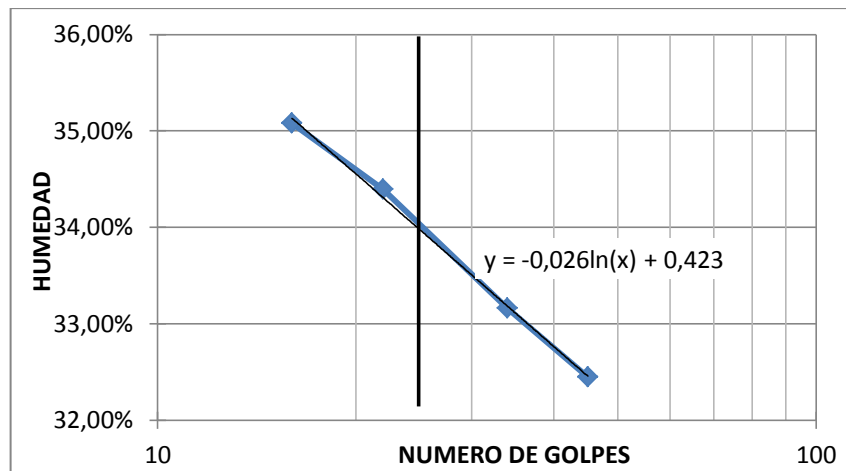
Fuente: *Registro Propio*

### LIMITE PLASTICO

Capsula No	Numero De Golpes	Peso Capsula	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Del Agua	Peso Suelo Seco	Contenido De Agua
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	%
5		0,0076	0,0124	0,0124	0,0114	0,0010	26,32
53		0,0070	0,0070	0,0134	0,0120	0,0014	28,00

Fuente: Registro Propio

Figura 3. Grafica de límites para la muestra de estudio



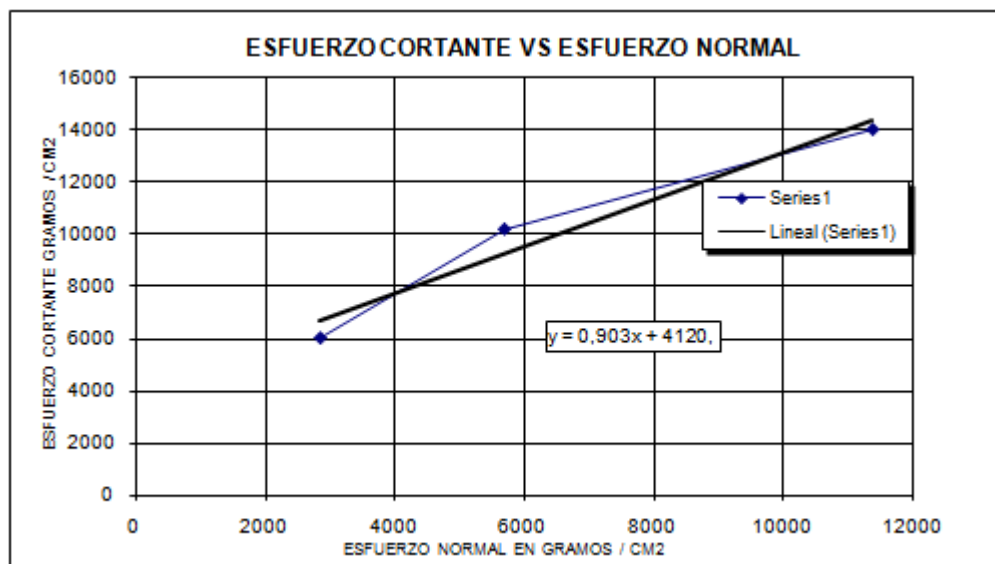
Fuente: Registro Propio

TABLA 3. Análisis de corte directo para la muestra de estudio

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
8,000	0,0028	17,00	2842,03	6039,32
16,000	0,0028	28,80	5684,06	10231,31
32,000	0,0028	39,60	11368,13	14068,06

Fuente: Registro Propio

**Figura 4.** Grafica corte directo muestra de estudio



Fuente: Registro Propio

**TABLA 4.** Resumen de resultados de la caracterización de la muestra

MUESTRA DE SUELO A ESTUDIAR	LIMITES DE ATTERBERG			GRANULOMETRIA			CLASIFICACION DEL SUELO
	LL	LP	IP	% DE GRAVAS	% DE ARENA	% DE FINOS	
<b>AMB</b>	34%	27%	7%	0,23	48,97	50,8	ML

Fuente: Registro Propio

## 4. CORTE DIRECTO

### 4.1 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

En este proyecto se realizarán los respectivos procedimientos para determinar la resistencia al corte y la variación de desplazamiento vertical que pueda sufrir el suelo en condiciones secas ó saturadas ya sea el caso. A la muestra se le aplica un esfuerzo de corte directo, mientras está sometida a diferentes velocidades de corte, contempladas en dos fases, la primera con una velocidad de 1.00 mm/min y en la segunda fase se reduce esta a 0.005 mm/min.

Los resultados de los ensayos se utilizan para estimar la resistencia al corte y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de un terraplén o una masa de suelo, datos que son de suma importancia a la hora de diseñar una estructura

#### 4.1.1 EQUIPO

Según la norma **I.N.V. E – 154 – 07**

- ✓ *Dispositivo de corte directo:* La máquina de corte directo deberá sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella. Debe estar provisto de los dispositivos necesarios para aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra, para determinar los cambios en el espesor de la muestra, para permitir el drenaje del agua a través de las piedras porosas insertadas en el fondo y parte superior de la muestra y para sumergir la muestra en agua.

**Figura 5. Muestra en la caja de corte**



**Fuente:** *Registro Propio*

- ✓ *Caja de corte* – La caja de corte podrá ser redonda o cuadrada, deberá ser de acero inoxidable, bronce, o aluminio, con los aditamentos necesarios para el drenaje por la parte de arriba y por el fondo.
  
- ✓ *Piedras porosas* – Las piedras porosas deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo. La permeabilidad de la piedra porosa debe ser substancialmente mayor que el de la muestra, pero debe prevenir la intrusión excesiva de las partículas de muestra en los poros de la inserción.

**Figura 6.** Partes de la caja de corte



**Fuente:** *Registro Propio*

Una vez la es clasificada, la muestra se procede a ser lavada con el fin de quitar impurezas, luego se seca al aire por un día completo, si pasado este tiempo la muestra sigue húmeda se puede colocar frente a un ventilador. Cuando esta seca, se tritura con un maso de goma, golpeándolo suavemente para que el material se suelte y quede pulverizada y en caso de que tenga rocas estas no se fracturen y afecten la caracterización del material.

**Figura 7.** Pulverización de la muestra



**Fuente:** *Registro Propio*

Cuando tenemos suficiente muestra pulverizada se procede a escoger los materiales finos con los cuales vamos a trabajar y para ello utilizamos el tamiz N°40, incorporamos el material y se agita por unos minutos, luego se separa por tamaños, los cuales son debidamente separados en dos recipientes, esto se continua hasta obtener el material necesario para hacer el análisis respectivo.

**Figura 8.** Muestra Tamizada



**Fuente:** *Registro Propio*

Inicialmente se separan tres muestras, cada una con una cantidad de 120 gr. de material fino, agregándole un 15%, 20% y 25% de agua respectivamente, se vierte cada muestra en una vasija con la pertinente humedad y se mezclan hasta formar una pasta homogénea. (Ver Figura 9. Mezclado del material).

**Figura 9.** Mezclado del material



**Fuente:** Registro Propio

Se toman tres anillos previamente pesados y marcados, en los que se vierte poco a poco la mezcla anteriormente preparada, se presiona con una espátula suavemente eliminando los vacíos que puedan quedar, se retira el material sobrante y se pulen los bordes del disco, posteriormente se toma el peso del anillo mas la muestra. (Ver Figura 10. Anillo con la muestra).

**Figura 10.** Anillo con la muestra



**Fuente:** *Registro Propio*

#### **4.1.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CORTE**

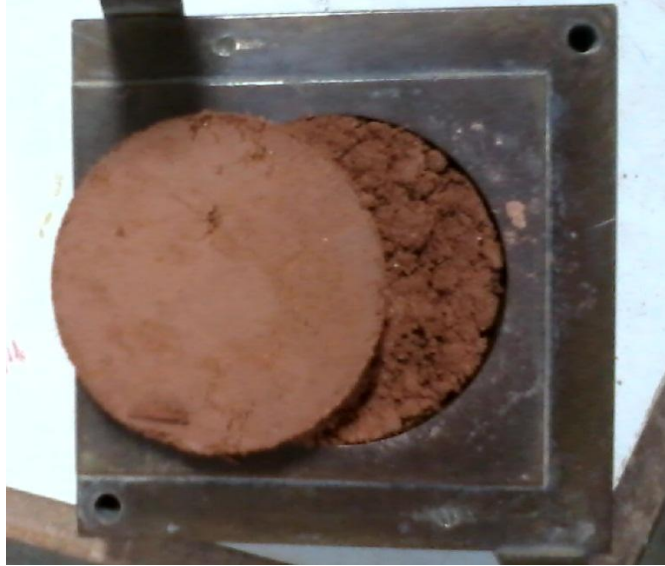
Para este proyecto las muestras se analizarán en dos fases, la primera se regirá por la norma **INV. E – 154** con una velocidad de 1 mm/min. Y la segunda se trabajará con una velocidad inferior, es decir, se trabajará con 0.005 mm/min.

##### **4.1.2.1 Primera Fase**

La muestra seca se procede a ubicar la caja de corte con el primer disco, el cual tiene una humedad del 15%, luego se le aplicará una carga mínima de 1 Kg (Ver Figura 12. cargas), se deja que se deforme verticalmente alrededor de 1 a 2 horas, la variación se observará en el micrómetro, una vez transcurrido este tiempo se procede realizar el ensayo corte, pero antes se quitan los tornillos de ajuste, para que el esfuerzo aplicado no recaiga en ellos, ajustamos el medidor de fuerza horizontal en ceros y la velocidad exigida por la norma.

Se inicia el ensayo a la vez se van tomando los datos respectivos de deformación y desplazamiento.

**Figura 11.** Muestra cortada no saturada



**Fuente:** *Registro Propio*

Cuando la muestra ha fallado se procede a desmontar la maquina de corte, extrayendo la caja de corte y de ella muestra del suelo, con el fin de establecer el contenido de humedad de esta, para esto se saca una porción de muestra y se coloca en una tara, luego se pesa y se lleva a la estufa por un tiempo de 45 min, se retira y se vuelve a pesar, la diferencia de peso, es la humedad de cada disco.

Una vez finalizado el ensayo con una carga normal de un 1Kg, se procede a ensayar otro modelo, pero con una carga de 2Kg y el mismo contenido de agua, es decir de 15 % nuevamente se repite el procedimiento anterior, tomando lecturas de deformación horizontal, la cual va aumentando hasta alcanzar la resistencia máxima y desplazamiento, de igual manera se establece el contenido

de humedad final de la muestra. Después de terminar el ensayo de corte, se aumenta la carga a 4Kg con la misma y por último se analiza la muestra con una carga normal de 8 Kg.

Finalizados los cuatro ensayos con carga normal de 1Kg, 2Kg, 4Kg y 8Kg, Se trabajan con cargas pequeñas, con el fin que el avance en el ensayo del Corte Directo se pueda apreciar mejor. (Ver Figura 12. Cargas), con un porcentaje de humedad del 15% y una tasa de desplazamiento de corte igual a 1 mm/min, se repite todo el procedimiento anterior analizando cada humedad para una misma carga, es decir, se realizan los anteriores procedimientos para las cargas anteriormente mencionadas, pero ahora con un valor de humedad del 20% y por último con un porcentaje de humedad del 25%, en todos los ensayos de corte se sigue la toma de lecturas de deformación y desplazamiento antes, durante y después de haber cortado la muestra.

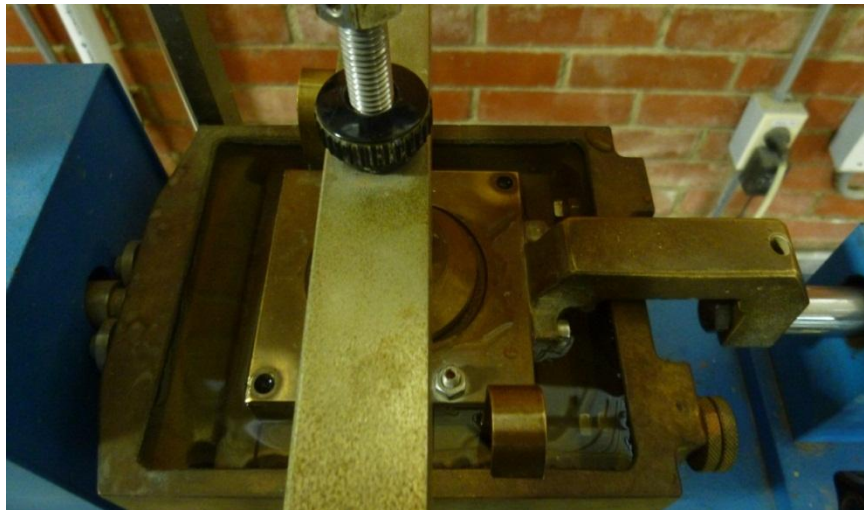
**Figura 12. Cargas**



**Fuente:** Registro Propio

Cabe resaltar que todos estos ensayos de Corte Directo fueron realizados con muestras secas, para muestras saturadas el procedimiento a seguir es el mismo, se trabaja con las mismas cargas, los mismos contenidos de humedad y con una velocidad de corte 1 mm/min, aunque para efectuar estos ensayos la muestra una vez colocada en la máquina de corte se debe dejar de 2 a 4 horas inundada.

**Figura 13.** Muestra Saturada



**Fuente:** *Registro Propio*

Se realiza el ensayo de corte como lo hemos explicado con las muestras secas y una vez que halla finalizado el sondeo de corte se tiene una muestra afectada tanto por la humedad de la misma, como la humedad que la rodea, haciendo que el tiempo del ensayo para que la muestra llegue a su punto máximo de resistencia sea en menor tiempo.

. **Figura 14.** Muestra cortada saturada



**Fuente:** Registro Propio

#### **4.1.2.2 Segunda Fase**

En esta segunda fase se disminuye un 99.5% la tasa de velocidad, es decir, se trabajará con una celeridad de 0.005 mm/min. Para tener una idea del tiempo en el que se debe analizar una muestra en horas de corte, si la muestra tiene una velocidad de 1.00 mm/min y una humedad del 15% la resistencia máxima en el ensayo de corte se obtendría pasada las 24 horas, es decir, 1 día. Pero con una velocidad de 0.005 mm/min y una humedad de 15% la resistencia máxima de la muestra se alcanzaría a las 120 horas, es decir al final del día 5 después de haber comenzado el ensayo de corte.

En el desarrollo de los ensayos de corte con muestra saturada no hay diferencia, se sigue trabajando con las cuatro cargas normales, con humedades, obviamente con una tasa de velocidad de 0.005%. Tomando los datos respectivos y humedad de cada disco.

## **5. ANALISIS EXPERIMENTAL DE LA MUESTRA DE ESTUDIO**

En este capítulo se presentan todos los ensayos de corte directo realizados a la muestra de estudio con sus diferentes tasas de velocidades, sus diferentes cargas y sus diferentes humedades.

Cada corte se presenta con sus resultados, gráfica de la envolvente y gráfica de carga vs tiempo.

### **5.1 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 1 (mm/min) NO SATURADA**

En este capítulo se mostrarán los resultados de Deformación Vs Esfuerzos, obtenidos en los ensayos de corte directo, sometidas en diferentes cargas y humedades. En estas imágenes se reflejarán los puntos máximos de resistencia de la muestra frente a los esfuerzos a los que fue sometida.

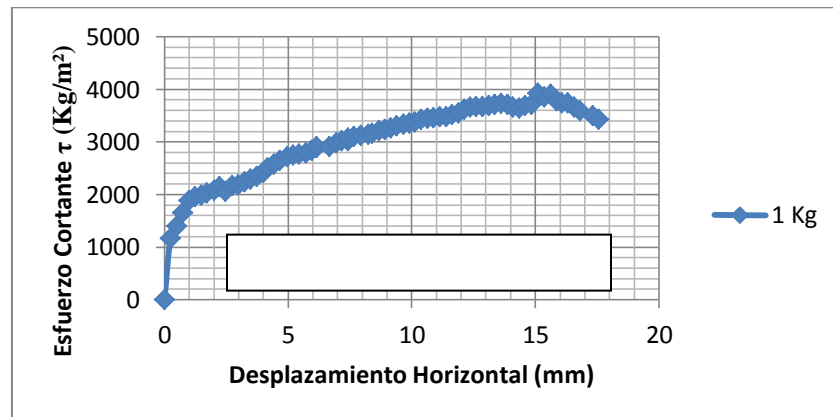
Como se puede ver en la figura 16, la cual tiene una carga normal de 1 Kg, el esfuerzo aumenta notoriamente a medida que sufre el desplazamiento, y con el tiempo llega a su punto máximo de corte, por ende la resistencia comienza a disminuir. Este comportamiento tiende a ser el mismo para los otros ensayos a los cuales se les varió la carga y las humedades.

