

**ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE PARA EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO
Y OBSERVACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA
CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS**

LEANDRA PAOLA MONTEALEGRE ROSALES

DEYSI SANABRIA BASTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE PARA EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO
Y OBSERVACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA
CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS**

LEANDRA PAOLA MONTEALEGRE ROSALES

DEYSI SANABRIA BASTO

Trabajo de grado para optar al título de

Ingeniero civil

Director

HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

M. Sc en Ingeniería civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A DIOS que todo lo puede, porque es él quien coloca los medios para lograr todo lo que me propongo en la vida y me da la fortaleza para no rendirme nunca.

A mi motor mi vida mi razón de ser mis padres, EXCEQUIEL y OMAIRA, por ser un apoyo incondicional en todo momento por ser mi mejor ejemplo, por sus oraciones, por su esfuerzo y sacrificio y por dar gran parte de su vida para formarme y educarme y hacer de mí una persona de bien, porque este logro no es solo mío sino de ellos también.

A mis hermanos, EDUARDO, INES y DANIXA, por apoyarme siempre, por sus consejos su amor, paciencia y ejemplo y por confiar en mí.

A mis sobrinos MAIRA GISELL y EDWIN ANDREY por ser para ellos el mejor ejemplo a seguir.

A mí cuñado EDWIN por sus consejos y apoyo.

A mis familiares, Tías y Tíos, Primos y Primas y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en este gran logro.

A Yohanna, Yeko y Hender por aguantarme todo este tiempo, por ser un apoyo en los momentos difíciles.

A mis amigos, Angie, Lina, Diana, Estefanía, Edwin, Eliana, Astrid, Leidy, Andrea y Cristian A, por haber estado siempre ahí, apoyándome y dándome una voz de aliento, por sus locuras sus risas, por todos los buenos y malos momentos.

*Deysí Sanabría Basto
Febrero 28 de 2018*

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos en primer lugar a Dios quien coloca los medios para poder realizar todo lo que se propone cada uno en la vida y es él quien brinda la sabiduría para llegar hasta donde se ha logrado.

De igual manera las autoras de esta investigación agradecen a sus padres porque sin importar las dificultades presentadas durante todo el tiempo de estudio y durante sus años de vida les ofrecieron un apoyo incondicional y constante.

A la Universidad Industrial de Santander y sus docentes, en especial a la Ingeniera Hebenly Celis Leguizamo, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación ha logrado ser una guía excepcional en la elaboración de esta investigación y a todas las personas que aportaron de manera directa o indirecta en esta etapa de formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. NORMATIVA	18
2.2. RESUMEN DEL MÉTODO	18
2.3. RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO	19
2.4. TEORIA DE COULOMB	20
2.5. INCERTIDUMBRE	23
2.5.1 Método para calcular la incertidumbre	25
3. METODOLOGÍA	26
3.1. ETAPA 1: DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES	26
3.1.1 Determinación del tamaño de las partículas del suelo	27
3.1.2 Ensayo de Proctor Modificado	34
3.2. ETAPA 2: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	36
3.3. ETAPA 3: RESULTADOS GENERALES	40
3.3.1 Análisis y resultados del Operario 1	40
3.3.2 Análisis y resultados del Operario 2	48
4 ANALISIS DE LA INCERTIDUMDRE	56
4.1 ESPECIFICACIÓN DEL MENSURADO	56
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE	57
4.3 CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	57
4.3.1 Incertidumbre asociada a la preparación de la muestra	58

4.3.2 Incertidumbre asociada a la lectura de datos por parte de los operadores	58
4.3.3 Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento de medida....	59
4.4 CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE COMBINADA	59
4.5 CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	60
5 CONCLUSIONES.....	62
REFERENCIAS	64
BIBLIOGRAFIA	65
ANEXOS.....	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos iniciales para ensayo “determinación del tamaño de las partículas del suelo”	28
Tabla 2. Pesos retenidos en cada tamiz	28
Tabla 3. Clasificación de suelos según el método SUCS	33
Tabla 4. Datos obtenidos del ensayo de determinación del tamaño de las partículas del suelo	34
Tabla 5. Datos iniciales para ensayo Proctor Modificado	35
Tabla 6 Resultados ensayo Proctor Modificado.....	35
Tabla 7. Datos iniciales ensayo de corte directo, operario 1	40
Tabla 8. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 8 kg, operario 1 ..	41
Tabla 9. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 16 kg, operario 1	42
Tabla 10. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 32 kg, operario 1	43
Tabla 11. Datos de los puntos máximos para cada ensayo, operario 1	45
Tabla 12. Resultados ensayo corte directo, operario 1	46
Tabla 13. Análisis estadístico ángulo de fricción.....	47
Tabla 14. Análisis estadístico operario 1	47
Tabla 15. Datos iniciales ensayo de corte directo, operario 2.....	48
Tabla 16. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 8 kg, operario 2	49
Tabla 17. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 16 kg, operario 2	50
Tabla 18. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 32 kg, operario 2	51

<i>Tabla 19. Datos de los puntos máximos para cada ensayo, operario 2.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 20. Resultados ensayo corte directo, operario 2.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 21. Análisis estadístico ángulo de fricción.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 22. Análisis estadístico operario 1</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 23. Incertidumbre asociada a la preparación de la muestra</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 24. Incertidumbre asociada a los operadores</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 25. Resultados Incertidumbre Combinada.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 26. Incertidumbre combinada.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 27. Resultado Incertidumbre Expandida</i>	<i>61</i>

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Caja para el ensayo del corte directo.....</i>	19
<i>Figura 2. Diagrama de fricción.....</i>	20
<i>Figura 3. Diagrama de falla por esfuerzo cortante en plano de deslizamiento</i>	21
<i>Figura 4. Diagrama corte máximo.....</i>	22
<i>Figura 5. Material, suelo arenoso.....</i>	27
<i>Figura 6. Curva granulométrica.....</i>	29
<i>Figura 7. Curva de Compactación de Proctor Modificado.....</i>	36
<i>Figura 8. Procedimiento montaje de la muestra en la caja de corte directo.....</i>	37
<i>Figura 9. Grafica cortante ensayo número 1, operario 1.....</i>	44
<i>Figura 10. Grafica deformación ensayo número 1, operario 1.....</i>	44
<i>Figura 11. Grafica línea de resistencia al corte, operario 1.....</i>	45
<i>Figura 12. Grafica cortante ensayo número 1, operario 2.....</i>	52
<i>Figura 13. Grafica deformación ensayo número 1, operario 2.....</i>	52
<i>Figura 14. Grafica línea de resistencia al corte, operario 2.....</i>	53

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. GRAFICA DE RESULTADOS OPERARIO 1.....	67
ANEXO B. GRAFICA DE RESULTADOS OPERARIO 2.....	73

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE PARA EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y OBSERVACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS.*

AUTOR(ES): DEYSI SANABRIA BASTO
LEANDRA PAOLA MONTEALEGRE ROSALES **

PALABRAS CLAVE: Incertidumbre, Ensayo, Confiabilidad, Variación, Cohesión, Esfuerzo Cortante.

DESCRIPCIÓN:

Es importante estudiar todo tipo de variación que se puede presentar en los resultados de determinado ensayo en el laboratorio, con el fin de presentar informes confiables; el ensayo de corte directo tiene como objetivo determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra, además halla parámetros necesarios para solucionar dificultades relacionadas con la resistencia del suelo los cuales ayudan a identificar problemas presentes en determinado lugar.

La resistencia al esfuerzo cortante en el suelo se debe a dos componentes: la cohesión, aportada por la fracción del suelo además responsable a su deformación y del comportamiento plástico de este, y el rozamiento interno entre las partículas granulares o fricción.

Para conocer o determinar esa resistencia del suelo, en el laboratorio uno de los equipos que se usa es el aparato de corte directo. El más típico es una caja de sección cuadrada o circular dividido horizontalmente en dos mitades; dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento y luego una carga horizontal creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

En el presente estudio se detalla el ensayo de corte directo aplicado a un número determinado de muestra con las mismas características y ejecutados por dos operarios diferentes, para así poder realizar el análisis adecuado de los factores que influyen en la incertidumbre que presenta el ensayo, siendo este un parámetro de calidad que refleja la capacidad de un sistema de medición para entregar valores confiables además se hallan los factores involucrados en la variación que presenta dichos resultados.

* Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director UIS: MSc Hebenly Celis Leguizamo, Ingeniera Civil.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE UNCERTAINTY FOR THE TEST OF DIRECT CUTTING AND OBSERVATION OF THE FACTORS THAT INFLUENCE THE RELIABILITY OF THE RESULTS.*

AUTHOR (S): DEYSI SANABRIA BASTO
LEANDRA PAOLA MONTEALEGRE ROSALES **

KEYWORDS: Uncertainty, Essay, Reliability, Variation, Cohesion, Shear Effort.

DESCRIPTION:

It is important to study all types of variation that can be presented in the results of a certain test in the laboratory, in order to present reliable reports; The objective of the direct cutting test is to determine the shear strength of a sample, as well as to find parameters necessary to solve difficulties related to soil resistance, which help to identify problems present in a certain place.