Es importante resaltar la influencia que tiene la humedad en el comportamiento de suelos limo arcilloso ya que esta teóricamente genera una reducción en el esfuerzo cortante y esto se puede observar claramente en las figuras 15, 19,23 donde la muestra se somete a un mismo esfuerzo normal y a diferentes humedades obteniéndose así una disminución notoria en la resistencia al corte.

Este comportamiento se presenta de la misma forma para los diferentes esfuerzos normales aplicados en este trabajo.

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 15%**

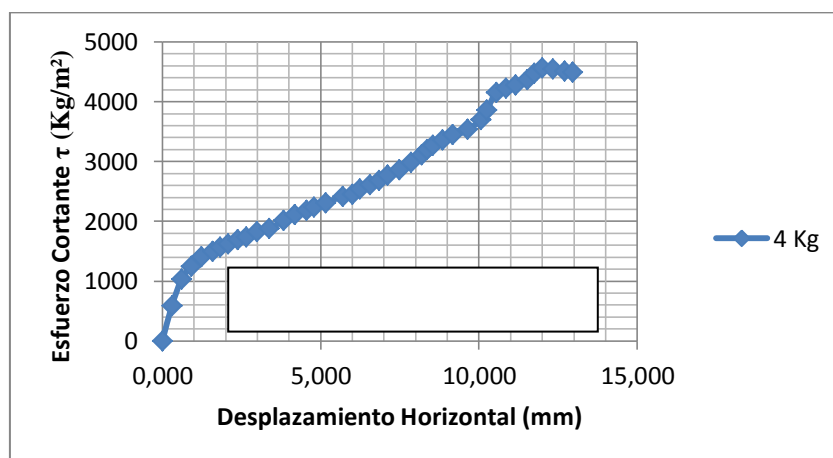
**Figura 15.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- **Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 15%**

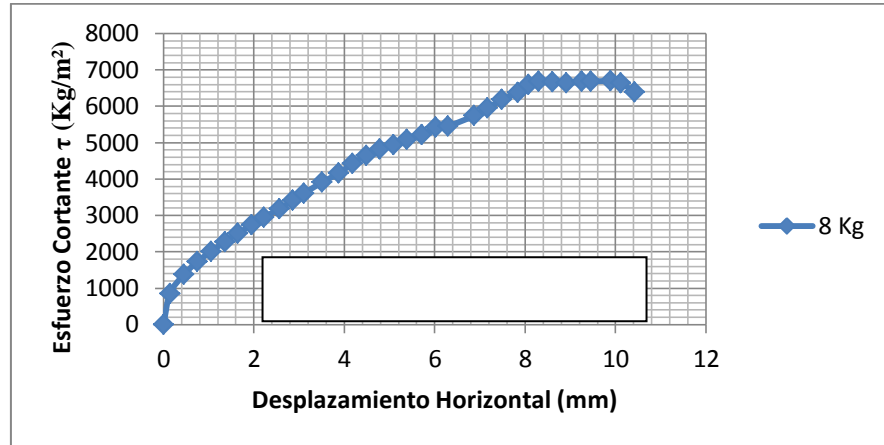
**Figura 16.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg.



Fuente: *Registro Propio*

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 15%

**Figura 17.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15% velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: *Registro Propio*

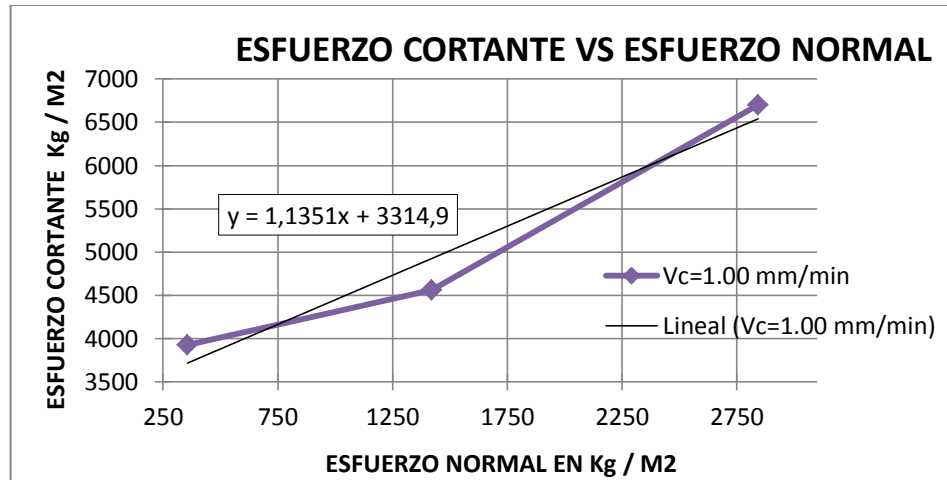
- Envoltente de resistencia experimental para una tasa de corte de 1mm/min y humedad de 15% no saturada. Esfuerzos cortante máximos: 3925,40 Kg/m<sup>2</sup>; 4564,83 Kg/m<sup>2</sup>; 6696,27 Kg/m<sup>2</sup>

**TABLA 5.** Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15%

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup> Furn	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	11,05	355,25	3925,56
4,000	0,0028	12,85	1421,02	4565,01
8,000	0,0028	18,85	2842,03	6696,54

Fuente: *Registro Propio*

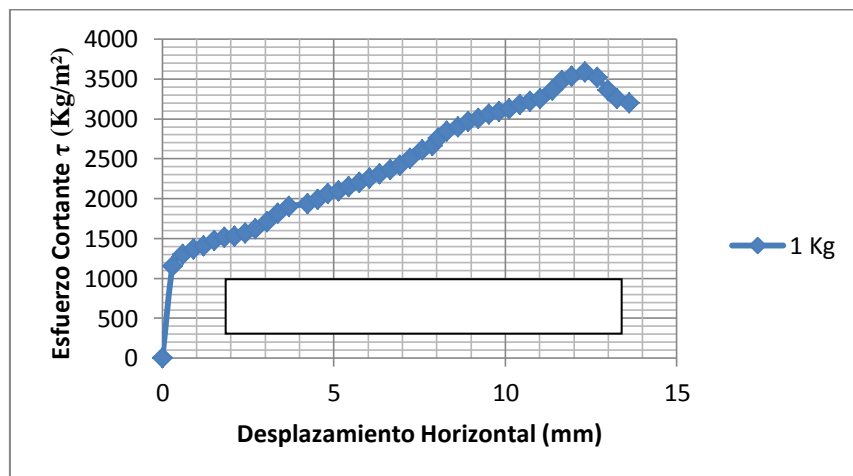
**Figura 18.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15% no saturada.



Fuente: *Registro Propio*

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 20%**

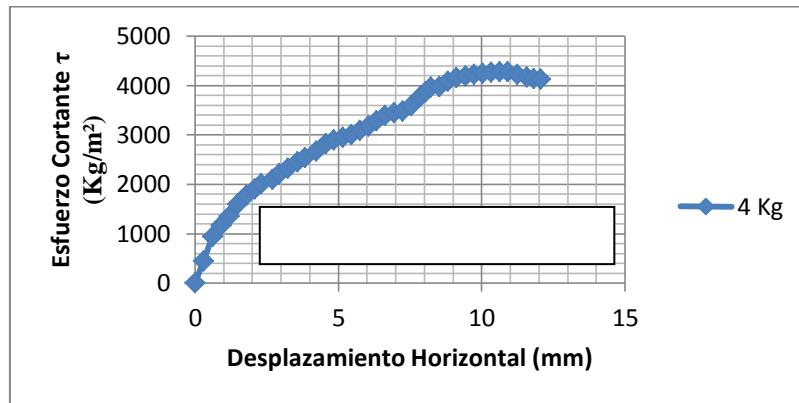
**Figura 19.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 20%

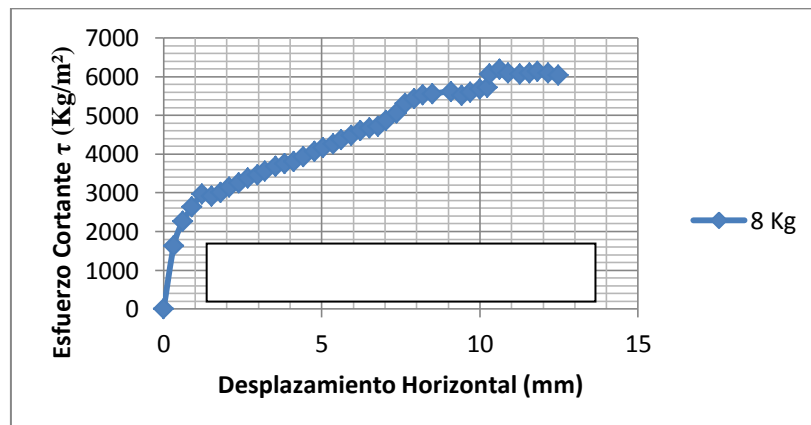
**Figura 20.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: Registro Propio

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 20%

**Figura 21.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: Registro Propio

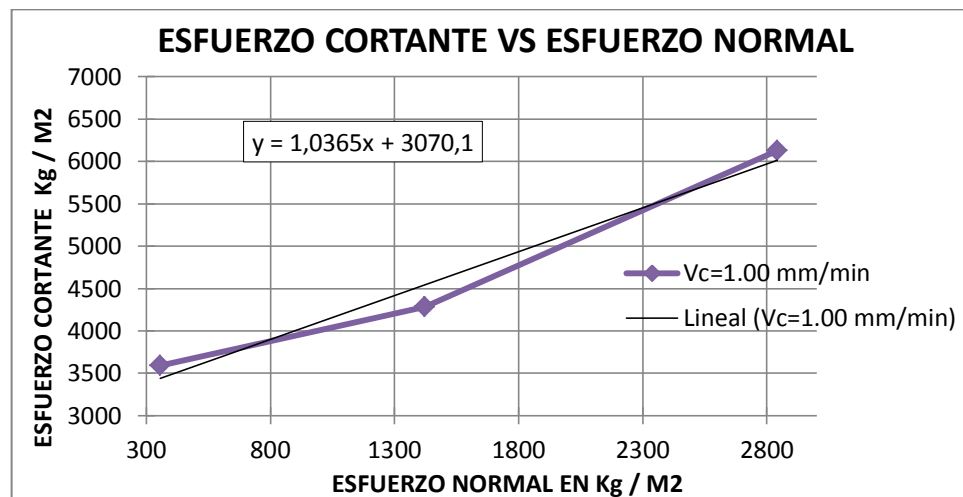
- **Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% no saturada. Esfuerzos cortante máximos: 3587,92 Kg/m<sup>2</sup>; 4280,64 Kg/m<sup>2</sup>; 6127,87 Kg/m<sup>2</sup>**

**TABLA 6.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20%

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	10,10	355,25	3588,07
4,000	0,0028	12,05	1421,02	4280,81
8,000	0,0028	17,25	2842,03	6128,13

**Fuente:** Registro Propio

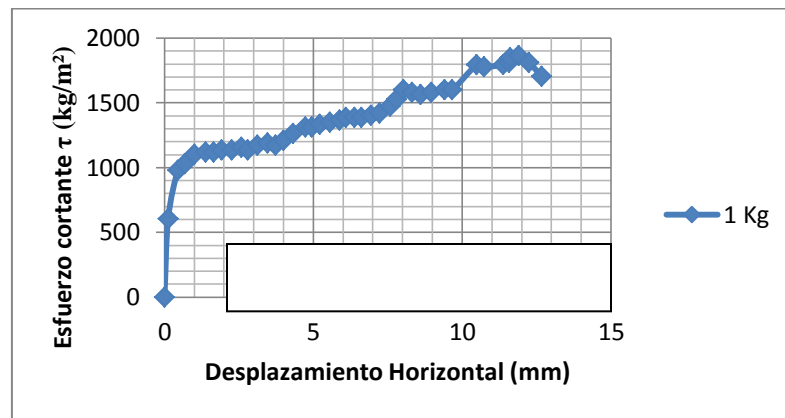
**Figura 22.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% no saturada



**Fuente:** Registro Propio

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 25%**

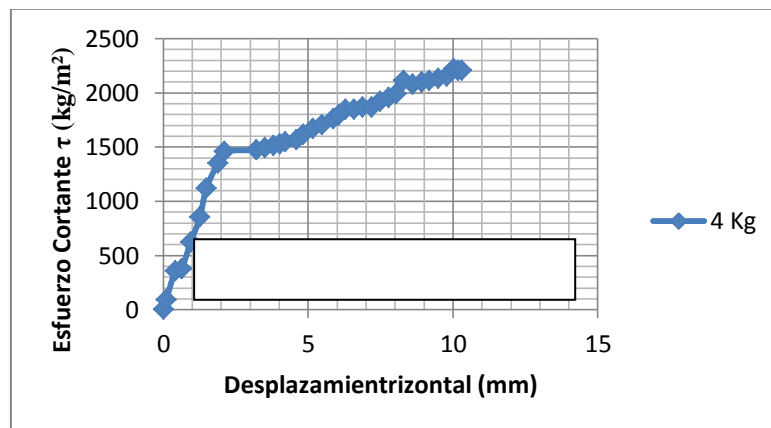
**Figura 23.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- **Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 25%**

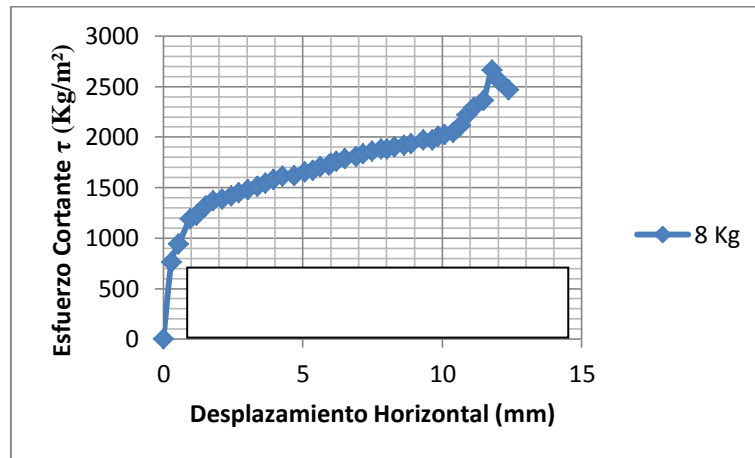
**Figura 24.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 25%

**Figura 25.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: *Registro Propio*

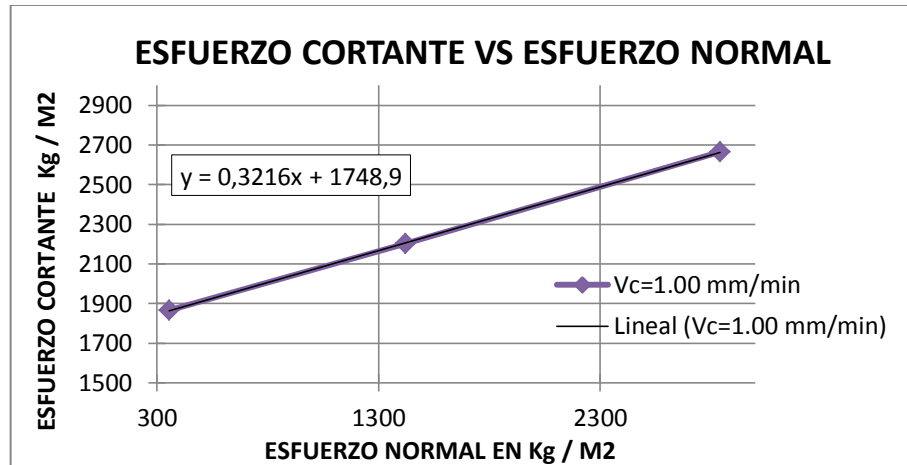
- Envoltorio de resistencia experimental para una tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25% no saturada. Esfuerzos cortante máximos: 1865,01 Kg/m<sup>2</sup>; 2202.49 Kg/m<sup>2</sup>; 2664,30 Kg/m<sup>2</sup>

**TABLA 7.** Análisis de corte directo para envoltorio de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25%

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
<b>1,000</b>	0,0028	5,25	355,25	1865,08
<b>4,000</b>	0,0028	6,20	1421,02	2202,57
<b>8,000</b>	0,0028	7,50	2842,03	2664,40

Fuente: *Registro Propio*

**Figura 26.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25% no saturada.



**Fuente:** Registro Propio

## 5.2 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 1 (mm/min) SATURADA

Teóricamente si se satura una muestra de suelo, ésta debe presentar menor resistencia al corte que una muestra no saturada, a la cual se le aplicó un mismo esfuerzo normal.

En este capítulo se pretende trabajar la muestra en condiciones saturadas con el fin de simular la presencia de nivel freático en el suelo de estudio debido a que este fenómeno tiene gran influencia en la resistencia al corte.

Esto se puede ver reflejado en la figura 15, la cual nos representa una muestra no saturada con una humedad de 15%, con una carga normal de 1 Kg, teniendo un esfuerzo máximo de 3925,39 Kg/m<sup>2</sup>.

En la figura 27 se puede observar que con la misma humedad del 15% y la carga nombrada anteriormente se consiguió como resultado un esfuerzo cortante máximo de 1261,10 Kg/m<sup>2</sup>.

En el análisis del suelo no solo participa el grado de saturación, también hace presencia la humedad por ser un factor importante en el momento del ensayo de corte, porque a medida que el suelo presenta una mayor humedad la resistencia del material ante el esfuerzo cortante debe disminuir..

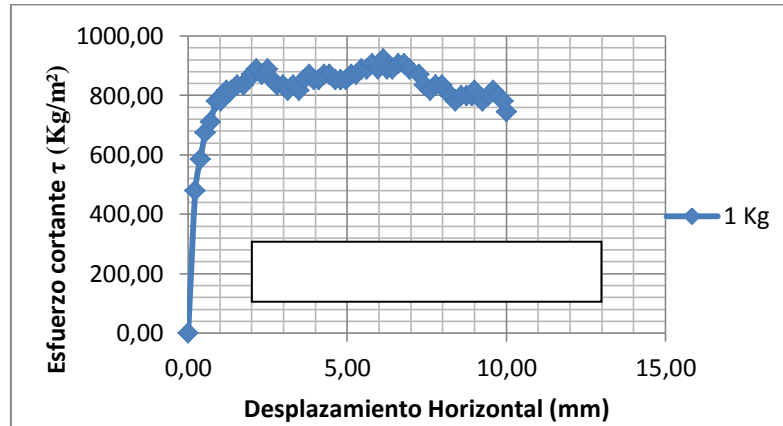
Se presenta este comportamiento cuando trabajamos con una carga normal de 4Kg y se varía la humedad de la muestra, en la figura 28 presenta una humedad del 15% logrando un esfuerzo máximo de 1261,10 Kg/m<sup>2</sup>.

De la misma forma se pueden ver los resultados presentes en la figura 36 con la igual carga, pero con una variación en la humedad del 25% con un esfuerzo máximo 870,33 Kg/m<sup>2</sup>.

Este mismo acontecimiento se repite si el suelo posee una carga respectiva pero a la vez incrementos en la humedad, debido a que cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede comportarse como un semilíquido, haciendo que no existan mayor oposición al esfuerzo cortante.

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 15%**

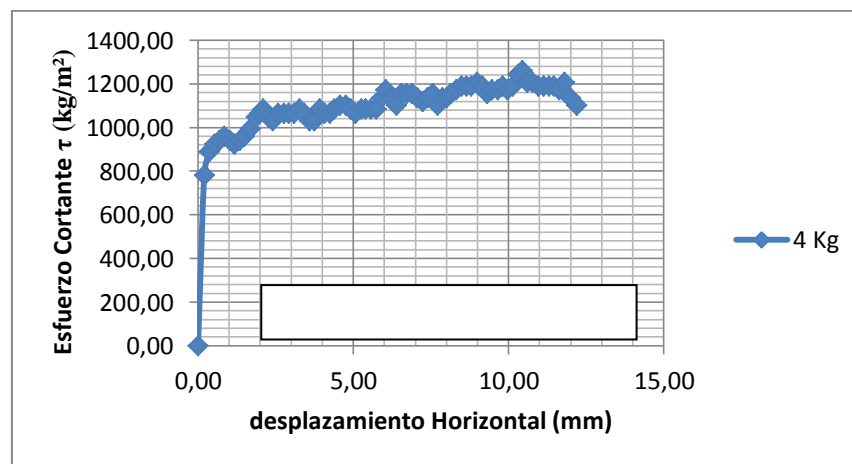
**Figura 27.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- **Segundo corte con carga de 4Kg y humedad del 15%**

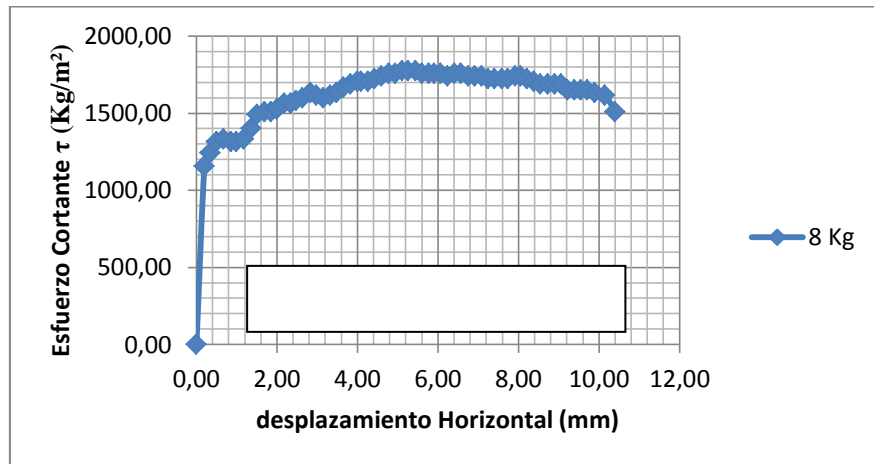
**Figura 28.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Tercer corte con carga de 8Kg y humedad del 15%

**Figura 29.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg



**Fuente:** Registro Propio

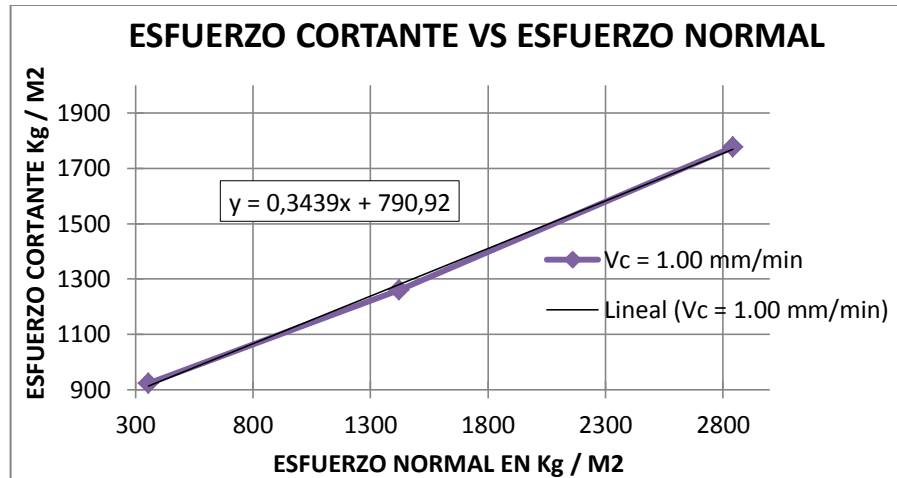
- Envoltorio de resistencia experimental para una tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15% saturada. Esfuerzos cortante máximos: 923,62 Kg/m<sup>2</sup>; 1261,10 Kg/m<sup>2</sup>; 1776,20 Kg/m<sup>2</sup>

**TABLA 8.** Análisis de corte directo para envoltorio de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15% saturada.

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	2,60	355,25	923,66
4,000	0,0028	3,55	1421,02	1261,15
8,000	0,0028	5,00	2842,03	1776,27

**Fuente:** Registro Propio

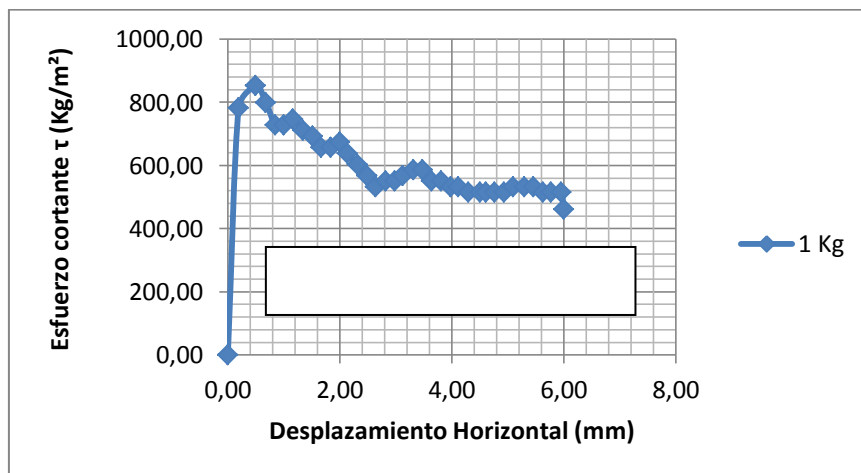
**Figura 30.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 15%. Saturada



Fuente: *Registro Propio*

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 20%**

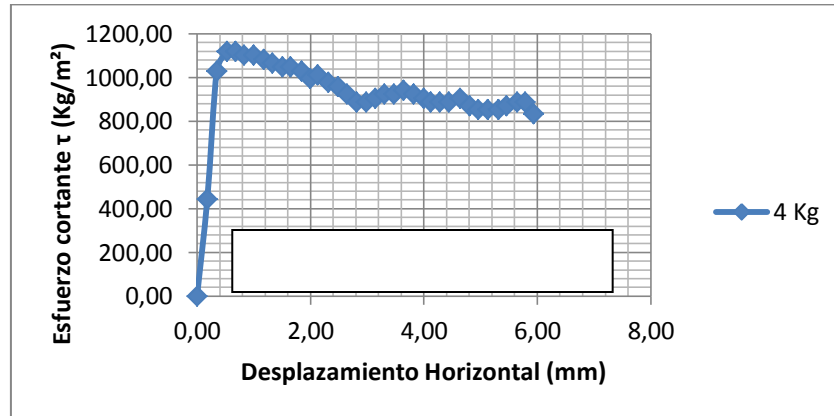
**Figura 31.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 20%

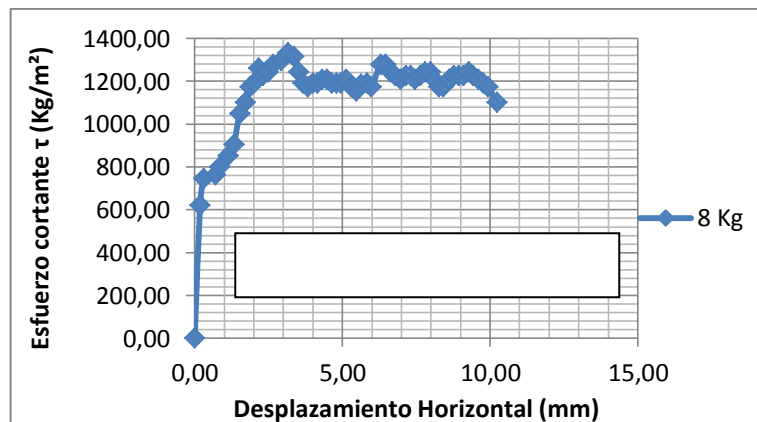
**Figura 32.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 20%

**Figura 33.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg



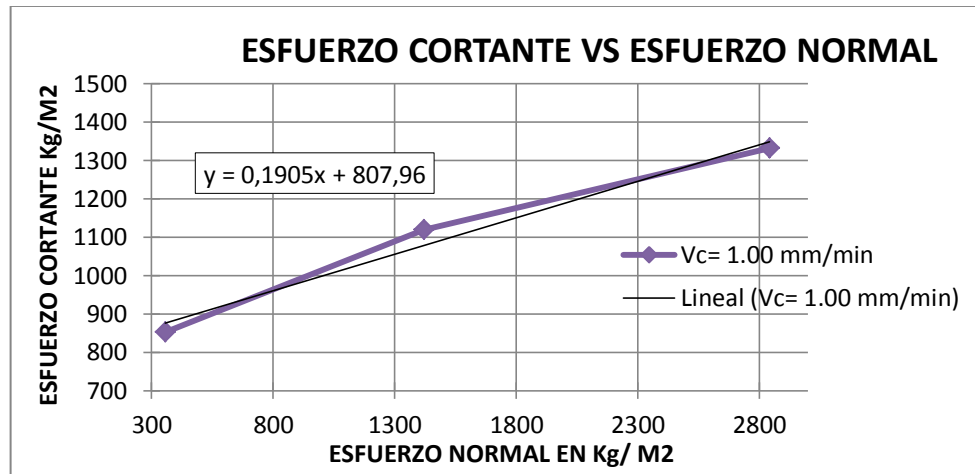
Fuente: *Registro Propio*

- **Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada. Esfuerzos cortante máximos: 852,58 Kg/m<sup>2</sup>; 1119,01 Kg/m<sup>2</sup>; 1332,15 Kg/m<sup>2</sup>**

**TABLA 9.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada.

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
<b>1,000</b>	0,0028	2,40	355,25	852,61
<b>4,000</b>	0,0028	3,15	1421,02	1119,05
<b>8,000</b>	0,0028	3,75	2842,03	1332,20
<b>Fuente: Registro Propio</b>				

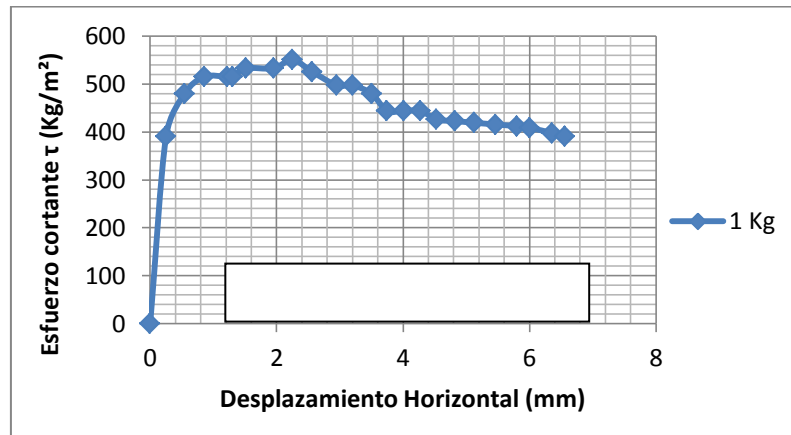
**Figura 34.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada.



**Fuente: Registro Propio**

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 25%**

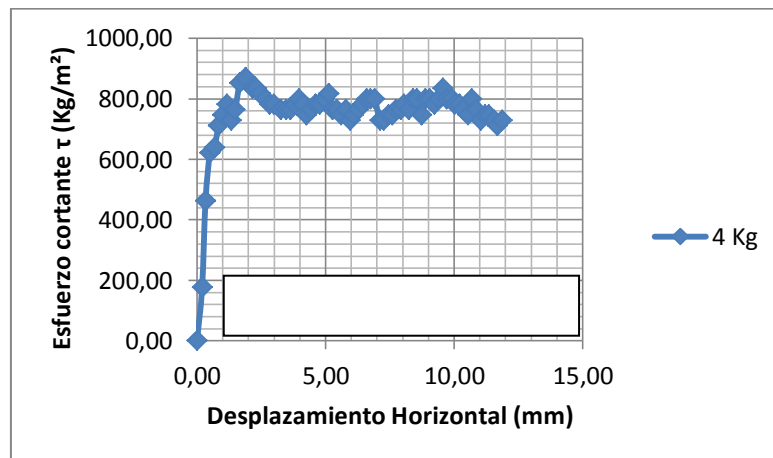
**Figura 35.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25% velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- **Segundo corte con carga de 4Kg y humedad del 25%**

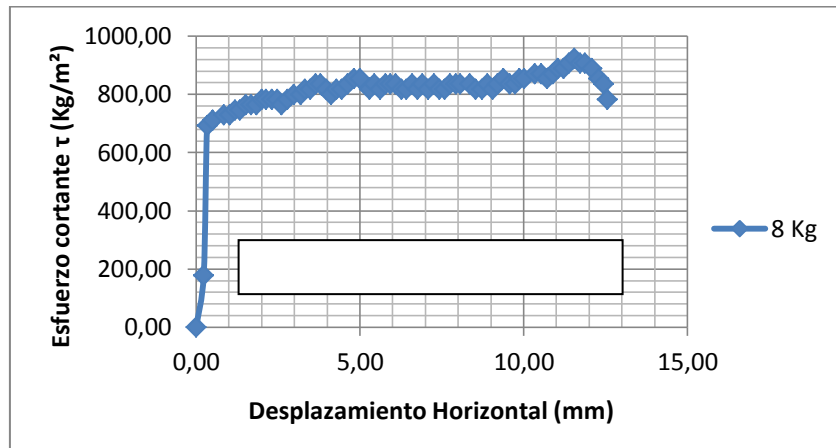
**Figura 36.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Tercer corte con carga de 8Kg y humedad del 25%

**Figura 37.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 1 (mm/min) y una carga de 8 kg



**Fuente:** Registro Propio

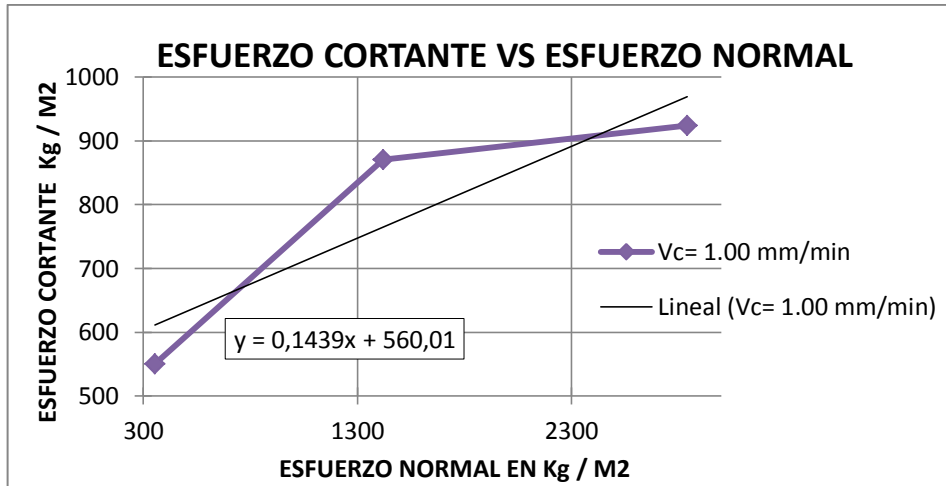
- Envoltorio de resistencia experimental para una tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25% saturada. Esfuerzos cortante máximos: 550,62 Kg/m<sup>2</sup>; 870,34 Kg/m<sup>2</sup>; 923,62 Kg/m<sup>2</sup>

**TABLA 10.** Análisis de corte directo para envoltorio de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 25% saturada.