The resistance to shear stress in the soil is due to two components: the cohesion, contributed by the fraction of the soil also responsible for its deformation and its plastic behavior, and the internal friction between the granular particles or friction.

To know or determine this resistance of the soil, in the laboratory one of the equipment used is the direct cutting device. The most typical is a box with a square or circular section divided horizontally into two halves; inside it the soil sample is placed with porous stones at both ends, a vertical confinement load is applied and then an increasing horizontal load that causes the displacement of the moving half of the box causing the cutting of the sample.

In the present study, the direct cut test applied to a certain number of samples with the same characteristics and executed by two different operators is detailed, in order to perform the adequate analysis of the factors that influence the uncertainty that the test presents, being This is a quality parameter that reflects the capacity of a measurement system to deliver reliable values, as well as the factors involved in the variation presented by these results.

* Graduation Project

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director UIS: MSc. Hebenly Celis Leguizamo, Civil Engineer.

INTRODUCCIÓN

El ensayo de corte directo busca identificar la relación que se establece entre el esfuerzo cortante y la deformación, esté halla parámetros necesarios para solucionar problemas relacionados con la resistencia del suelo; en la vida cotidiana se realizan estimaciones de la incertidumbre de una manera subjetiva, utilizando el sentido común del observador y su experiencia, sin embargo, para propósitos de aplicación de un ensayo debemos convertirla en un estimado basado en evidencia.

Con la necesidad de identificar y solucionar los factores que influyen en la confiabilidad de dicho ensayo, se realizó una evaluación completa de los datos y análisis de la variabilidad para dar resultados óptimos.

En este proyecto se analizó la incertidumbre para el ensayo de corte directo, esta se define como el intervalo estadístico dentro del cual se tiene una probabilidad de que se encuentre el valor verdadero; aplicado a un diseño de muestra, con iguales condiciones de humedad y densidad. Se realizaron 40 ensayos entre dos operarios (20 ensayos cada uno) además se observaron y analizaron los factores que influyen en la confiabilidad de los resultados. Los ensayos se ajustan por medio de una regresión lineal para obtener resultados que muestren los valores de resistencia del suelo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es determinar y analizar la variabilidad en los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo y los factores que influyen en el mismo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer un diseño de muestra en el laboratorio.
- Analizar los resultados obtenidos del ensayo de corte directo y la variabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante bajo diferentes análisis estadísticos.
- Establecer factores que influyen en la confiabilidad de los resultados del ensayo de corte directo.

2. MARCO TEÓRICO

Dado que el tema de enfoque de este trabajo está centrado en el ensayo de corte directo y la incertidumbre que se presenta en los resultados del mismo, a continuación, se realiza una descripción del ensayo y la incertidumbre.

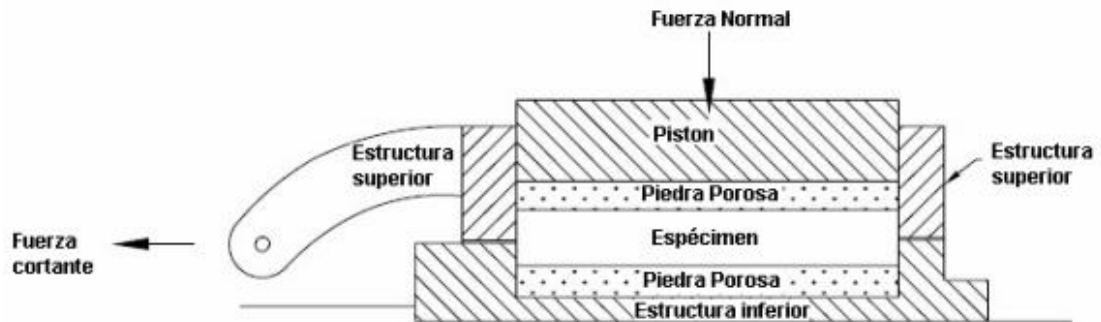
2.1. NORMATIVA

El ensayo de corte directo está basado en la norma I.N.V E 154 -13; Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD), esta norma tiene como objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo, la prueba se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada [1].

2.2. RESUMEN DEL MÉTODO

Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en un dispositivo de corte directo, aplicar luego un esfuerzo normal determinado, humedecer y drenar el espécimen de ensayo, consolidar el espécimen bajo el esfuerzo normal, desbloquear las mitades de la caja de corte que contiene la muestra, y desplazar horizontalmente una mitad respecto de la otra a una velocidad constante de deformación, mientras se miden la fuerza de corte y los desplazamientos normales horizontales como se muestra en la figura 1. La velocidad de corte debe ser lo suficientemente lenta para permitir la disipación prácticamente total del exceso de presión de poros.

Figura 1. Caja para el ensayo del corte directo



2.3. RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO

La resistencia al corte de una masa de suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede oponer, a la falla y al deslizamiento, a lo largo de algún plano interno. Se debe entender la resistencia al corte de un suelo para poder analizar problemas de estabilidad de suelos tales como: capacidad de soporte, estabilidad de taludes y empuje de tierras sobre estructuras de contención, entre otros.

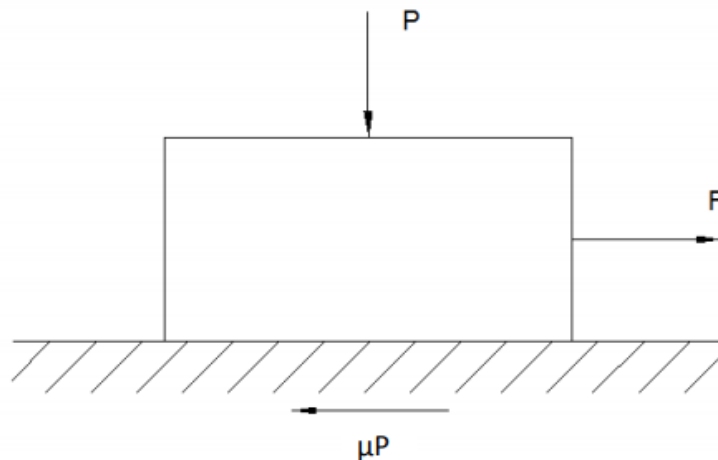
Cuando se aplica un sistema de fuerzas a un volumen determinado de suelo, se desarrollan tensiones de corte, las cuales implican deformaciones en este. Estas deformaciones son o pueden ser importantes a lo largo de los llamados “planos de falla” o deslizamiento. Por lo tanto, se puede definir la resistencia al corte de un suelo como “la tensión de corte en el plano de falla, en el momento de la falla” [2].

2.4. TEORIA DE COULOMB

Coulomb fue el primero que trato de explicar el origen de la resistencia al corte de los suelos. En 1776 observo que, si el empuje que produce un suelo contra un muro de contención produce un ligero movimiento del muro, en el suelo que está retenido se forma un plano de deslizamiento esencialmente recto, basó su teoría en dos conceptos:

- Fricción entre partículas: La resistencia al corte del suelo basado en principios elementales de la física, en la figura 2, se observa que la fuerza F produce un desplazamiento, que es contrarrestado por la fuerza μP . La fuerza μP es la representación del roce entre ambas superficies y es directamente proporcional a la fuerza P , ya que μ es una constante de roce. Diferente para cada superficie.

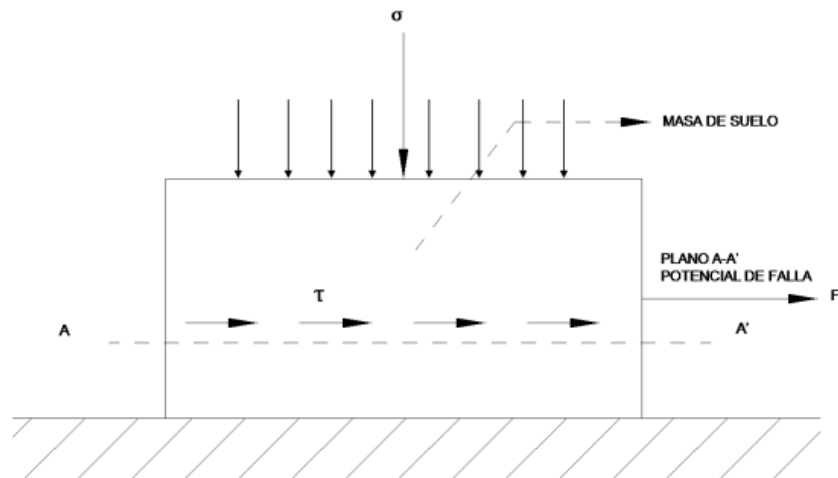
Figura 2. Diagrama de fricción



- Los suelos fallan por esfuerzos cortantes a lo largo de un plano de deslizamiento y regidos por el mecanismo de la fricción mencionada

anteriormente, por lo menos en cierto tipo de suelos. En la figura 3, se denomina dicho plano como A-A', pero a la vez se transforman las fuerzas actuantes en esfuerzos al dividirlos por el área sobre la cual actúan, obteniéndose σ para P y generándose un esfuerzo interno τ producto de la fuerza F.