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	1,55	355,25	550,64
4,000	0,0028	2,45	1421,02	870,37
8,000	0,0028	2,60	2842,03	923,66

**Fuente:** Registro Propio

**Figura 38.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 1 mm/min y humedad de 20% saturada.



Fuente: *Registro Propio*

### 5.3 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 0,005 (mm/min) NO SATURADA

La tasa de velocidad es un factor importante en el progreso de la muestra cuando se realiza el ensayo de corte directo, por eso la reducción de ésta afecta varios aspectos en el desenvolvimiento del estudio de corte, uno de ellos es el ángulo de fricción, ya que cuando se disminuye la velocidad el ángulo comienza a aumentar, otro factor que se ve afectado es el tiempo que abarca el análisis del ensayo de corte directo, en cada ensayo se incrementa considerablemente el período de duración, haciendo de esto un poco tedioso en la toma de datos.

Lo que si no cambia es la tendencia que ha venido mostrando los anteriores ensayos que trabajaron con una velocidad de 1.00 mm/min, esto se puede reflejar en la figura 39, la cual tiene un peso de 1Kg y una humedad de 15%, dando como resultado un un esfuerzo cortante máximo de 3730,01 Kg/min.

En la figura 47, que tiene la misma carga normal anteriormente mencionada, se le ha incrementado la humedad en un 25%, presenta una disminución en el esfuerzo cortante máximo de 799,28 Kg/min.

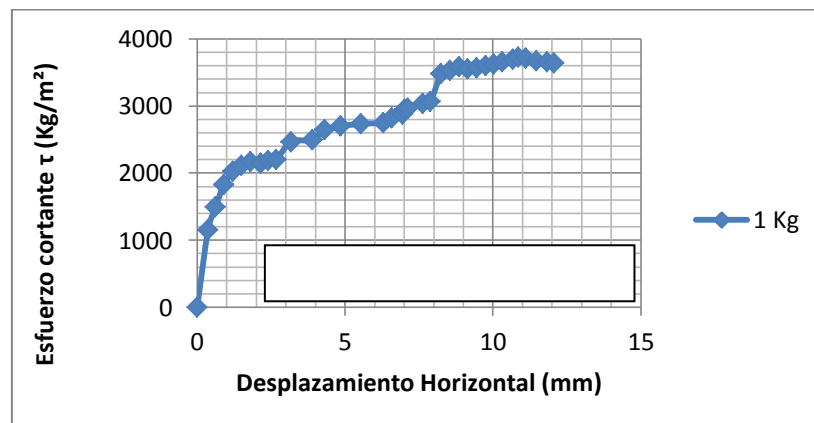
Al haber disminuido la velocidad se observa que la resistencia presentada entre una muestra con velocidad de corte de 1.00 mm/min no puede ser menor que la de 0.005 mm/min de corte.

Esto se puede ver reflejado en la figura 15 la cual nos representa una muestra no saturada con humedad del 15% y una carga normal de 1 Kg, dando como resultado un esfuerzo cortante máximo de 3925,39 Kg/m<sup>2</sup>.

En la figura 39 se puede observar que con la misma condición de humedad y carga nombradas anteriormente se consiguió como resultado una disminución en el esfuerzo cortante máximo de 3730, Kg/m<sup>2</sup>

- **Primer corte con carga de 1Kg y humedad del 15%**

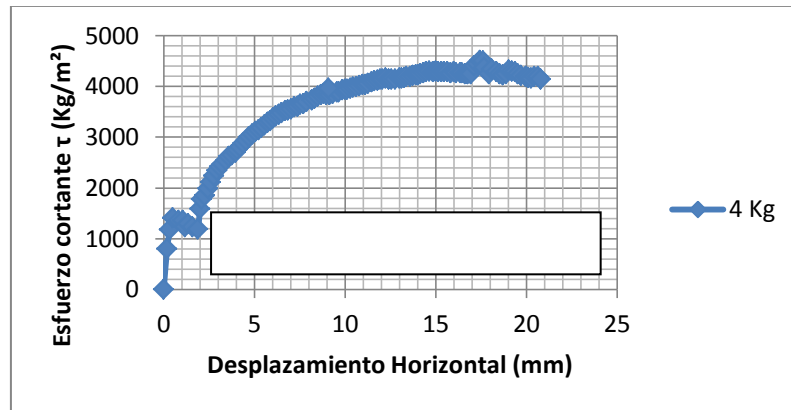
**Figura 39.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg



**Fuente:** Registro Propio

- Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 15%

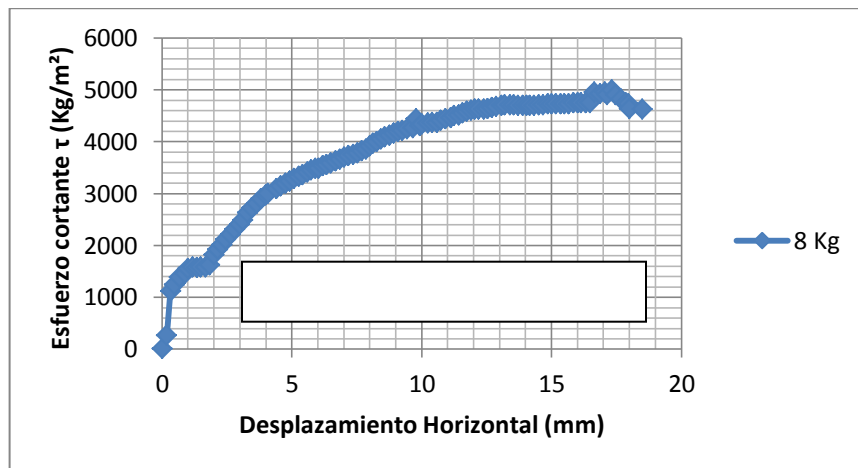
**Figura 40.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: Registro Propio

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 15%

**Figura 41.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: Registro Propio

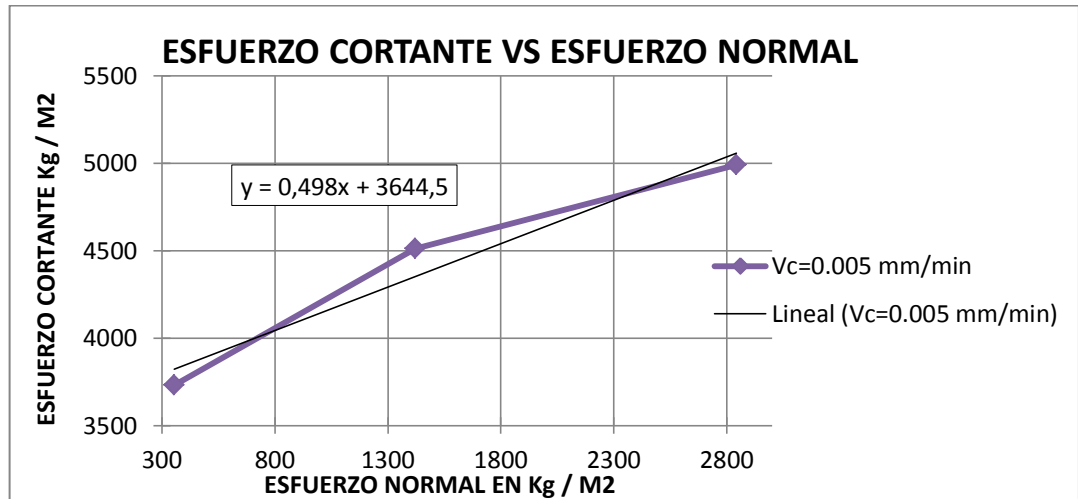
- **Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% no saturada. Esfuerzos cortante máximos: 3730,02 Kg/m<sup>2</sup>; 4511,54 Kg/m<sup>2</sup>; 4991,12 Kg/m**

**TABLA 11.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15%

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	10,50	355,25	3730,17
4,000	0,0028	12,70	1421,02	4511,73
8,000	0,0028	14,05	2842,03	4991,32

**Fuente:** Registro Propio

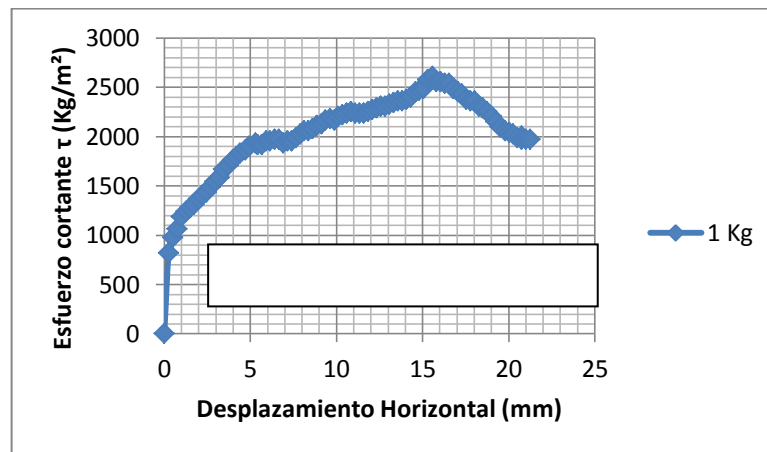
**Figura 42.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% no saturada.



**Fuente:** Registro Propio

- **Primer corte con carga de 1 Kg y humedad del 20%**

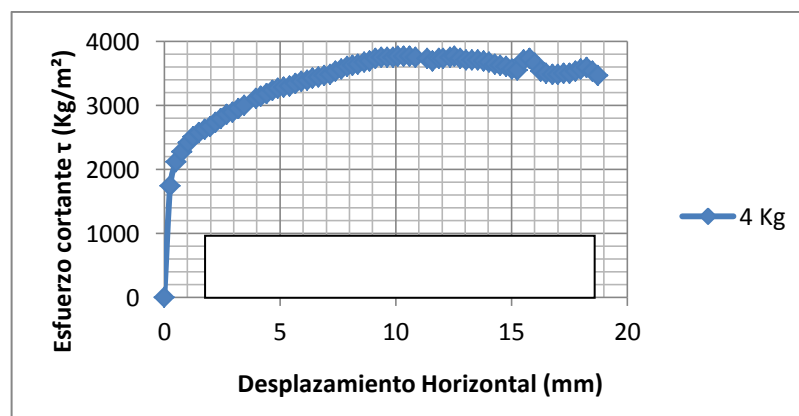
**Figura 43.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg



**Fuente:** Registro Propio

- **Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 20%**

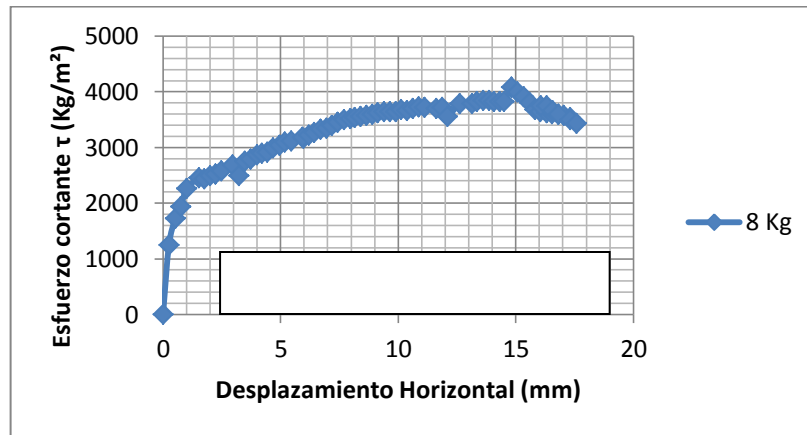
**Figura 44.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg



**Fuente:** Registro Propio

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 20%

**Figura 45.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg



**Fuente:** Registro Propio

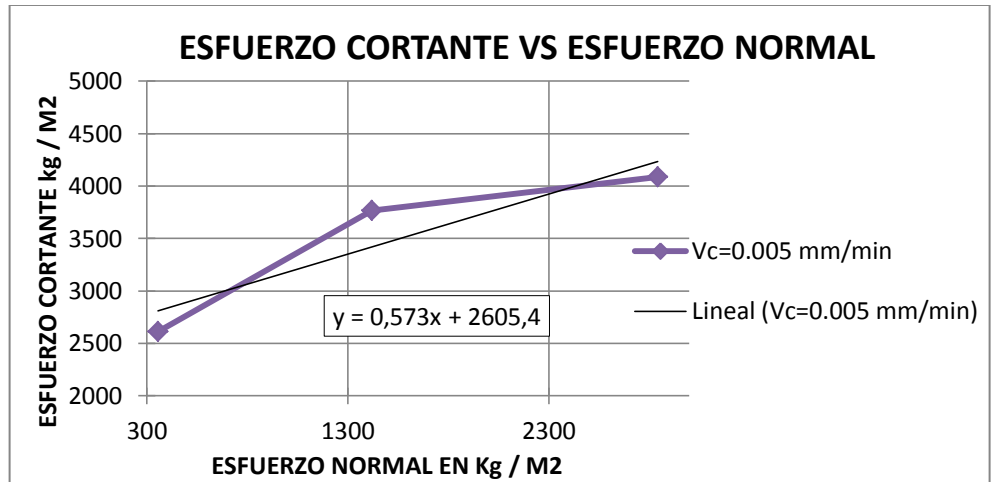
- Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% no saturada. Esfuerzos cortante máximos: 2611,011 Kg/m<sup>2</sup>; 3765,54 Kg/m<sup>2</sup>; 4085.26 Kg/m<sup>2</sup>

**TABLA 12.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20%

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	7,35	355,25	2611,12
4,000	0,0028	10,60	1421,02	3765,69
8,000	0,0028	11,50	2842,03	4085,42

**Fuente:** Registro Propio

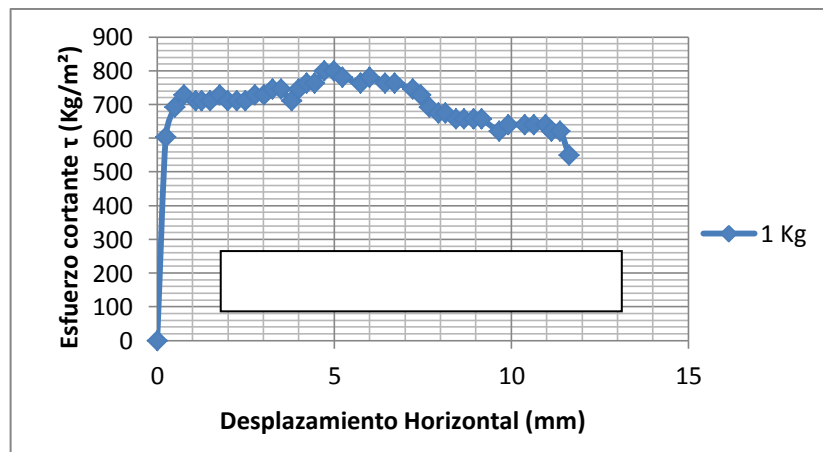
**Figura 46.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% no saturada.