Figura 3. Diagrama de falla por esfuerzo cortante en plano de deslizamiento



Coulomb postulo que la máxima resistencia al corte, τ , en el plano de falla está dada por:

$$\tau = c + \sigma * \tan\theta \quad (1)$$

Donde:

σ = es el esfuerzo normal total en el plano de falla

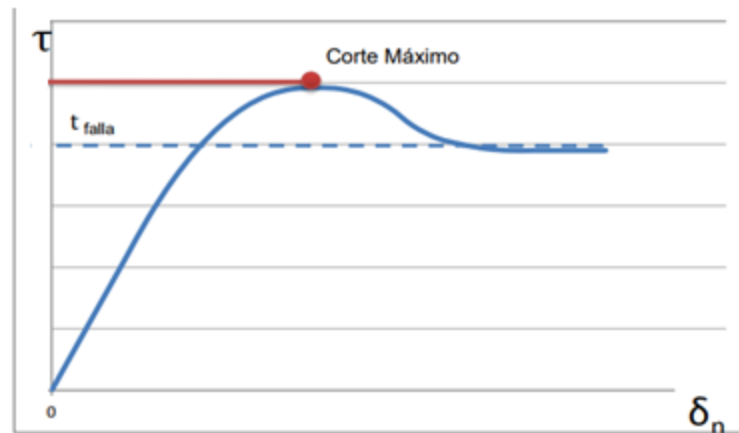
θ = es el ángulo de fricción del suelo

c = es la cohesión del suelo

Si se grafica la tensión de corte τ en función de la deformación horizontal δ en el plano de esta tensión de corte para un suelo denso en condición drenada, se obtiene

como aparece en la figura 4, en esta se aprecia un valor máximo de corte aplicado al instante en que las partículas en el suelo denso se sueltan, por lo tanto, disminuye el roce interno entre ellas y a su vez disminuye la resistencia al corte de este suelo hasta alcanzar la falla con el valor de esfuerzo de corte.

Figura 4. Diagrama corte máximo



Los valores de resistencia al corte se suelen obtener realizando como mínimo un ensayo de tres probetas idénticas de un mismo suelo aplicando distintas presiones normales, los datos se grafican en función de la tensión normal. Se obtiene así una recta llamada recta intrínseca, en la cual el ángulo formado por ésta con el eje de las abscisas es llamado ángulo ϕ (ángulo de fricción interno del suelo) y la ordenada hasta el origen es el valor C (cohesión del suelo).

Esta resistencia al corte, medida por medio de este ensayo depende de la cohesión (c) del suelo y de su fricción interna, donde la cohesión es la atracción entre las partículas originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua (por lo tanto varían según su humedad) y la fricción interna es la resistencia al deslizamiento causado por el roce entre la superficie de contacto de las partículas (depende por lo tanto, de la granulometría, forma de las partículas y de la densidad del material).

La velocidad del ensayo juega un papel importante al igual que la permeabilidad de los suelos [3].

2.5. INCERTIDUMBRE

Cuando se analizan resultados de datos es importante utilizar ciertas mediciones estadísticas, que nos ayudan a establecer si el resultado obtenido se encuentra dentro de un parámetro aceptable.

La incertidumbre de una medición, se define como el intervalo estadístico dentro del cual se tiene una probabilidad de que se encuentre el valor verdadero. La incertidumbre es en cierta medida subjetiva, y se debe tomar como la duda que se tiene del resultado de la medición, debido a los errores que se cometen y que no se corrigen [4].

Son muchos los factores que determinan la exactitud y fiabilidad de los ensayos y/o las calibraciones realizados por un laboratorio, estos factores incluyen contribuciones de:

- Factores humanos
- Instalaciones y condiciones ambientales
- Métodos de ensayo y calibración y validación de métodos
- Equipo
- Trazabilidad de la medición
- El muestreo
- El manejo de los elementos de ensayo y calibración

Al estimar la incertidumbre de la medición, se considerará todos los componentes de la incertidumbre importantes para la situación dada, usando para ello métodos

de análisis adecuados. El método de evaluación de la incertidumbre debe ofrecer intervalos de confianza, pero antes de presentar el procedimiento para la evaluación de la incertidumbre, es necesario recordar algunas definiciones [5].

- **Incertidumbre de una medición:** es un parámetro asociado con el resultado de esa medición, que caracteriza la dispersión de los valores que se podrían atribuir razonablemente al mensurado.
- **Incertidumbre estándar:** es la incertidumbre del resultado de una medición expresado como una desviación estándar.
- **La evaluación tipo A:** es el método de evaluación de la incertidumbre por medio del análisis estadístico de una serie de observaciones.
- **La evaluación tipo B:** es el método de evaluación de la incertidumbre por medios distintos al análisis estadístico de una serie de observaciones.
- **La incertidumbre estándar combinada:** es la incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene de los valores de las otras cantidades, y es igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, los cuales son las varianzas o covarianzas de estas otras cantidades ponderadas de acuerdo a como el resultado de la medición varía con cambios en estas cantidades.
- **La incertidumbre expandida:** es una cantidad que define un intervalo alrededor del resultado de una medición, y que se espera abarque una fracción grande de la distribución de valores que se podrían atribuir razonablemente al mensurado.
- **Factor de cobertura:** es un factor numérico utilizado como un multiplicador de la incertidumbre estándar combinada para obtener la incertidumbre expandida.
- **El error (de medición):** es el resultado de una medición menos el valor real del mensurado.

2.5.1 Método para calcular la incertidumbre

Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar [6]

En la mayor parte de los casos, la mejor estimación del valor esperado μ_q de una cantidad q , y para la cual se han hecho n mediciones independientes q_k es la media aritmética o promedio \bar{q} :

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (2)$$

Las observaciones individuales q_k difieren en valor debido a variaciones aleatorias. La varianza experimental de las observaciones, que es un estimador de la varianza σ^2 de la distribución de probabilidad de q es:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (3)$$

Esta cantidad, junto con su raíz cuadrada positiva $s(q_k)$ (conocida como la **desviación estándar experimental**), caracterizan la variabilidad de los valores observados q_k es decir, su dispersión alrededor de la media \bar{q} .

Por otro lado, la mejor estimación de la varianza de la media $\sigma^2(q) = \frac{\sigma^2}{n}$ es

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (4)$$

La varianza experimental de la media, junto con su raíz cuadrada positiva $s(\bar{q})$, denominada la **desviación estándar experimental de la media**, cuantifican que tan bien \bar{q} estima el valor esperado de q , y se puede utilizar como una medida de la incertidumbre de q . En otras palabras, la evaluación tipo A de la incertidumbre estándar de un conjunto de mediciones x_{k_0} , tal como se definió previamente, se logra con la ecuación:

$$u(x) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})}{n(n-1)}} \quad (5)$$

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos presentados anteriormente, se desarrolló una metodología distribuida en tres etapas; primera, descripción de los materiales, para esto se trabajó con una arena a la cual se le realizaron ensayo de determinación del tamaño de las partículas del suelo y promotor modificado; segunda, descripción de ensayo de corte directo; tercera, análisis de resultados mediante los métodos estadísticos, cálculo de la incertidumbre y finalmente conclusiones.

3.1. ETAPA 1: DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

Para el estudio realizado se seleccionó una muestra de arena en el sector denominado Pescadero en el municipio de Piedecuesta Santander, la muestra fue recolectada aplicando los procedimientos recomendados por las normas establecidas para cada uno de los ensayos, las características que presenta la muestra a simple vista son: muestra con presencia de pocos finos, tamaños pequeños de gravas, al momento de su recolección presenta una humedad significativa por lo cual se procede en el laboratorio a un secado natural, con el fin de que el material fuera lo más homogéneo posible se recolecto suficiente en el mismo día para evitar cambios en las propiedades de la muestra y en los resultados.

En la Figura 5, se puede observar el material seleccionado el cual fue tamizado por el tamiz número 4 en el laboratorio.

Figura 5. Material, suelo arenoso



Los ensayos que se utilizaron para obtener las propiedades físicas del material fueron los siguientes:

- ✓ Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (I.N.V E 123 - 13).
- ✓ Proctor modificado basado en la norma (I.N.V. E – 146 – 13).

3.1.1 Determinación del tamaño de las partículas del suelo

Se realizó el ensayo según la norma I.N.V E 123 - 13; Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos, la cual tiene como objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del suelo.

A continuación, en la tabla 1, se muestran los datos iniciales para el ensayo de determinación del tamaño de las partículas del suelo.

Tabla 1. Datos iniciales para ensayo “determinación del tamaño de las partículas del suelo”

Peso inicial de la muestra	1000 [gr]
Peso después del lavado y sacado al horno	994 [gr]

Los resultados obtenidos del ensayo de determinación del tamaño de las partículas del suelo se muestran en la tabla 2.

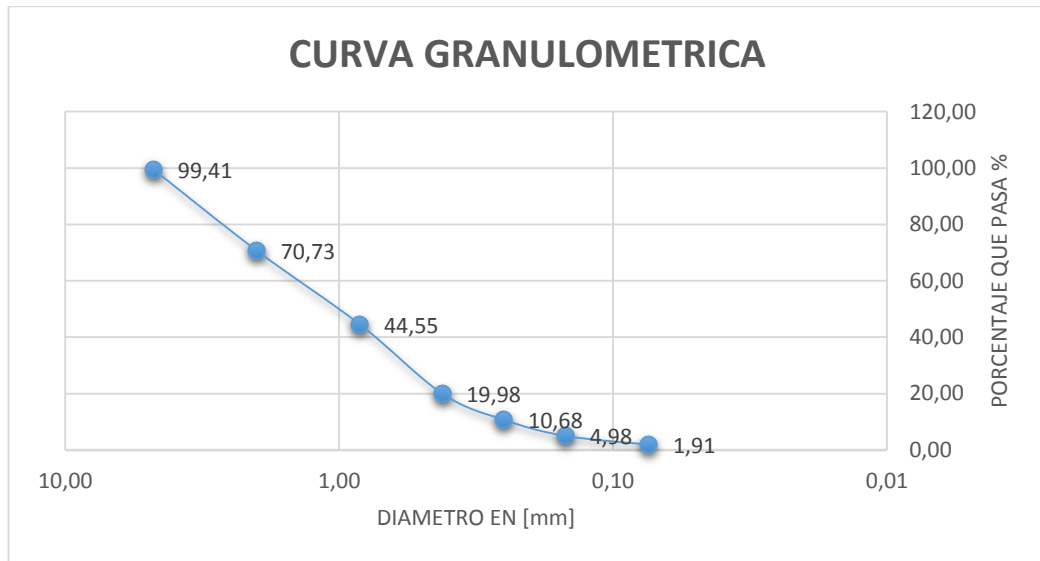
Tabla 2. Pesos retenidos en cada tamiz

No. Malla	Abertura [mm]	W del suelo retenido [gr]	% Retenido parcial	% Que pasa
No. 4	4.75	5.90	0.59	99.41
No. 10	2.00	286.80	28.68	70.73
No. 20	0.84	261.80	26.18	44.55
No. 40	0.42	245.70	24.57	19.98
No. 60	0.25	92.98	9.30	10.68
No. 100	0.15	56.97	5.70	4.98
No. 200	0.07	30.76	3.08	1.91
Fondo		11.20	1.12	
TOTAL		992.11		

Cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman, los resultados del análisis se presentan en una gráfica denominada "log-normal" por tener en la horizontal una escala logarítmica y en la vertical una escala natural, las abscisas representan el diámetro de la malla y las ordenadas representan el porcentaje que pasa por cada malla.

A continuación, en la figura 6, se grafica la Curva Granulométrica; los porcentajes de grava, arena, limo y partículas de arcilla presentes en el suelo se obtienen de la curva de distribución granulométrica.

Figura 6. Curva granulométrica



De la anterior grafica obtenemos los límites entre gruesos y finos.

GRUESO: diámetro mayor al 0.075mm

- Gravas (diámetro > 4.75mm)
- Arenas (0.075mm < diámetro < 4.75mm)

FINOS: diámetro menor al 0.075mm

- Limos (0.002mm < diámetro < 0.075mm)
- Arcillas (diámetro < 0.002mm)

% Gravas: % retenidos en el tamiz N° 4.

% Gravas: 0.59%

% Arenas: suma tamiz N°10 hasta tamiz N° 200

% Arenas: 97.50%

% Finos: Pasa 200

% Finos: 1.12%

Luego de realizar la gráfica granulométrica con los datos de la tabla anterior, se puede apreciar que esta se usa para comparar diferentes tipos de suelos. Además, tres parámetros básicos del suelo se determinan con estas curvas que se usan para clasificar los suelos granulares; estos parámetros son:

- ✓ Diámetros efectivos.
- ✓ Coeficiente de Uniformidad (Cu).
- ✓ Coeficiente de Curvatura (Cc)

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondientes al 10% de finos se define como diámetro efectivo o D10.

El coeficiente de uniformidad está dado por la relación:

$$Cu = \frac{D60}{D10} \quad (6)$$

Donde:

Cu = coeficiente de uniformidad

D60 = diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva

El coeficiente de curvatura se expresa como:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (7)$$

Donde:

Cc = coeficiente de curvatura

D30 = diámetro correspondiente al 30% de finos

El método utilizado para la clasificación del suelo es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras.

Coeficientes de Uniformidad y Concavidad (SUCS)

Gravas

$$C_u > 4$$

$$C_c \text{ entre } 1 \text{ y } 3$$

Arenas

$$C_u > 6$$

$$C_c \text{ entre } 1 \text{ y } 3$$

Deben cumplir las dos condiciones, para que el suelo sea bien gradado.

$$D_x = \frac{D_2 - D_1}{\text{Log } \%_2 - \text{Log } \%_1} * \text{Log } \%_{D_x} - \text{Log } \%_1 + D_1 \quad (8)$$

Según la ecuación (8) se hallan los diámetros efectivos D10, D30 y D60 y los respectivos coeficientes de uniformidad y curvatura.

$$D_{10} = \frac{0.15 - 0.25}{\text{Log } 4.98 - \text{Log } 10.68} * \text{Log } 10 - \text{Log } 10.68 + 0.15$$

$$D_{10} = 0.14$$

$$D_{30} = 1.04$$

$$D_{60} = 1.58$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.58}{0.14} = \mathbf{11.28}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{1.04^2}{1.58 * 0.14} = \mathbf{4.88}$$

Tabla 3. Clasificación de suelos según el método SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO				
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos que requieren doble símbolo.		
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.				
	ARENAS	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	$< 5\% \rightarrow$ GW, GP, SW, SP. $> 12\% \rightarrow$ GM, GC, SM, SC.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
		(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.				
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	5 al 12% \rightarrow casos límite que requieren usar doble símbolo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.		
		(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.				
		Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)				Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.

Fuente: Quesada, S. (2008). Clasificación de un suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. [En línea]. Disponible: <http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/file/3255755/informe>.

Gracias al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS presentado en la tabla 3, se clasifica el suelo de grano grueso, dado que más de la mitad del material queda retenido en el tamiz número 200 y es considerada una arena dado que más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) y con relación a los valores hallados de Cu y Cc sería una un **SP** Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.

A continuación, en la tabla 4, se resumen los datos obtenidos del ensayo realizado a la muestra de suelo.

Tabla 4. Datos obtenidos del ensayo de determinación del tamaño de las partículas del suelo

% de GRAVA	0.59 %
% de ARENA	97.50 %
% de FINO	1.12 %
Cu	11.28
Cc	4.88
CLASIFICACION DE SUELO (SUCS)	SP

3.1.2 Ensayo de Proctor Modificado

Este se llevó a cado siguiendo los procedimientos según la norma I.N.V E 146 – 13; Determinación de los valores de equilibrio de la masa unitaria densidad seca y de la humedad de un suelo, la cual tiene como objetivo la determinación de la densidad máxima y humedad optima, estos valores brindan una indicación de las condiciones probables de las muestras para los ensayos de corte directo.

En la tabla 5, se presentan los datos iniciales para el ensayo.

Tabla 5. Datos iniciales para ensayo Proctor Modificado

Peso inicial de la muestra	10 [Kg]
Peso Molde Metálico	4167 [Kg]
Altura del Molde Metálico	11.5 [cm]
Diámetro del Molde Metálico	10 [cm]

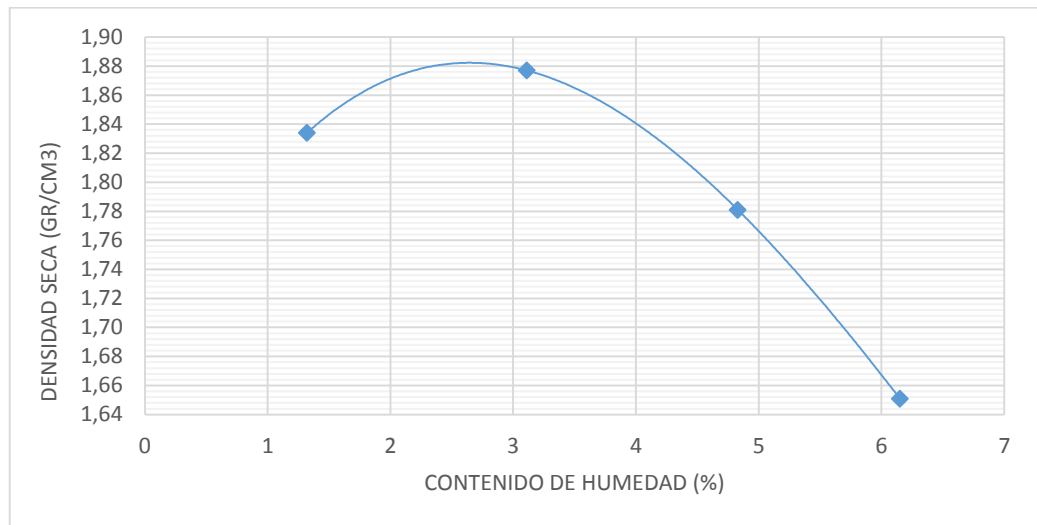
Tabla 6 Resultados ensayo Proctor Modificado