Fuente: *Registro Propio*

- **Primer corte con carga de 1 Kg y humedad del 25%**

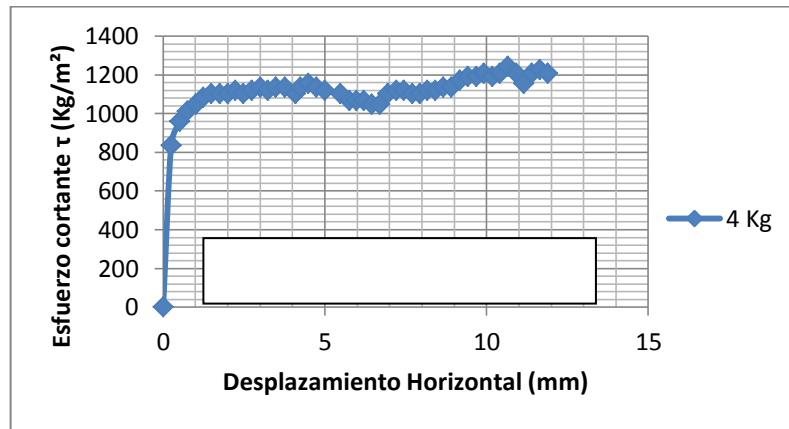
**Figura 47.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 25%

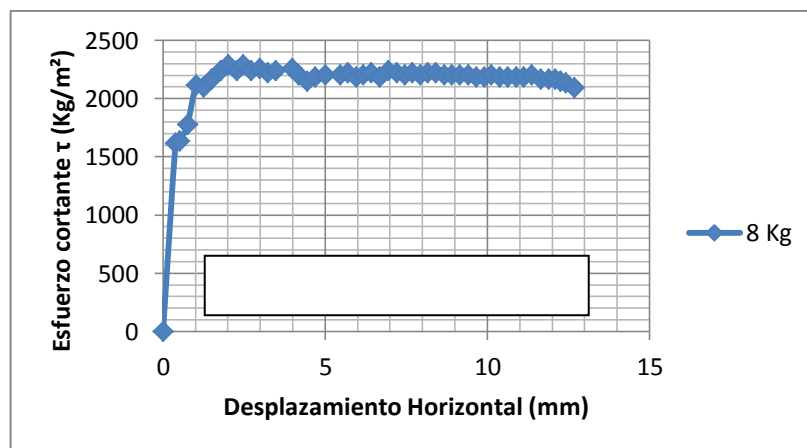
**Figura 48.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: Registro Propio

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 25%

**Figura 49.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: Registro Propio

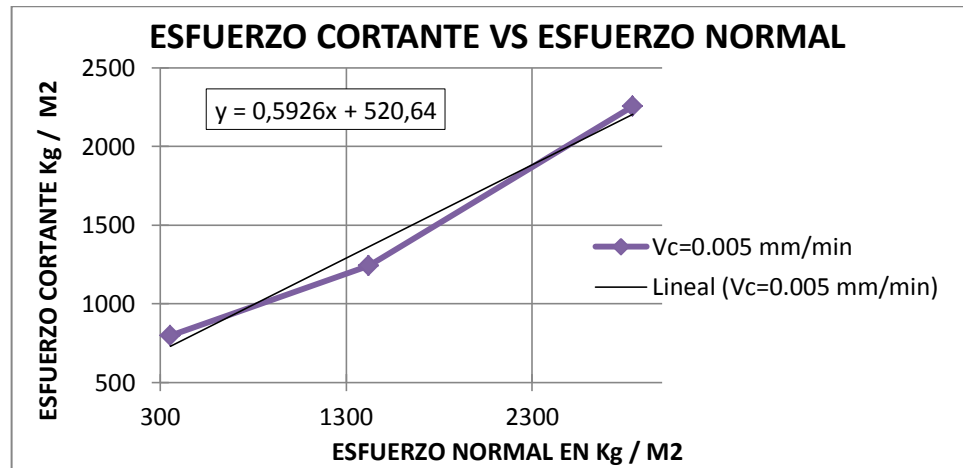
- **Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% no saturada. Esfuerzos cortante máximos: 799,29 Kg/m<sup>2</sup>; 1243,34 Kg/m<sup>2</sup>; 2255.77 Kg/m**

**TABLA 13.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25%

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
<b>1,000</b>	0,0028	2,25	355,25	799,32
<b>4,000</b>	0,0028	3,50	1421,02	1243,39
<b>8,000</b>	0,0028	6,35	2842,03	2255,86

**Fuente:** Registro Propio

**Figura 50.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% no saturada.



**Fuente:** Registro Propio

#### **5.4 ANALISIS DE LA MUESTRA PARA UNA TASA DE DESPLAZAMIENTO DEL CORTE DE 0,005 (mm/min) SATURADA**

En este punto del ensayo se han mostrado el comportamiento de dos etapas del estudio experimental del ensayo, el comportamiento de una muestra a la cual se le va aumentando su humedad hasta llegar cerca al límite líquido y disminuir su velocidad de corte, teniendo en cuenta su estado de saturación y se ha observado el comportamiento de cada ensayo de forma individual, pero analizando la tendencia grupal que tienen estas muestras.

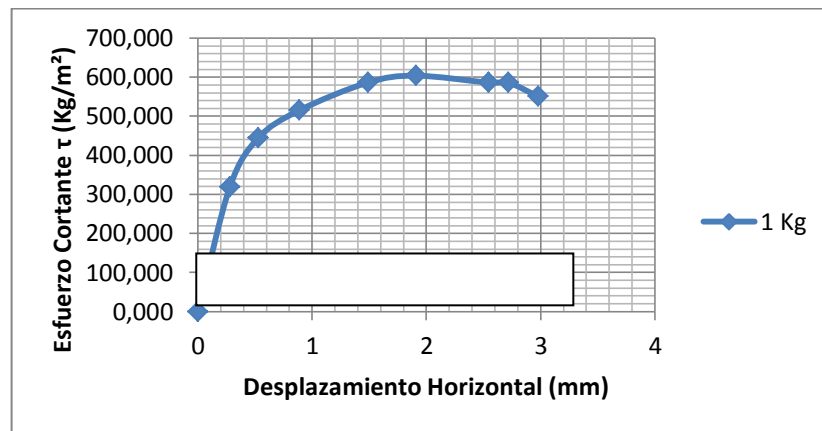
Al saturar las muestras hace que varíe tanto el tiempo en el que se desarrolle el ensayo de corte haciendo que se acelere sin importar a que velocidad de corte esté trabajando, como su resistencia, disminuyéndola a medida que la humedad va aumentando.

Esto se refleja en la figura 52 la cual presenta una carga normal de 4 Kg y una humedad de 15%, dando como resultado un esfuerzo cortante máximo de 941.38 Kg/m<sup>2</sup>.

En la figura 60 se observa que tiene la misma carga normal, pero se le ha aumentado la humedad hasta un 25% reflejando una disminución en el esfuerzo cortante máximo de 728,24 Kg/m<sup>2</sup>.

- **Primer corte con carga de 1 Kg y humedad del 15%**

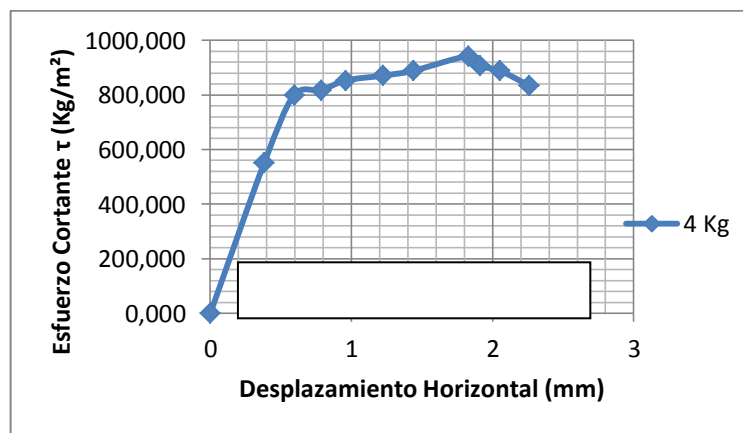
**Figura 51.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: *Registro Propio*

- **Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 15%**

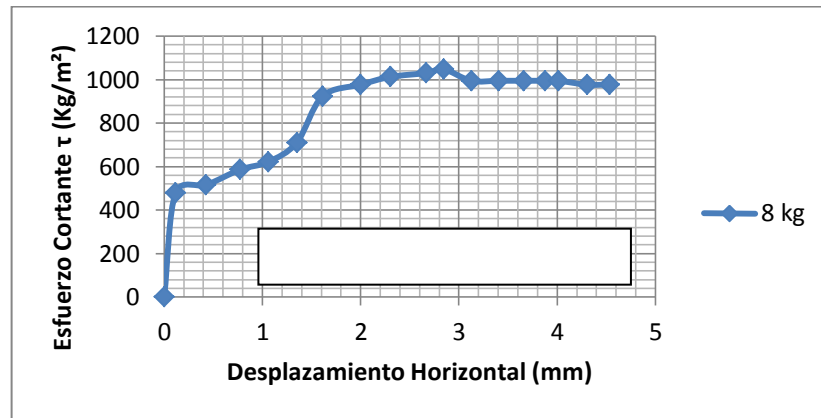
**Figura 52.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: *Registro Propio*

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 15%

**Figura 53.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 15%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: Registro Propio

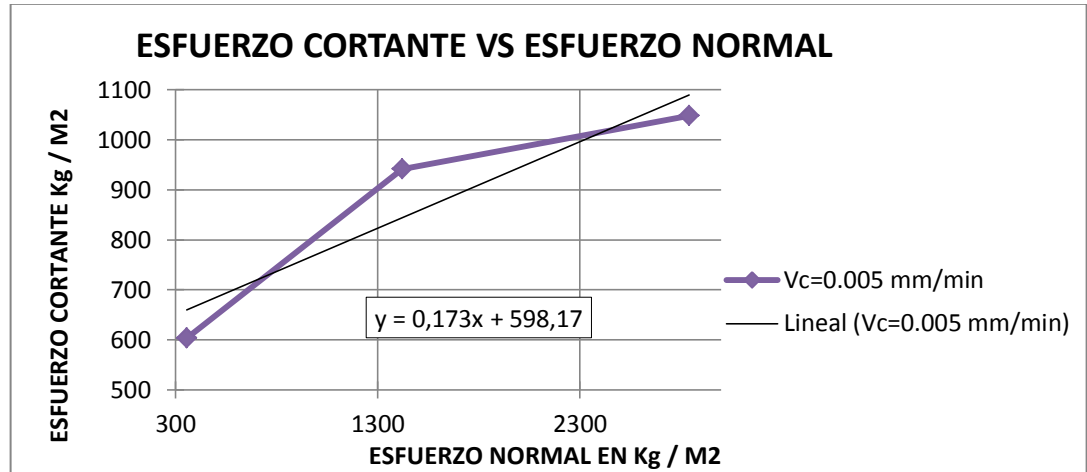
- Envoltente de resistencia experimental para una tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% saturada. Esfuerzos cortante máximos: 603,91 Kg/m<sup>2</sup>; 941,36 Kg/m<sup>2</sup>; 1047,96 Kg/m<sup>2</sup>

**TABLA 14.** Análisis de corte directo para envoltente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% saturada.

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	1,70	355,25	603,93
4,000	0,0028	2,65	1421,02	941,42
8,000	0,0028	2,95	2842,03	1048,00

Fuente: Registro Propio

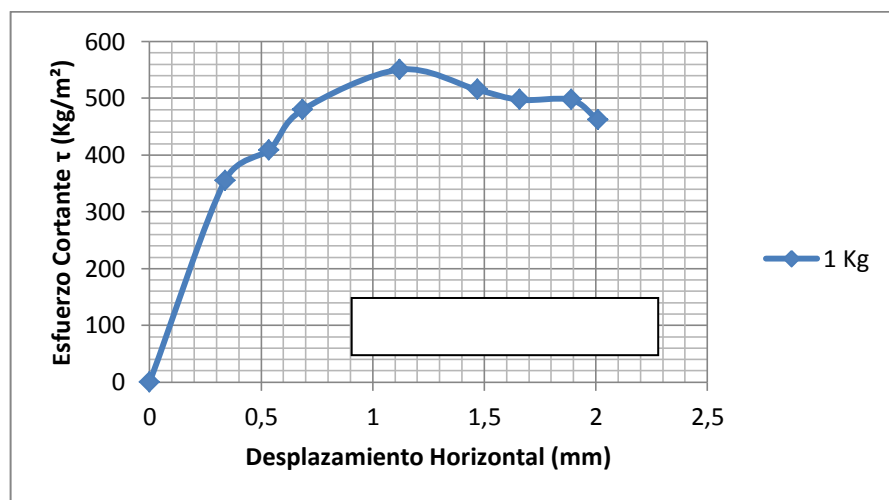
**Figura 54.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 15% saturada.



Fuente: Registro Propio

- **Primer corte con carga de 1 Kg y humedad del 20%**

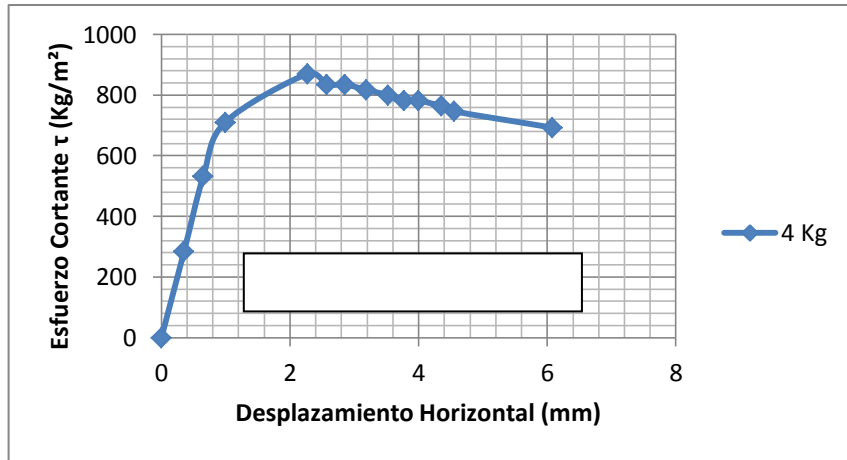
**Figura 55.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: Registro Propio

- Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 20%

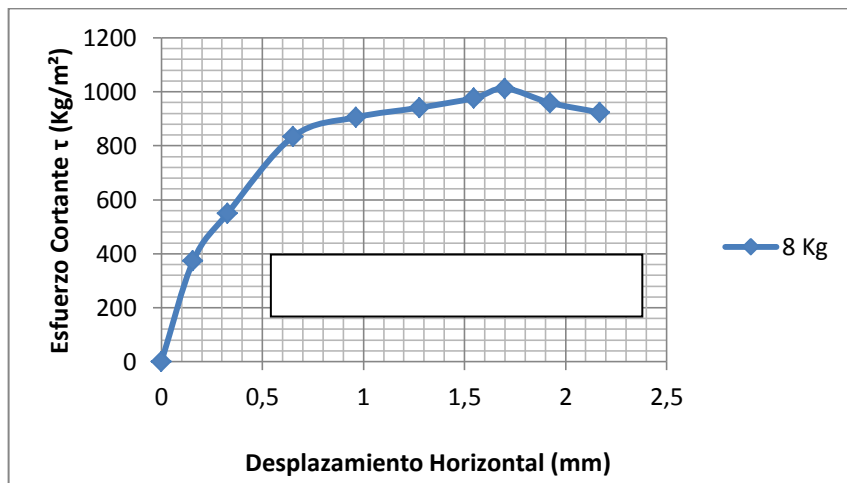
**Figura 56.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: Registro Propio

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 20%

**Figura 57.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 20%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: Registro Propio

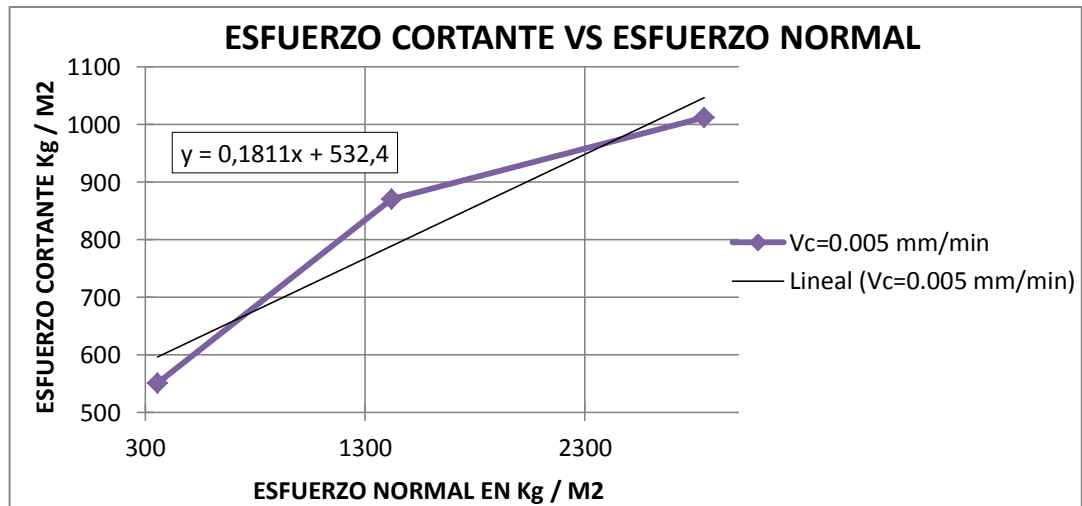
- **Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% saturada. Esfuerzos cortante máximos: 550,62 Kg/m<sup>2</sup>; 870,34 Kg/m<sup>2</sup>; 1012,43 Kg/m<sup>2</sup>**

**TABLA 15.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% saturada.

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	1,55	355,25	550,64
4,000	0,0028	2,45	1421,02	870,37
8,000	0,0028	2,85	2842,03	1012,47

**Fuente:** Registro Propio

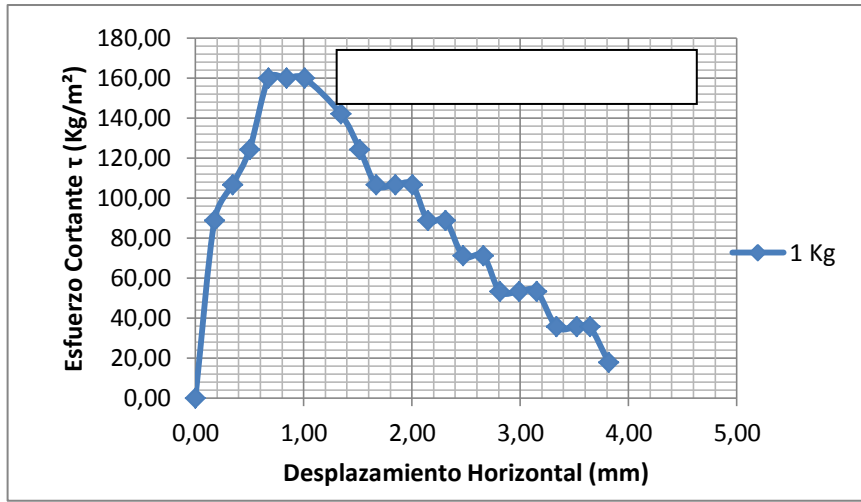
**Figura 58.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 20% saturada.