VOLUMEN DEL MOLDE :		903.21	cm3						
PRUEBA N°		1		2		3		4	
Peso suelo humedo + Peso	gr	5845		5915		5853		5750	
Peso molde	gr	4167		4167		4167		4167	
Peso suelo humedo compactado	gr	1678		1748		1686		1583	
Peso Tara	gr	5.4	8.3	5.6	5.4	4.7	4.4	8.5	4.5
Peso suelo humedo + tara	gr	48.1	49.9	46.9	43.8	46.9	44.7	44.8	48
Peso del suelo seco + tara	gr	47.6	49.3	45.7	42.6	44.9	42.9	42.6	45.6
Peso del agua	gr	0.5	0.6	1.2	1.2	2	1.8	2.2	2.4
Peso del suelo seco	gr	42.2	41	40.1	37.2	40.2	38.5	34.1	41.1
Contenido de agua	%	1.18	1.46	2.99	3.23	4.98	4.68	6.45	5.84
Promedio Contenido de agua	%	1.32		3.11		4.83		6.15	
Densidad suelo humedo	gr/cm3	1.86		1.94		1.87		1.75	
Densidad suelo seco	gr/cm3	1.834		1.877		1.781		1.651	
						DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)		2.8	
						HUMEDAD OPTIMA (%)		1.88	

El ensayo Proctor ayuda con la compactación con la cual se trabaja en los ensayos de corte directo, la compactación es un método ideal para mejorar las propiedades de algunos suelos utilizados en obras de construcción y carreteras; conocer el contenido de % humedad optima es de mucha importancia ya que es de gran utilidad a la hora de buscar una solución para mejorar las propiedades resistentes a la fuerza cortante y densidad del suelo.

A continuación, en la figura 7, se grafica la densidad seca (gr/cm³) versus el contenido de humedad, así se puede calcular el % de humedad óptimo cuando la gráfica alcanza su punto máximo.

Figura 7. Curva de Compactación de Proctor Modificado



En la curva se puede ver que el punto máximo de porcentaje de humedad óptimo y la densidad máxima para la muestra, con estos valores de la gráfica se trabajan la compactación de los ensayos de corte directo.

3.2. ETAPA 2: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El procedimiento se realizó según la norma I.N.V E 154 -13; determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (consolidado drenado), esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada.

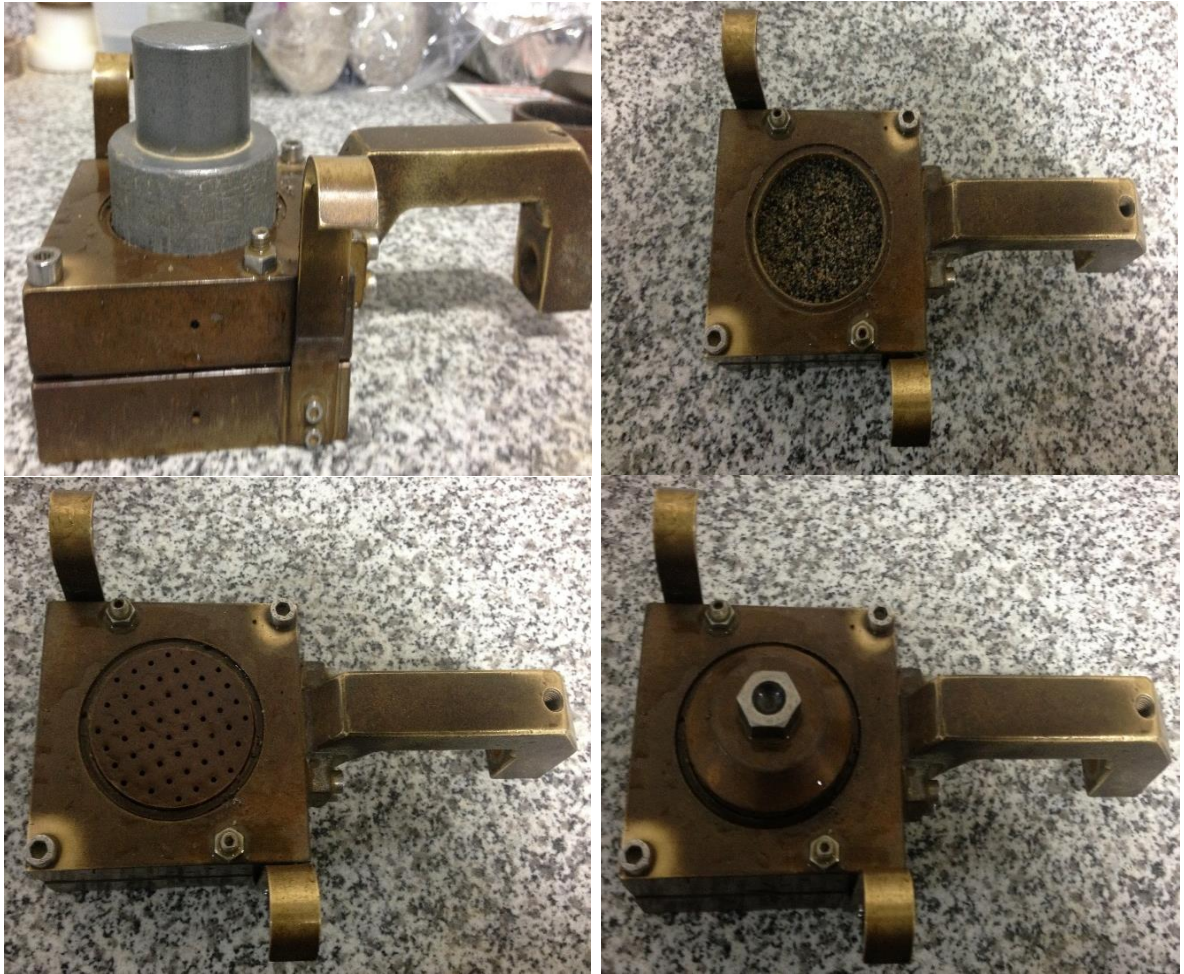
La preparación de la muestra se efectuó de tal manera que se mantenga la misma humedad, densidad, masa y compactación en todos los especímenes, el control de la humedad se hace calculando la humedad del suelo natural y luego se le adhiere la cantidad de agua necesaria para que la muestra tenga la humedad óptima calculada anteriormente.

Las muestras de suelos son compactadas, la compactación se hizo con las condiciones de humedad y densidad deseadas. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor para recortarlas de acuerdo según la norma. La compactación se efectúa en tres capas cada una de 25 golpes.

Se ensambla la muestra en la caja como se muestra en el procedimiento de la figura 8.

Figura 8. Procedimiento montaje de la muestra en la caja de corte directo





Dado que se debe permitir la consolidación de la muestra bajo una fuerza normal, inmediatamente después y tan pronto como sea posible aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, permitiendo el drenaje y por lo tanto la consolidación. El nivel del agua se debe mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal manera que la muestra esté saturada en todo momento.

Luego es aplicada la fuerza o esfuerzo normal que se aplicó a la muestra son las cargas estándares según la norma 8 kg, 16 kg y 32 kg.

Para el cálculo de la velocidad necesaria para efectuar el corte se tuvo en cuenta las indicaciones de la norma la cual nos dice que por ser una arena densa puede no presentar una curva definida de tiempo-asentamiento; para el tiempo de falla por tener un drenaje rápido puede usarse un tiempo de 10 minutos.

La magnitud del desplazamiento estimado hasta la ruptura si es un suelo fino granular la norma pide tomar $D_f = 5 \text{ mm}$

Entonces:

$$Velocidad = \frac{Desplazamiento}{Tiempo de Falla}$$

$$Velocidad = \frac{5 \text{ mm}}{10 \text{ minutos}}$$

$$Velocidad = 0.5 \frac{\text{mm}}{\text{minutos}}$$

3.3. ETAPA 3: RESULTADOS GENERALES

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados, siguiendo la metodología planteada.

3.3.1 Análisis y resultados del Operario 1

A continuación, los resultados obtenidos por el primer operario, en la tabla 7, se presentan los datos iniciales para los ensayos de corte directo.

Tabla 7. Datos iniciales ensayo de corte directo, operario 1

Tipo de Suelo	Compactado	
Masa del Anillo	115.70	gr
Diámetro de la muestra Lo	6	cm
Altura	2.30	cm
Área	28.27	cm ²
Volumen Inicial	65.03	cm ³
Masa Húmeda + Anillo	120.96	gr
Humedad de la Muestra	3.5	%
Densidad Máxima	1.86	gr/cm ³

Se realizan los ensayos correspondientes a cada carga 8 kg, 16 kg y 32 kg, se hace en análisis correspondiente para determinar los parámetros del ensayo de corte directo de ángulo de fricción y cohesión.