**Fuente:** Registro Propio

- **Primer corte con carga de 1 Kg y humedad del 25%**

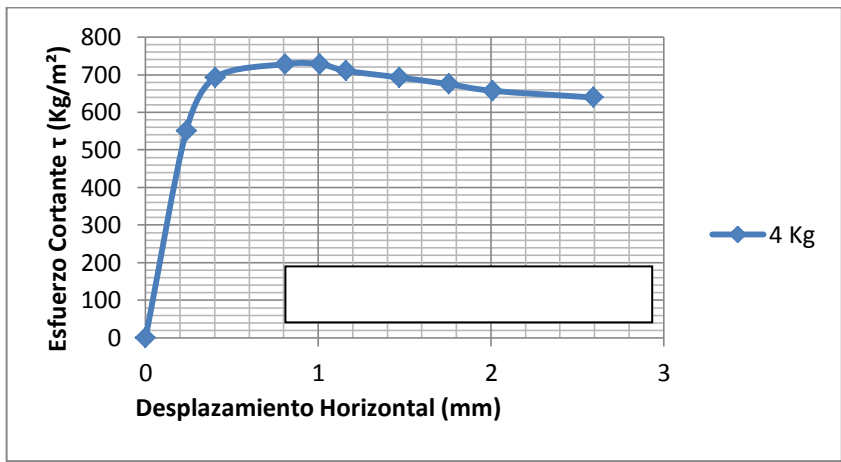
**Figura 59.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 1 kg



Fuente: Registro Propio

- **Segundo corte con carga de 4 Kg y humedad del 25%**

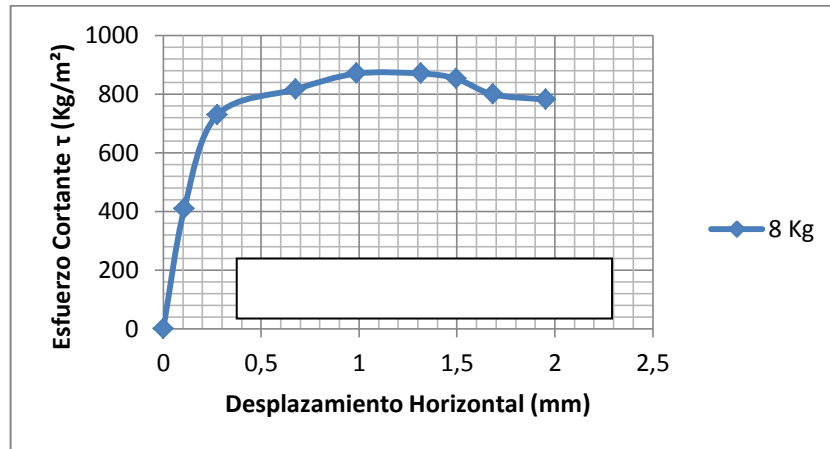
**Figura 60.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 4 kg



Fuente: Registro Propio

- Tercer corte con carga de 8 Kg y humedad del 25%

**Figura 61.** Desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante con humedad del 25%, velocidad de corte 0,005 (mm/min) y una carga de 8 kg



Fuente: Registro Propio

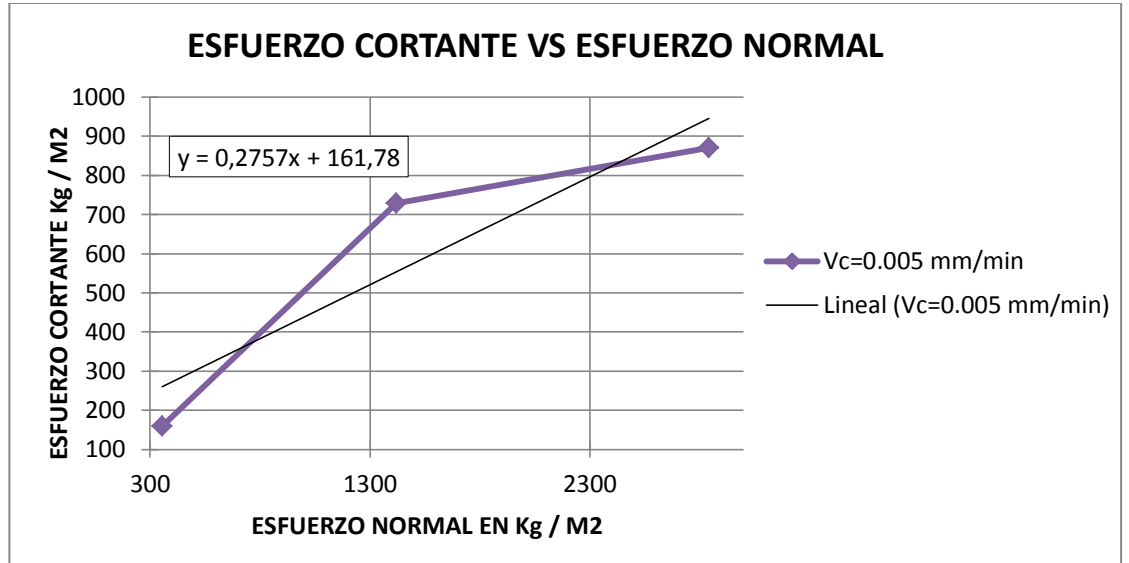
- Envolvente de resistencia experimental para una tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% saturada. Esfuerzos cortante máximos: 159,86 Kg/m<sup>2</sup>; 728,24 Kg/m<sup>2</sup>; 870,34 Kg/m

**TABLA 16.** Análisis de corte directo para envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% saturada.

Carga Vertical Kg	Área M <sup>2</sup>	Carga Horizontal Máxima Kg	Esfuerzo Normal Kg/ M <sup>2</sup>	Esfuerzo Cortante Kg/M <sup>2</sup>
1,000	0,0028	0,45	355,25	159,86
4,000	0,0028	2,05	1421,02	728,27
8,000	0,0028	2,45	2842,03	870,37

Fuente: Registro Propio

**Figura 62.** Envolvente de resistencia experimental para tasa de corte de 0,005 mm/min y humedad de 25% saturada.



Fuente: *Registro Propio*

## 6. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Una vez alcanzados los resultados de los análisis de corte directo para las variaciones de tasas de velocidad, humedades, cargas y grados de saturación, se procede a comparar resultados para poder observar las diversificaciones presentes en los parámetros de resistencia de suelo de estudio y su influencia en la envolvente de resistencia.

### 6.1 INFLUENCIA DE LA HUMEDADES GRADOS DE SATURACIÓN Y TASAS DE VELOCIDAD EN EL ESFUERZO CORTANTE DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

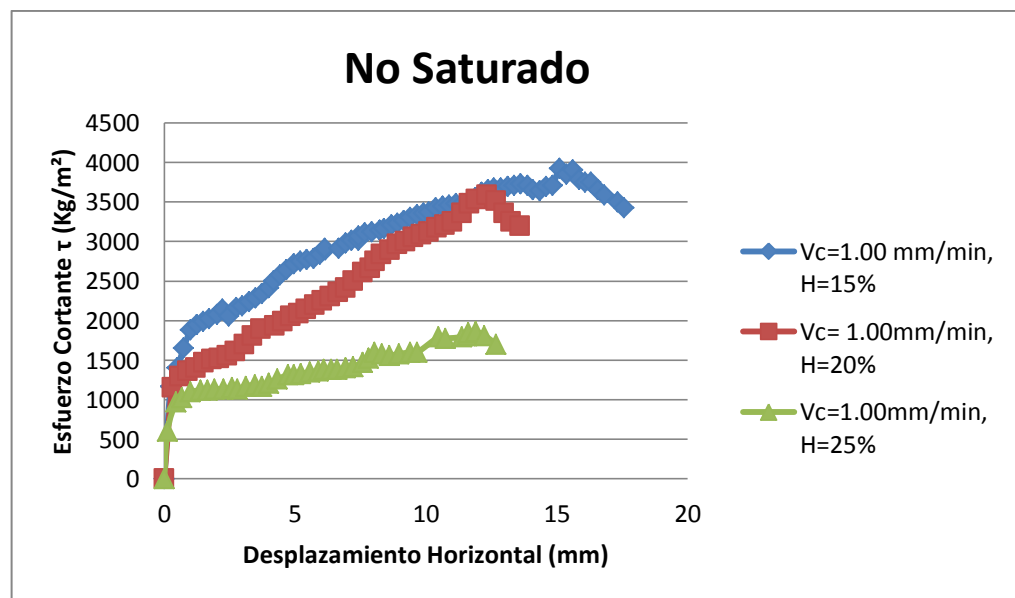
Como se ha podido observar anteriormente existen factores que generan comportamientos diferentes en una misma muestra de suelo. Estos factores son las tasas de velocidad de corte, las humedades y los grados de saturación. Todos estos fenómenos influyen de manera significativa en los parámetros de resistencia de un suelo.

En la figura 63 se ven reflejados estos resultados. Para un suelo no saturado al cual se le aplicó una velocidad de corte de 1(mm/min) se observa que el pico más alto en el esfuerzo cortante se logra cuando se presenta la menor humedad (15%), por lo cual se reitera que a menor humedad se espera un incremento en el esfuerzo cortante. Este mismo comportamiento se ve reflejado tanto en suelos saturados como en velocidades de corte de 0,005(mm/min). Cabe resaltar que el esfuerzo cortante en un suelo saturado es menor en consideración con un suelo no saturado debido su comportamiento semilíquido (ver figuras 63,65)

Si se hace una comparación entre las tasas de velocidades se puede observar que este cambio de velocidades hace que el esfuerzo cortante aumente o disminuya según sea el caso. En las figuras 63 y 64 se ve representado lo expuesto anteriormente puesto que la tendencia que se marca es que a una

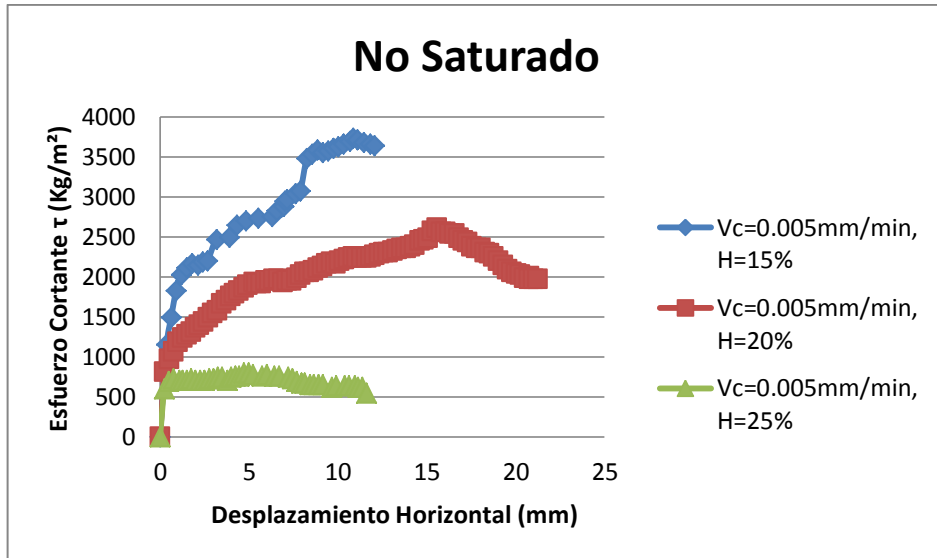
menor velocidad de corte se obtenga también una reducción en el esfuerzo cortante. Este mismo efecto ocurre para las muestras de suelo saturadas y no saturadas con sus respectivos esfuerzos normales representadas en las demás figuras.

**Figura 63.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg.



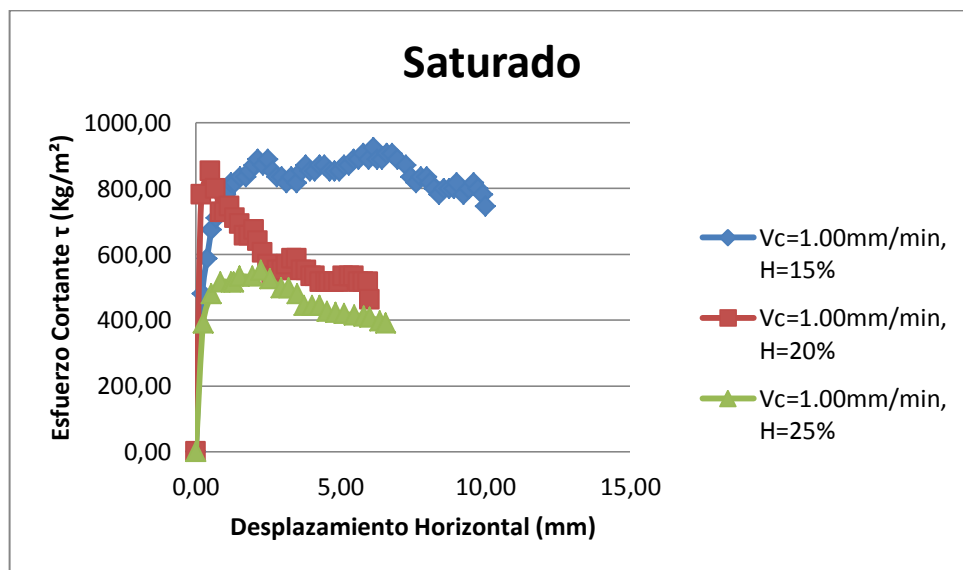
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 64.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/XVmin en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg.



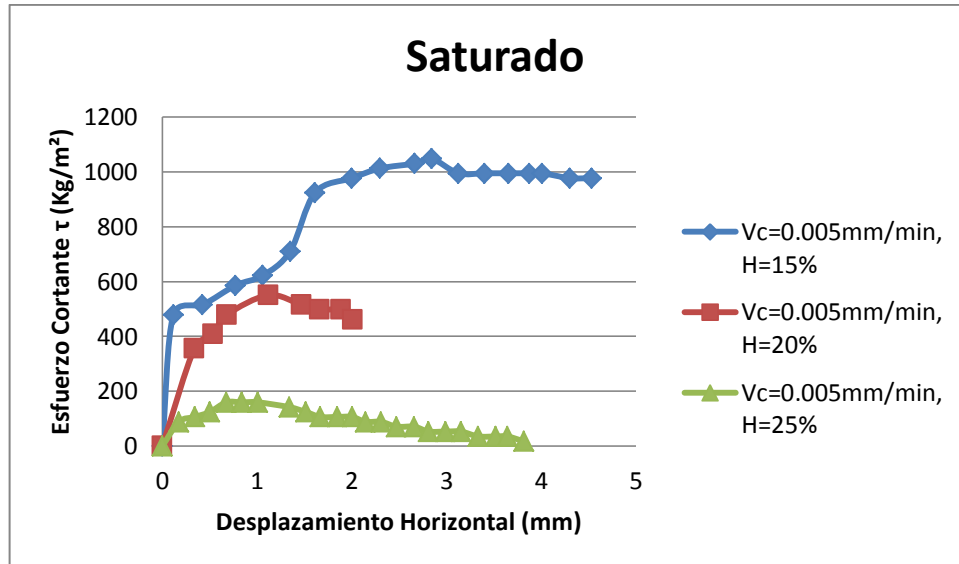
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 65.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg.



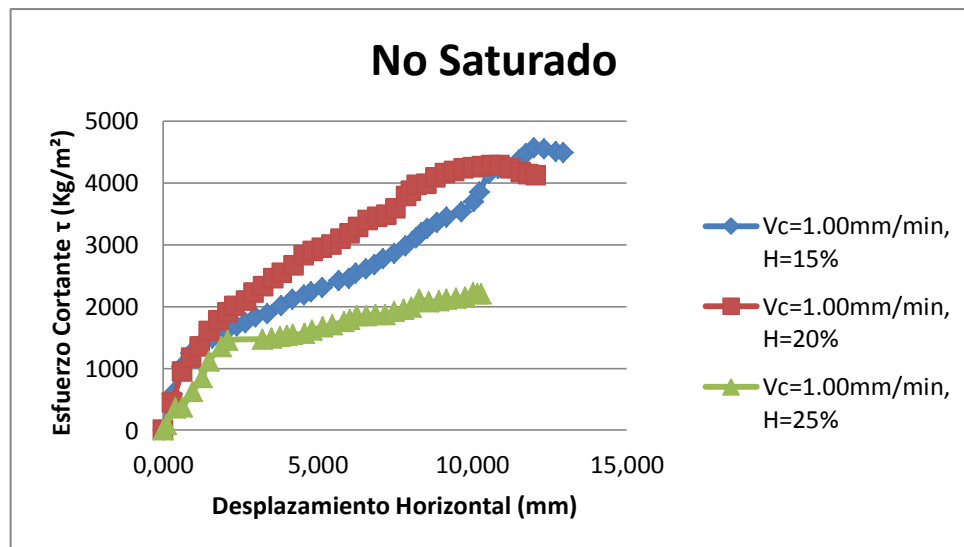
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 66.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 1Kg.