Tabla 8. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 8 kg, operario 1

CARGA NORMAL				8			kg
Lectura Deformacion Horizontal	Lectura Deformacion Vertical	Deformacion Horizontal %	Area Corregida	Lectura de Carga	Esfuerzo Cortante	Deformacion Vertical	Esfuerzo Normal
mm	0.0001"	$\Delta L/L_0$ [cm]	cm ²	kg	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²
0.00	0	0.00	28.27	0.00	0.00	0.00	0.28
0.25	-2	0.00	28.25	5.40	0.19	0.00	0.28
0.50	-8	0.01	28.23	10.70	0.38	-0.01	0.28
0.75	-14	0.01	28.21	12.05	0.43	-0.02	0.28
1.00	-22	0.02	28.19	13.75	0.49	-0.02	0.28
1.25	-25	0.02	28.17	14.25	0.51	-0.03	0.28
1.50	-20	0.03	28.15	15.80	0.56	-0.02	0.28
1.75	-15	0.03	28.13	17.55	0.62	-0.02	0.28
2.00	-3	0.03	28.11	18.05	0.64	0.00	0.28
2.25	5	0.04	28.09	18.40	0.65	0.01	0.28
2.50	15	0.04	28.07	19.85	0.71	0.02	0.28
2.75	28	0.05	28.05	20.05	0.71	0.03	0.29
3.00	39	0.05	28.03	20.85	0.74	0.04	0.29
3.25	42	0.05	28.01	20.35	0.73	0.05	0.29
3.50	59	0.06	28.00	19.95	0.71	0.07	0.29
3.75	60	0.06	27.98	18.55	0.66	0.07	0.29
4.00	65	0.07	27.96	17.95	0.64	0.07	0.29
4.25	68	0.07	27.94	17.30	0.62	0.08	0.29
4.50	69	0.08	27.92	17.15	0.61	0.076	0.29
4.75	70	0.08	27.90	16.10	0.58	0.077	0.29
5.00	75	0.08	27.88	15.05	0.54	0.083	0.29

ASENTAMIENTO	
62	
0.07	mm

CARGA MAXIMA kg	20.85
CORTANTE kg/cm²	NORMAL kg/cm²
0.7437	0.2854

Tabla 9. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 16 kg, operario 1

CARGA NORMAL				16			Kg
Lectura Deformacion Horizontal	Lectura Deformacion Vertical	Deformacion Horizontal %	Area Corregida	Lectura de Carga	Esfuerzo Cortante	Deformacion Vertical	Esfuerzo Normal
mm	0.0001"	$\Delta L/L_0$ [cm]	cm ²	kg	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²
0.00	0	0.00	28.27	0.00	0.00	0.00	0.57
0.25	0	0.00	28.25	7.55	0.27	0.00	0.57
0.50	0	0.01	28.23	9.85	0.35	0.00	0.57
0.75	-12	0.01	28.21	11.95	0.42	-0.01	0.57
1.00	-22	0.02	28.19	12.55	0.45	-0.02	0.57
1.25	-33	0.02	28.17	13.95	0.50	-0.04	0.57
1.50	-37	0.03	28.15	13.95	0.50	-0.04	0.57
1.75	-23	0.03	28.13	14.00	0.50	-0.03	0.57
2.00	-16	0.03	28.11	15.65	0.56	-0.02	0.57
2.25	-12	0.04	28.09	17.25	0.61	-0.01	0.57
2.50	-8	0.04	28.07	18.05	0.64	-0.01	0.57
2.75	-5	0.05	28.05	19.95	0.71	-0.01	0.57
3.00	-1	0.05	28.03	20.05	0.72	0.00	0.57
3.25	15	0.05	28.01	20.35	0.73	0.02	0.57
3.50	23	0.06	28.00	21.85	0.78	0.03	0.57
3.75	35	0.06	27.98	22.15	0.79	0.04	0.57
4.00	60	0.07	27.96	22.95	0.82	0.07	0.57
4.25	78	0.07	27.94	24.30	0.87	0.09	0.57
4.50	79	0.08	27.92	25.60	0.92	0.09	0.57
4.75	82	0.08	27.90	25.90	0.93	0.09	0.57
5.00	90	0.08	27.88	26.05	0.93	0.10	0.57
5.25	105	0.09	27.86	26.25	0.94	0.12	0.57
5.50	111	0.09	27.84	25.65	0.92	0.12	0.57
5.75	112	0.10	27.82	24.45	0.88	0.12	0.58
6.00	115	0.10	27.80	23.80	0.86	0.13	0.58
6.25	118	0.10	27.78	22.45	0.81	0.13	0.58
6.50	120	0.11	27.76	22.00	0.79	0.13	0.58

ASENTAMIENTO	
71	
0.08	mm

CARGA MAXIMA kg	26.25
CORTANTE kg/cm ²	NORMAL kg/cm ²
0.9423	0.5743

Tabla 10. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 32 kg, operario 1

CARGA NORMAL				32			kg
Lectura Deformacion Horizontal	Lectura Deformacion Vertical	Deformacion Horizontal %	Area Corregida	Lectura de Carga	Esfuerzo Cortante	Deformacion Vertical	Esfuerzo Normal
mm	0.0001"	$\Delta L/L_0$ [cm]	cm ²	kg	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²
0.00	0	0.00	28.27	0.00	0.00	0.00	1.13
0.25	0	0.00	28.25	6.50	0.23	0.00	1.13
0.50	-13	0.01	28.23	8.70	0.31	-0.01	1.13
0.75	-27	0.01	28.21	11.10	0.39	-0.03	1.13
1.00	-35	0.02	28.19	13.45	0.48	-0.04	1.14
1.25	-44	0.02	28.17	15.70	0.56	-0.05	1.14
1.50	-55	0.03	28.15	16.60	0.59	-0.06	1.14
1.75	-58	0.03	28.13	18.85	0.67	-0.06	1.14
2.00	-35	0.03	28.11	19.55	0.70	-0.04	1.14
2.25	-22	0.04	28.09	20.00	0.71	-0.02	1.14
2.50	-12	0.04	28.07	23.05	0.82	-0.01	1.14
2.75	-8	0.05	28.05	25.65	0.91	-0.01	1.14
3.00	10	0.05	28.03	27.85	0.99	0.01	1.14
3.25	17	0.05	28.01	28.00	1.00	0.02	1.14
3.50	33	0.06	28.00	29.50	1.05	0.04	1.14
3.75	43	0.06	27.98	32.75	1.17	0.05	1.14
4.00	52	0.07	27.96	34.00	1.22	0.06	1.14
4.25	62	0.07	27.94	35.70	1.28	0.07	1.15
4.50	88	0.08	27.92	38.75	1.39	0.10	1.15
4.75	90	0.08	27.90	39.05	1.40	0.10	1.15
5.00	118	0.08	27.88	40.30	1.45	0.13	1.15
5.25	131	0.09	27.86	40.25	1.44	0.14	1.15
5.50	142	0.09	27.84	40.15	1.44	0.16	1.15
5.75	174	0.10	27.82	40.35	1.45	0.19	1.15
6.00	199	0.10	27.80	39.75	1.43	0.22	1.15
6.25	205	0.10	27.78	38.05	1.37	0.23	1.15
6.50	217	0.11	27.76	36.50	1.31	0.24	1.15

ASENTAMIENTO	
125	
0.14	mm

CARGA MAXIMA kg	40.35
CORTANTE kg/cm ²	NORMAL kg/cm ²
1.4505	1.1503

A continuación, se realizaron las gráficas correspondientes para el cálculo del esfuerzo cortante máximo de los tres ensayos para poder graficar y hallar los valores de ángulo de fricción. En la Figura 9, se muestran los tres ensayos, de esta grafica tomaremos la carga máxima y por ende el mayor esfuerzo cortante de cada curva lo cual están en la tabla 11.