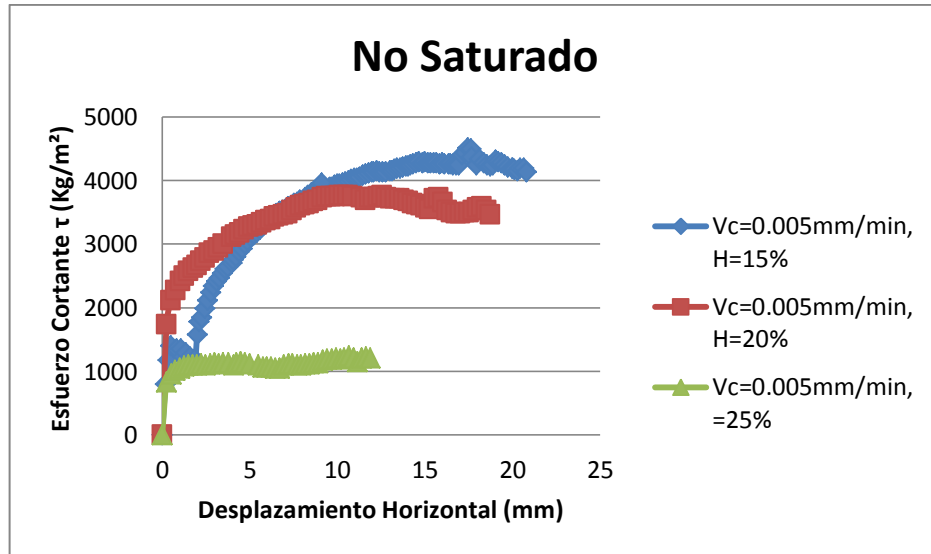
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 67.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg.



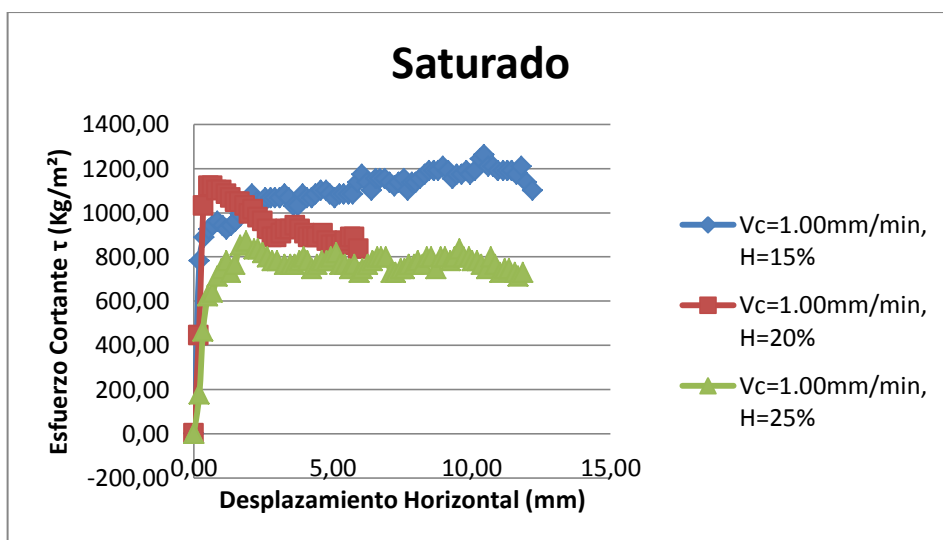
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 68.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg.



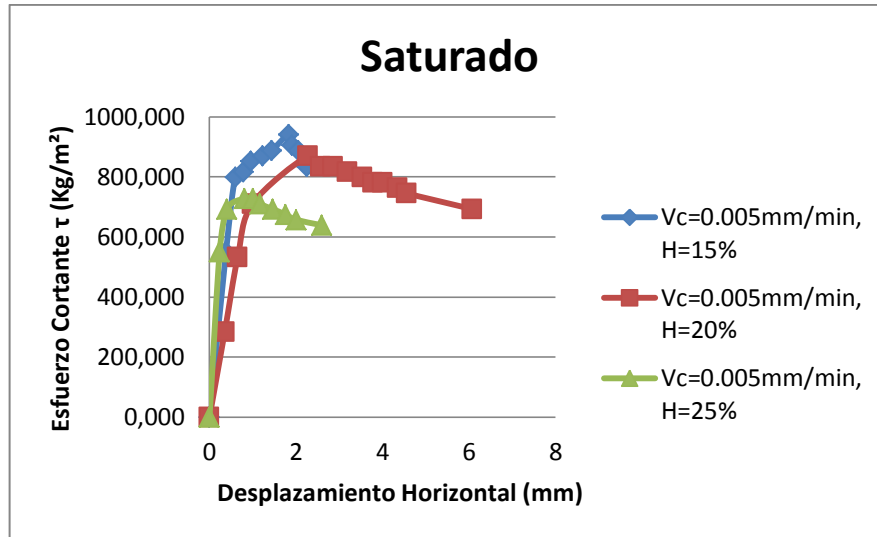
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 69.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg.



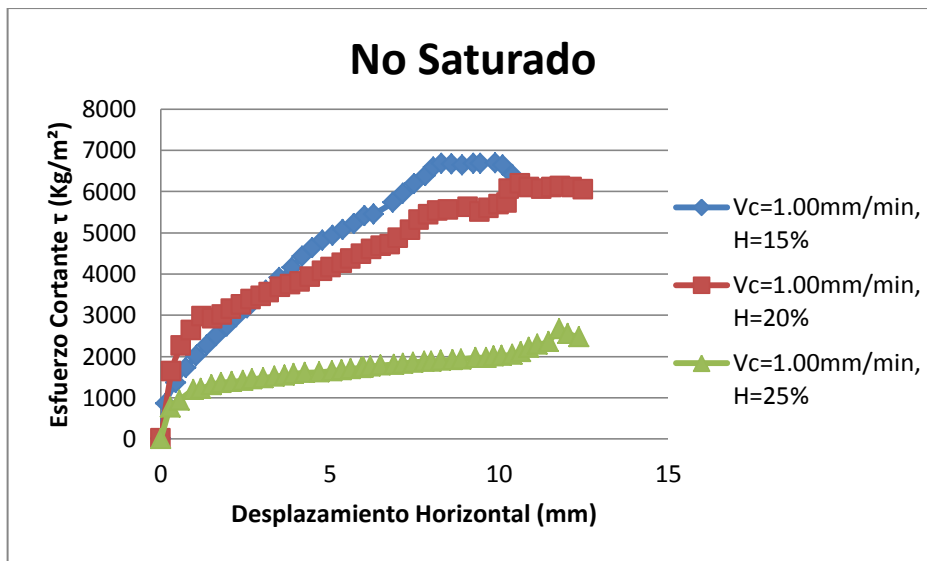
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 70.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 4Kg.



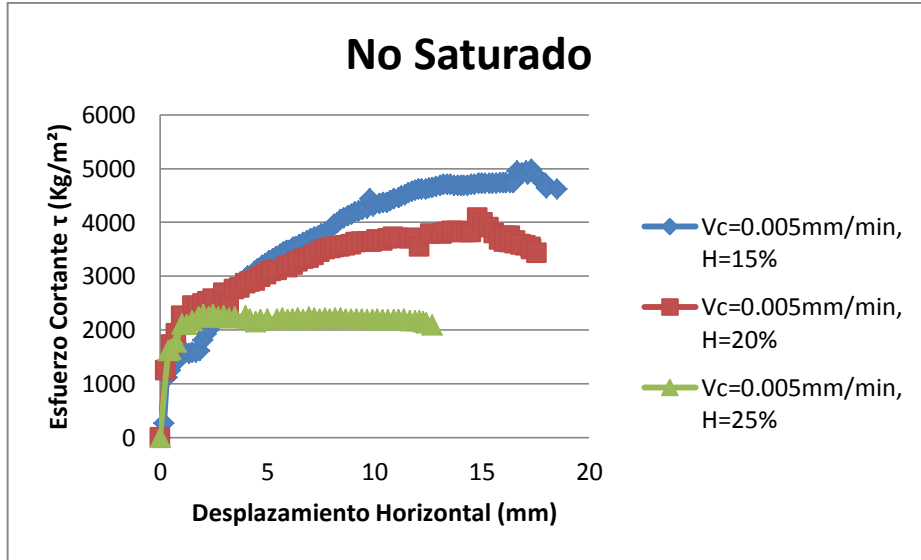
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 71.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg.



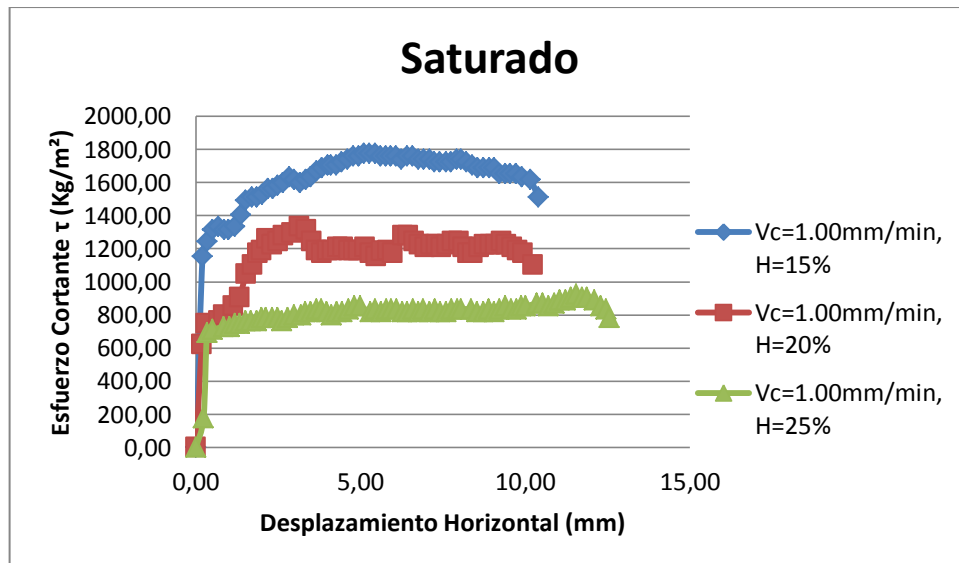
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 72.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg.



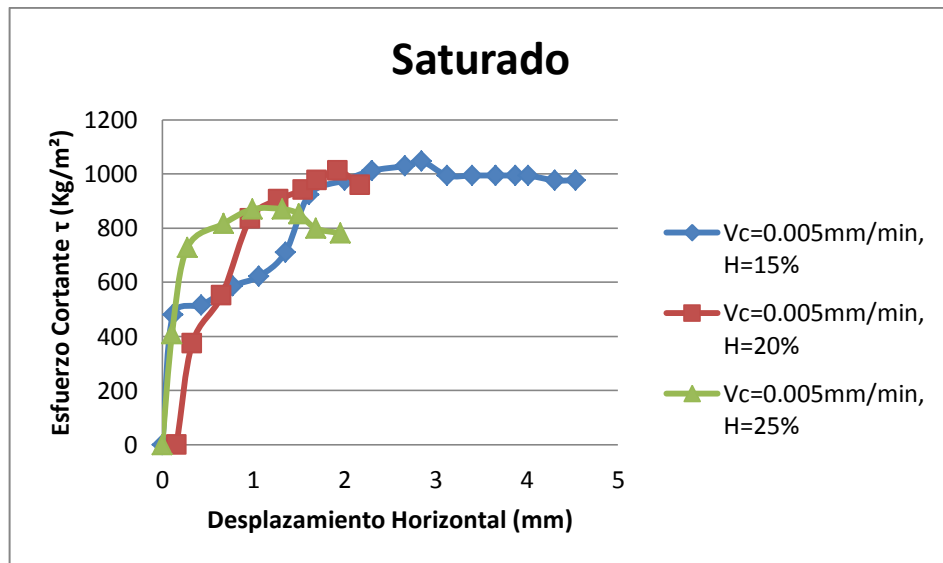
FUENTE *Registro Propio*

**Figura 73.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 1.00 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg.



FUENTE *Registro Propio*

**Figura 74.** Influencia de las humedades, velocidad de corte de 0.005 mm/min en el esfuerzo cortante y desplazamiento horizontal para una carga de 8Kg.



**FUENTE** Registro Propio

## 6.2 INFLUENCIA DE LA TASA DE VELOCIDAD, HUMEDADES Y DIFERENTES GRADOS DE SATURACIÓN EN LA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

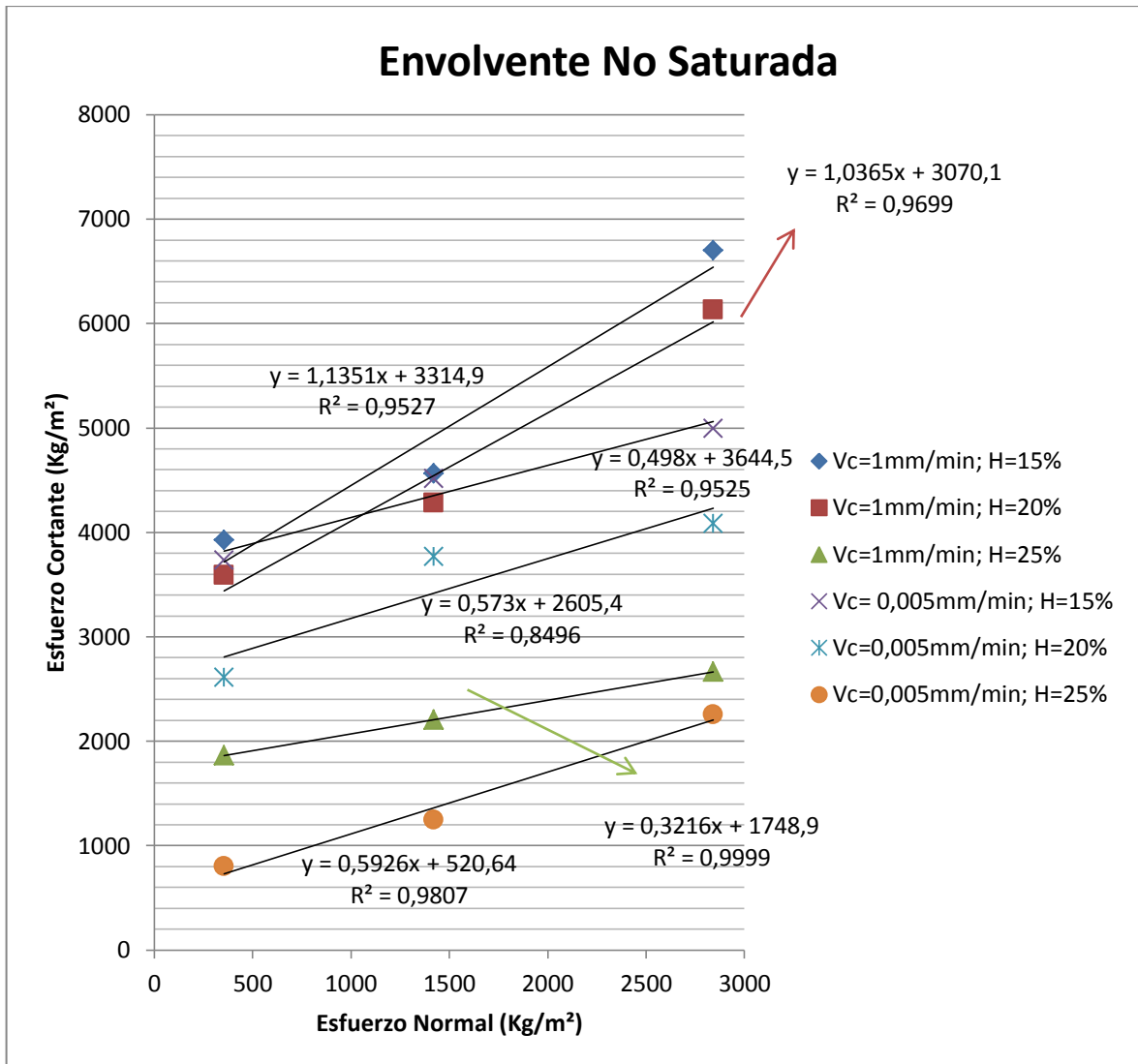
En la figura 75 podemos ver las envolventes de resistencia de la muestra de estudio que se generaron para un suelo no saturado con la presencia de humedades y tasas de velocidades de corte diferentes.

Como era de esperarse, la envolvente de resistencia presenta una disminución cuando en el suelo se presentan aumentos de humedad y cuando la tasa de velocidad de corte es menor.

Al igual se puede observar que la envolvente de resistencia presenta una disminución en las pendientes a medida que la tasa de velocidad de corte aumenta. Para velocidades de corte bajas se presentan aumentos de pendiente. (Ver figura 75 y 76)

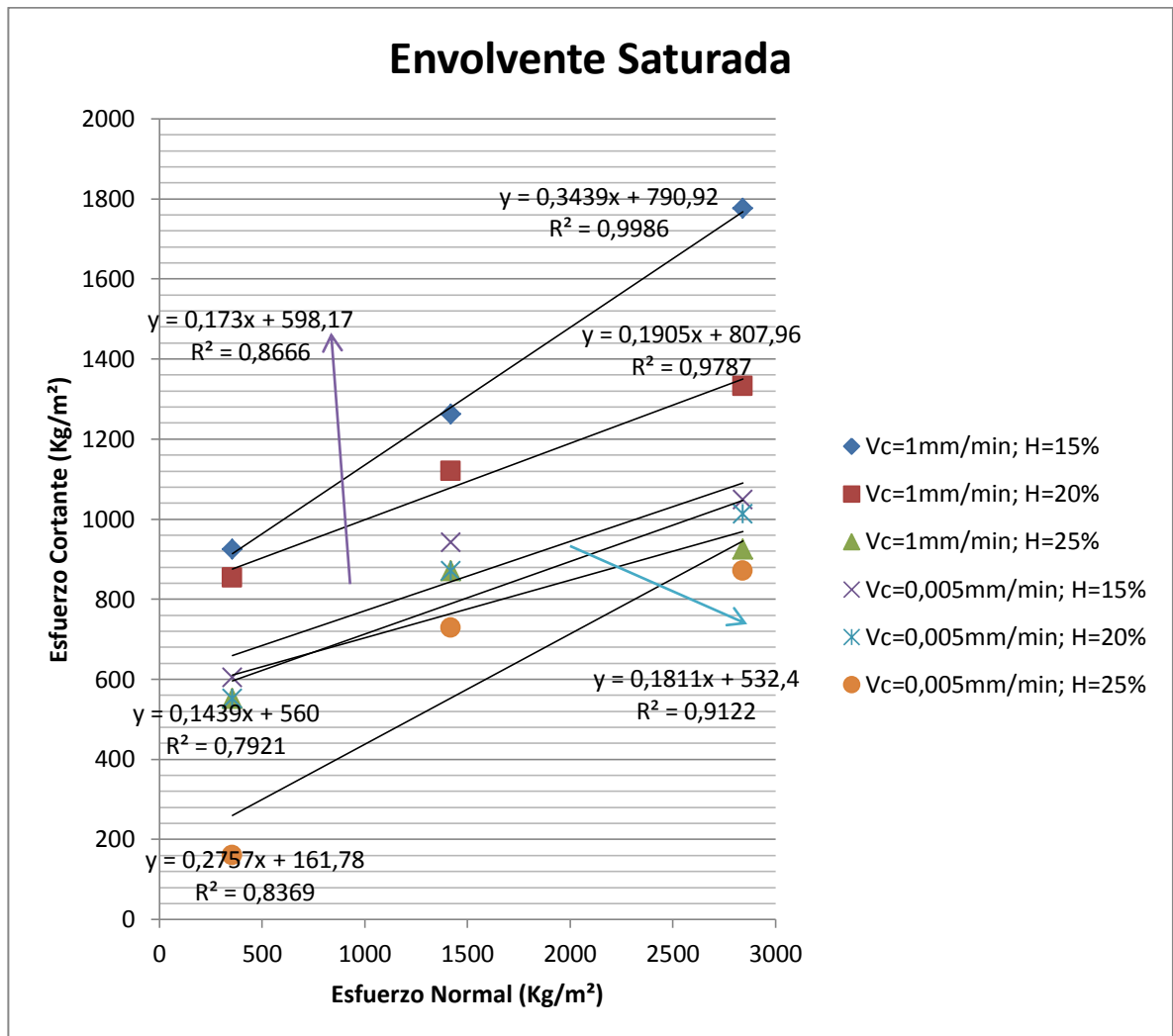
Estos mismos comportamiento ocurren para el suelo saturado cuyos resultados se pueden observar en la figura 76.

**Figura 75.** Evolución de la envolvente de resistencia para las diferentes humedades y tasa de velocidad para muestra NO SATURADA



FUENTE *Registro Propio*

**Figura 76.** Evolución de la envolvente de resistencia para las diferentes humedades y tasa de velocidad para muestra SATURADA



**FUENTE** Registro Propio

### **6.3 INFLUENCIA DE LA TASA DE VELOCIDAD, HUMEDADES Y GRADO DE SATURACIÓN EN EL ÁNGULO DE FRICCIÓN**

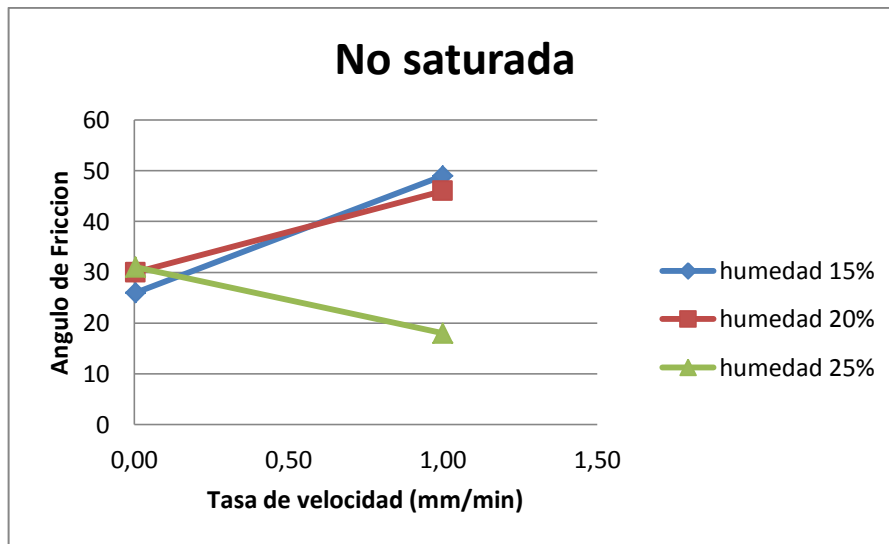
A simple vista se puede apreciar que la tasa de velocidad de corte y las humedades tienen una gran influencia en el ángulo de fricción del suelo (Ver figura 75 y 76).

Si se analiza especialmente un suelo en condiciones no saturadas (figura 77) se puede ver con claridad que el ángulo de fricción para una tasa de corte de 1 (mm/min) aumenta a medida que disminuye la humedad. Caso contrario ocurre cuando se tiene una tasa de velocidad de 0,005 (mm/min) en el cual se observa que los ángulos de fricción aumentan a medida que también aumenta la humedad del suelo. Este fenómeno es causado debido a que con el drenado aparecen fuerzas de fricción entre las partículas.

Estos mismos comportamientos se presentan en la muestra de suelo en condiciones saturadas (ver figura 78). En las tablas 17 y 18 se presentan los resultados obtenidos de ángulos de fricción, cohesión, a las diferentes humedades, tasas de velocidad.

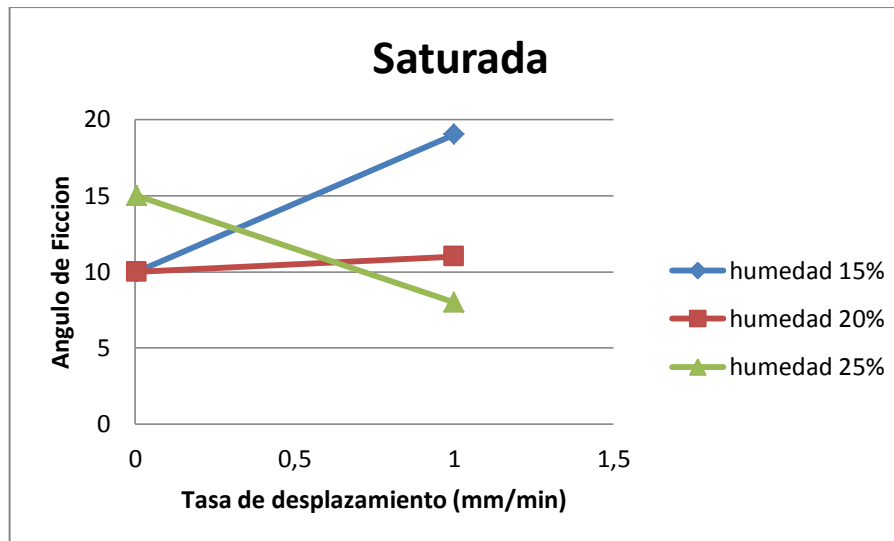
Cabe anotar que el ángulo de fricción no solo se ve afectado por las humedades y tasas de velocidades sino también por factores moleculares, pues este ángulo también se depende de los tamaños de granos, de la forma de los granos, de la densidad del suelo.

**Figura 77.** Ángulos de fricción para diferentes tasas de velocidades, humedades y grado de saturación (No Saturada)



FUENTE *Registro Propio*

**Figura 78.** Ángulos de fricción para diferentes tasas de velocidades, humedades y grado de saturación (Saturada)



FUENTE *Registro Propio*

**TABLA 17.** Ángulos de fricción y cohesión con velocidad de corte de 1.00 mm/min

<i>V<sub>c</sub></i> (mm/min)	<i>Humedades iniciales</i>	<i>grado de saturación</i>	<i>Esfuerzo Normal (Kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Esfuerzo cortante Max(Kg/m<sup>2</sup>)</i>	$\phi^\circ$	<i>C' (Kg/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Humedad final</i>
1.00	15%	NO SATURADO	355,25	3925,56	49	3315	12
			1421,02	4565,01			
			2842,03	6696,54			
	20%		355,25	3588,07	46	3070	19
			1421,02	4280,81			
			2842,03	6128,13			
	25%		355,25	1865,08	18	1749	23
			1421,02	2202,57			
			2842,03	2664,4			
1.00	15%	SATURADO	355,25	923,66	19	791	24
			1421,02	1261,15			
			2842,03	1776,27			
	20%		355,25	852,61	11	808	29
			1421,02	1119,05			
			2842,03	1332,2			
	25%		355,25	550,64	8	560	31
			1421,02	870,37			
			2842,03	923,66			

**FUENTE** Registro Propio

**TABLA 18.** Ángulos de fricción y cohesión con velocidad de corte de 0.005 mm/min

Vc (mm/min)	humedades iniciales	grado de saturación	Esfuerzo Normal (Kg/m <sup>2</sup> )	Esfuerzo cortante Max(Kg/m <sup>2</sup> )	Ø°	C' (Kg/m <sup>2</sup> )	Humedad final
0,005	15%	NO SATURADO	355,25	3730,17	26	3644	12
			1421,02	4511,73			
			2842,03	4991,32			
	20%		355,25	2611,12	30	2605	19
			1421,02	3765,69			
			2842,03	4085,42			
	25%		355,25	799,32	31	521	23
			1421,02	1243,39			
			2842,03	2255,86			
0,005	15%	SATURADO	355,25	603,93	10	598	24
			1421,02	941,42			
			2842,03	1048			
	20%		355,25	550,64	10	532	29
			1421,02	870,37			
			2842,03	1012,47			
	25%		355,25	159,86	15	162	31
			1421,02	728,27			
			2842,03	870,37			

**FUENTE** Registro Propio

#### **6.4 INFLUENCIA DE LA TASA DE VELOCIDAD, HUMEDADES Y GRADO DE SATURACIÓN EN LA COHESION**

A lo largo de este libro se ha visto la influencia que tienen algunos factores en los parámetros de resistencia. Entre estos parámetros que se ven afectados se encuentra la cohesión.

En las figuras 79 y 80 se ven estos efectos los cuales sin importar el grado de saturación presente en el suelo tendrá una misma tendencia.

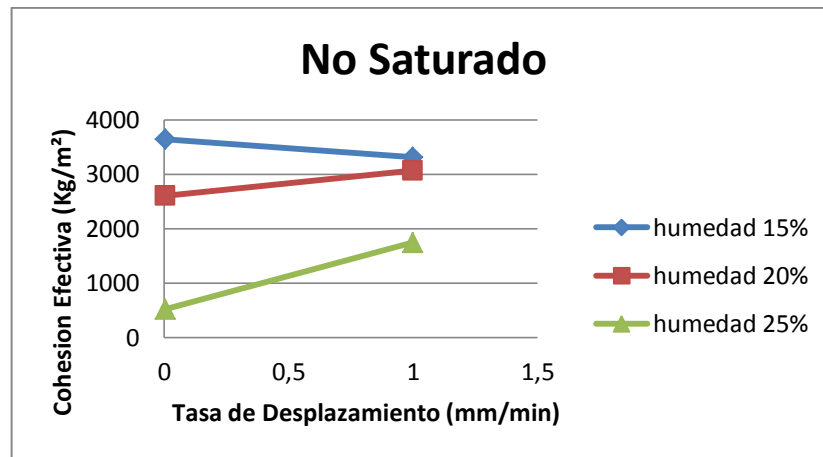
Se puede observar en la figura 79 que para una velocidad de corte de 1 (mm/min) la cohesión disminuye a medida que el suelo presenta mayor humedad debido a que las partículas de suelo no podrán adherirse entre sí por la presencia de las moléculas de agua.

Para el caso de una tasa de velocidad de corte de 0,005 (mm/min) se observa el mismo fenómeno respecto al aumento de las humedades, pero si se hace una comparación entre las tasas de velocidad de corte lo que se espera que suceda respecto a la cohesión es que se presenten valores de cohesión menores que los obtenidos en la velocidad de corte de 1 (mm/min), Lo que esto quiere decir, es que a medida que la velocidad de corte disminuya se espera que lo haga de igual forma la cohesión.

Esto se ve representado den las tablas 17 y 18 donde se puede ver estas variaciones.

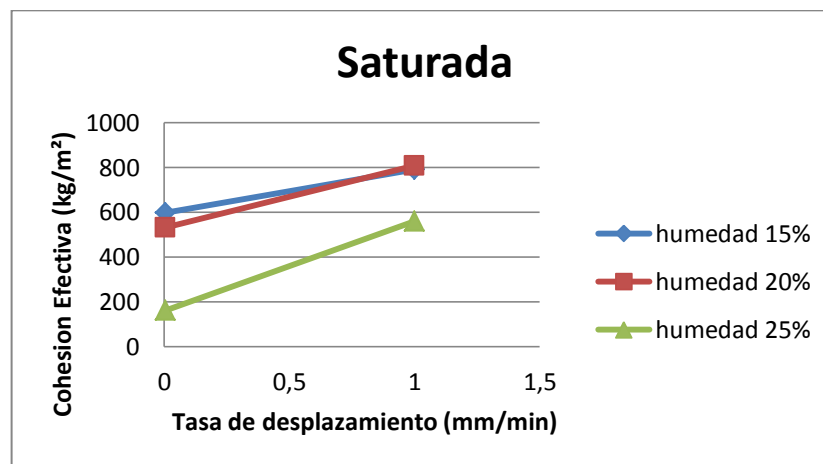
Este fenómeno también se puede ver representado en el tipo de suelo que se está estudiando debido que al ser un suelo de clasificación ML presenta poca cohesión. La cohesión resulta ser un parámetro que se debe elegir cuidadosamente porque es un dato que puede tener una gran dispersión ya que es muy sensible si se compara con el ángulo de fricción.

**Figura 79.** Análisis de Cohesión ante la tasa de desplazamiento para muestras No Saturadas



FUENTE *Registro Propio*

**Figura 80.** Análisis de Cohesión ante la tasa de desplazamiento para muestras No Saturadas



FUENTE *Registro Propio*

## CONCLUSIONES

- ✓ Analizando los resultados obtenidos en los ensayos se puede concluir que la humedad y la tasa de velocidad juega un papel importante en la evolución de la envolvente de resistencia, ya que la pendiente de la envolvente refleja el estado de humedad que presenta el suelo, es decir, si la muestra se encuentra inundada y posee una tasa de velocidad de 1,00 mm/min la pendiente de la envolvente disminuye; pero si la muestra no se encuentra inundada, entonces la pendiente aumenta debido a que al haber drenado aparecerán las fuerzas de fricción entre las partículas del suelo.
  
- ✓ Se pudo observar en el proceso de los ensayos que a medida que la muestra presentaba un mayor grado de humedad, la resistencia de la envolvente disminuía y esto se debe a que el ángulo de fricción también tiende a disminuir
  
- ✓ Se observa que la influencia de la tasa de velocidad de corte afecta la envolvente de resistencia, es decir, cuando tenemos un ensayo con una velocidad de 1,00mm/min, este presenta una mayor resistencia en el corte que un ensayo trabajado con una velocidad de 0,005 mm/min
  
- ✓ En el desarrollo del ensayo de corte directo se puede analizar el comportamiento esfuerzo-deformación en el cual los parámetros de resistencia para suelos limo arcilloso, depende notablemente del estado de saturación, ya que en las muestras saturadas se observa que los ángulos de fricción y cohesión tienden a disminuir en comparación a las muestras no saturadas.

- ✓ Se observa los resultados obtenidos en el laboratorio que el comportamiento para una muestra no saturada puede desarrollarse en mayor tiempo, ya que sus partículas están más unidas y el proceso de corte se hace más extenso, aun así la tendencia de los ensayos es similar a la de una muestra saturada

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ Al-Mhaidib, A.I., (2005), Shearing Rate Effect on Interfacial Friction between Sand and Steel, Proceedings of The Fifth International Offshore and Polar Engineering Conference, Department of Civil Engineering, King Saud University, pp. 633-639.
- ✓ BEACHER, G.B. and Christian, J.T., (2003). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering, John Wiley and Sons, London and New York.
- ✓ BISHOP, A.W., (1963). Some aspects of effective stress in saturated an partly saturated soils. Geotechnique Vol. 1. Pp. 177-197
- ✓ <http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-24.pdf> (Consultado el 24 de Abril)
- ✓ NORMA I.N.V.E- 154-07
- ✓ SEPULVEDA, M. (2001). Efecto de la preconsolidacion sobre la resistencia al corte en suelo Durudand con dos potenciales mátricos. Tesis Licenciado en Agronomía, Universidad Austral de Chile. 54 p