Figura 9. Grafica cortante ensayo número 1, operario 1

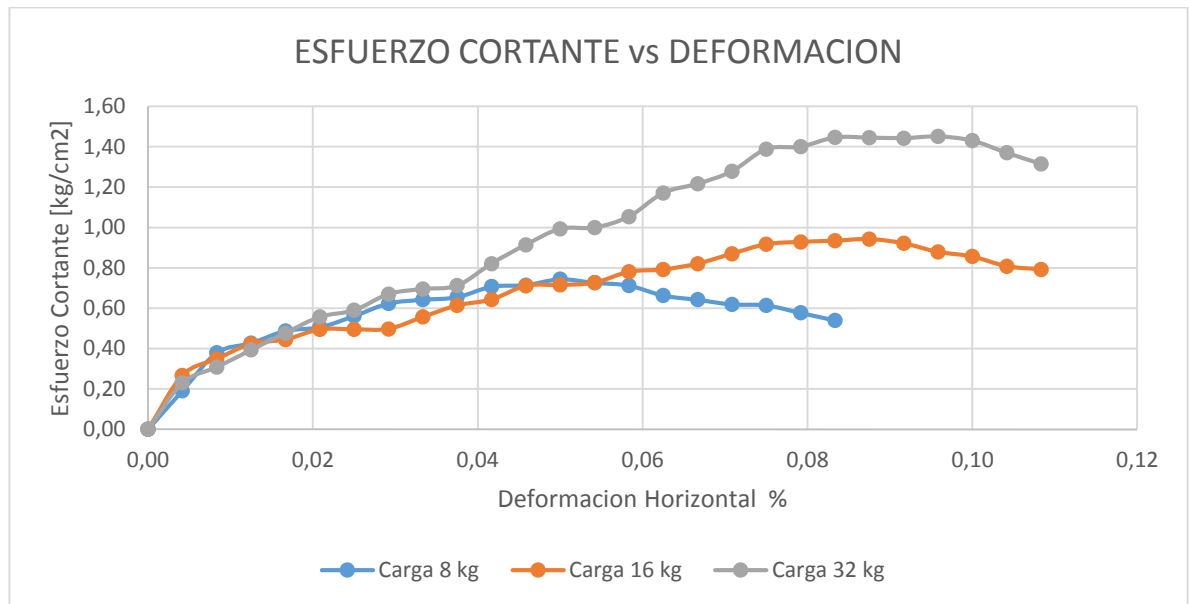


Figura 10. Grafica deformación ensayo número 1, operario 1

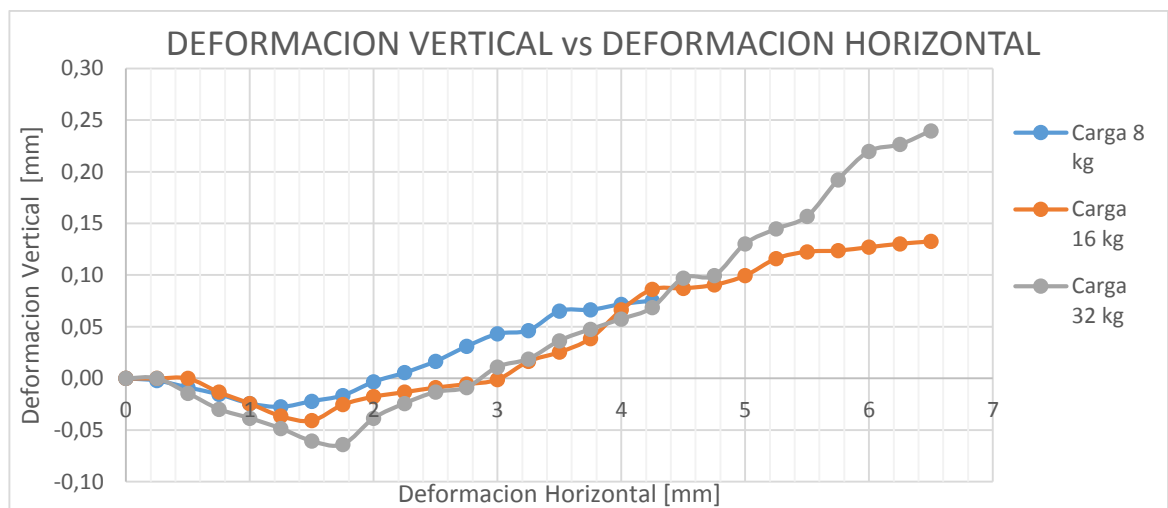
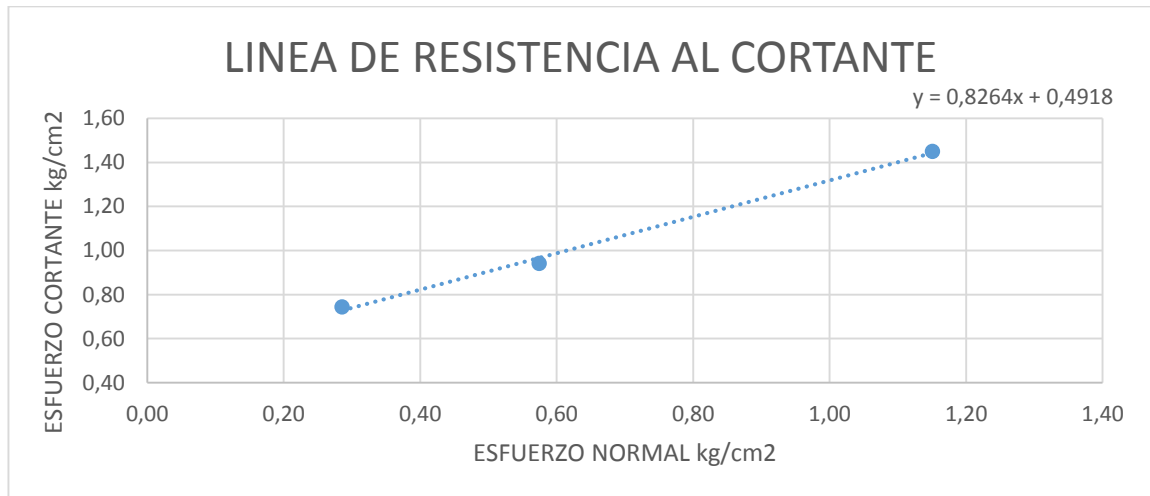


Tabla 11. Datos de los puntos máximos para cada ensayo, operario 1

CARGA	PUNTO MAXIMO ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
KG	Kg/cm2	kg/cm2
8	0.7437	0.2854
16	0.9423	0.5743
32	1.4505	1.1503

Los datos que tenemos en la tabla anterior nos sirven para graficar la resistencia al corte lo cual será de la siguiente forma:

Figura 11. Grafica línea de resistencia al corte, operario 1



La Figura 11, nos permite encontrar el valor del ángulo de fricción interno entre partículas ajustada a una regresión lineal, teniendo en cuenta la ecuación planteada por Coulomb.

$$\tau = c + \sigma * \tan\theta$$

$$y = 0.4918 + 0.8264 * \tan\theta$$

$$c = 0 \text{ (por ser un suelo no plastico)}$$

$$\phi = \tan^{-1}(0.8264)$$

$$\phi = 39.57^\circ$$

Se realizó el procedimiento igual al planteado para los 20 ensayos a continuación se muestran los resultados finales.

Tabla 12. Resultados ensayo corte directo, operario 1

#	8 KG		16 KG		32 KG		ANGULO DE FRICCION °
	ESFUERZO CORTANTE MAXIMO	ESFUERZO NORMAL MAXIMO	ESFUERZO CORTANTE MAXIMO	ESFUERZO NORMAL MAXIMO	ESFUERZO CORTANTE MAXIMO	ESFUERZO NORMAL MAXIMO	
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	
1	0.744	0.285	0.956	0.574	1.450	1.150	39.57
2	0.750	0.286	0.956	0.575	1.413	1.149	37.68
3	0.769	0.286	1.042	0.574	1.476	1.148	39.03
4	0.725	0.286	0.962	0.574	1.375	1.149	36.81
5	0.730	0.286	0.958	0.571	1.389	1.147	37.33
6	0.772	0.286	0.939	0.574	1.413	1.148	37.10
7	0.743	0.286	0.944	0.574	1.450	1.149	39.63
8	0.733	0.286	0.929	0.572	1.466	1.149	40.75
9	0.734	0.286	0.927	0.572	1.430	1.149	39.23
10	0.717	0.285	0.921	0.574	1.439	1.147	40.28
11	0.779	0.285	0.954	0.570	1.411	1.146	36.60
12	0.726	0.285	1.068	0.574	1.493	1.149	40.95
13	0.737	0.286	1.102	0.571	1.406	1.148	36.49
14	0.737	0.286	1.000	0.574	1.466	1.147	40.08
15	0.722	0.285	0.960	0.570	1.411	1.146	38.58
16	0.777	0.285	1.001	0.574	1.481	1.146	39.38
17	0.725	0.286	1.009	0.574	1.466	1.147	40.42
18	0.763	0.286	1.109	0.574	1.508	1.148	40.04
19	0.745	0.286	0.976	0.574	1.488	1.146	40.96
20	0.719	0.286	1.009	0.574	1.437	1.145	39.44

En estos ensayos se observa una variación en los resultados finales de ángulo de fricción, debido a golpes en la máquina y dificultades a la hora de tomar los datos.

Tabla 13. Análisis estadístico ángulo de fricción

ANGULO DE FRICCION °	
NUMERO DE DATOS	20
MAXIMO	40.96
MINIMO	36.49
RANGO	4.48
PROMEDIO	39.02
DESVIACION ESTANDAR	1.504

Los ángulos de fricción presentan un máximo de 40.96 y un mínimo de 36.49, de acuerdo a CASAGRANDE la arena presenta un ángulo de fricción entre 36° y 40° [7] lo cual indica que los resultados son aceptables.

Tabla 14. Análisis estadístico operario 1

CARGA 8 kg	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
	MAXIMO	MAXIMO
	kg/cm2	kg/cm2
NUMERO DE DATOS	20	20
MAXIMO	0.779	0.286
MINIMO	0.717	0.285
RANGO	0.062	0.001
PROMEDIO	0.742	0.286
DESVIACION ESTANDAR	0.020	0.000
CARGA 16 kg	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
	MAXIMO	MAXIMO
	kg/cm2	kg/cm2
NUMERO DE DATOS	20	20
MAXIMO	1.109	0.575
MINIMO	0.921	0.570
RANGO	0.189	0.005
PROMEDIO	0.986	0.573
DESVIACION ESTANDAR	0.056	0.002
CARGA 32 kg	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
	MAXIMO	MAXIMO
	kg/cm2	kg/cm2
NUMERO DE DATOS	20	20
MAXIMO	1.508	1.150
MINIMO	1.375	1.145
RANGO	0.134	0.005
PROMEDIO	1.444	1.148
DESVIACION ESTANDAR	0.037	0.001

En la tabla 14, se puede ver el análisis estadístico realizado a los resultados de los 20 ensayos del primero operador, la carga de 16 kg es la que presenta un mayor rango de variación entre sus resultados esto se debe a que a la hora de fallar los ensayos se presentaban vibraciones a causa de otras máquinas, los esfuerzos cortantes máximos obtenidos para cada carga son aceptables según la norma para la clasificación del suelo.

3.3.2 Análisis y resultados del Operario 2

A continuación, los resultados obtenidos por el segundo operario, en la tabla 15, se presentan los datos iniciales para los ensayos de corte directo.

Tabla 15. Datos iniciales ensayo de corte directo, operario 2

Tipo de Suelo	Compactado	
Masa del Anillo	115.70	gr
Diámetro de la muestra Lo	6	cm
Altura	2.30	cm
Área	28.27	cm ²
Volumen Inicial	65.03	cm ³
Masa Húmeda + Anillo	120.96	gr
Humedad de la Muestra	3.5	%
Densidad Máxima	1.86	gr/cm ³

Se realizan los ensayos correspondientes a cada carga 8 kg, 16 kg y 32 kg, se hace en análisis correspondiente para determinar los parámetros del ensayo de corte directo de ángulo de fricción y cohesión.

Tabla 16. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 8 kg, operario 2

CARGA NORMAL				8			kg
Lectura Deformacion Horizontal	Lectura Deformacion Vertical	Deformacion Horizontal %	Area Corregida	Lectura de Carga	Esfuerzo Cortante	Deformacion Vertical	Esfuerzo Normal
mm	0.0001"	$\Delta L/L_0$ [cm]	cm ²	kg	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²
0,00	0	0,00	28,27	0,00	0,00	0,00	0,28
0,25	-2	0,00	28,25	5,47	0,19	0,00	0,28
0,50	-10	0,01	28,23	6,55	0,23	-0,01	0,28
0,75	-10	0,01	28,21	10,25	0,36	-0,01	0,28
1,00	0	0,02	28,19	13,55	0,48	0,00	0,28
1,25	15	0,02	28,17	15,45	0,55	0,02	0,28
1,50	37	0,03	28,15	16,60	0,59	0,04	0,28
1,75	55	0,03	28,13	17,20	0,61	0,06	0,28
2,00	80	0,03	28,11	17,65	0,63	0,09	0,28
2,25	110	0,04	28,09	18,30	0,65	0,12	0,28
2,50	125	0,04	28,07	18,25	0,65	0,14	0,28
2,75	150	0,05	28,05	18,60	0,66	0,17	0,29
3,00	179	0,05	28,03	18,05	0,64	0,20	0,29
3,25	205	0,05	28,01	18,15	0,65	0,23	0,29
3,50	227	0,06	28,00	17,95	0,64	0,25	0,29
3,75	250	0,06	27,98	17,75	0,63	0,28	0,29
4,00	262	0,07	27,96	17,40	0,62	0,29	0,29
4,25	285	0,07	27,94	17,35	0,62	0,31	0,29
4,50	292	0,08	27,92	17,30	0,62	0,322	0,29
4,75	299	0,08	27,90	16,10	0,58	0,330	0,29
5,00	306	0,08	27,88	15,05	0,54	0,338	0,29

ASENTAMIENTO	
30	
0,03	mm

CARGA MAXIMA kg	18,60
CORTANTE kg/cm2	NORMAL kg/cm2
0,6630	0,2852

Tabla 17. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 16 kg, operario 2

CARGA NORMAL				16			Kg
Lectura Deformacion Horizontal	Lectura Deformacion Vertical	Deformacion Horizontal %	Area Corregida	Lectura de Carga	Esfuerzo Cortante	Deformacion Vertical	Esfuerzo Normal
mm	0.0001"	$\Delta L/L_0$ [cm]	cm ²	kg	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²
0,00	0	0,00	28,27	0,00	0,00	0,00	0,57
0,25	-10	0,00	28,25	5,12	0,18	-0,01	0,57
0,50	-5	0,01	28,23	8,25	0,29	-0,01	0,57
0,75	-2	0,01	28,21	10,95	0,39	0,00	0,57
1,00	0	0,02	28,19	11,85	0,42	0,00	0,57
1,25	10	0,02	28,17	15,65	0,56	0,01	0,57
1,50	19	0,03	28,15	16,24	0,58	0,02	0,57
1,75	29	0,03	28,13	17,85	0,63	0,03	0,57
2,00	48	0,03	28,11	20,25	0,72	0,05	0,57
2,25	78	0,04	28,09	20,75	0,74	0,09	0,57
2,50	99	0,04	28,07	21,35	0,76	0,11	0,57
2,75	120	0,05	28,05	22,45	0,80	0,13	0,57
3,00	125	0,05	28,03	22,95	0,82	0,14	0,57
3,25	145	0,05	28,01	24,75	0,88	0,16	0,57
3,50	175	0,06	28,00	25,05	0,89	0,19	0,57
3,75	180	0,06	27,98	25,85	0,92	0,20	0,57
4,00	220	0,07	27,96	26,05	0,93	0,24	0,57
4,25	260	0,07	27,94	25,95	0,93	0,29	0,57
4,50	268	0,08	27,92	25,6	0,92	0,30	0,57
4,75	299	0,08	27,90	24,90	0,89	0,33	0,57
5,00	301	0,08	27,88	24,45	0,88	0,33	0,57
5,25	310	0,09	27,86	24,20	0,87	0,34	0,57
5,50	315	0,09	27,84	24,15	0,87	0,35	0,57

ASENTAMIENTO	
60	
0,07	mm

CARGA MAXIMA kg	26,05
CORTANTE kg/cm²	NORMAL kg/cm²
0,9318	0,5723

Tabla 18. Datos para el primer ensayo de corte directo carga de 32 kg, operario 2

CARGA NORMAL				32			kg
Lectura Deformacion Horizontal	Lectura Deformacion Vertical	Deformacion Horizontal %	Area Corregida	Lectura de Carga	Esfuerzo Cortante	Deformacion Vertical	Esfuerzo Normal
mm	0.0001"	$\Delta L/L_0$ [cm]	cm ²	kg	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²
0,00	0	0,00	28,27	0,00	0,00	0,00	1,13
0,25	-15	0,00	28,25	7,15	0,25	-0,02	1,13
0,50	-25	0,01	28,23	8,35	0,30	-0,03	1,13
0,75	-10	0,01	28,21	12,10	0,43	-0,01	1,13
1,00	-5	0,02	28,19	13,55	0,48	-0,01	1,14
1,25	0	0,02	28,17	15,90	0,56	0,00	1,14
1,50	15	0,03	28,15	18,15	0,64	0,02	1,14
1,75	22	0,03	28,13	19,50	0,69	0,02	1,14
2,00	25	0,03	28,11	20,80	0,74	0,03	1,14
2,25	38	0,04	28,09	21,40	0,76	0,04	1,14
2,50	68	0,04	28,07	22,45	0,80	0,08	1,14
2,75	99	0,05	28,05	23,90	0,85	0,11	1,14
3,00	105	0,05	28,03	26,35	0,94	0,12	1,14
3,25	120	0,05	28,01	29,90	1,07	0,13	1,14
3,50	174	0,06	28,00	32,75	1,17	0,19	1,14
3,75	186	0,06	27,98	34,75	1,24	0,21	1,14
4,00	199	0,07	27,96	34,95	1,25	0,22	1,14
4,25	210	0,07	27,94	35,65	1,28	0,23	1,15
4,50	243	0,08	27,92	36,00	1,29	0,27	1,15
4,75	273	0,08	27,90	36,20	1,30	0,30	1,15
5,00	273	0,08	27,88	37,75	1,35	0,30	1,15
5,25	280	0,09	27,86	38,05	1,37	0,31	1,15
5,50	289	0,09	27,84	38,95	1,40	0,32	1,15
5,75	299	0,10	27,82	38,05	1,37	0,33	1,15
6,00	300	0,10	27,80	37,95	1,37	0,33	1,15
6,25	300	0,10	27,78	37,40	1,35	0,33	1,15
6,50	315	0,11	27,76	36,50	1,31	0,35	1,15

ASENTAMIENTO	
112	
0,12	mm

CARGA MAXIMA kg	38,95
CORTANTE kg/cm²	NORMAL kg/cm²
1,3992	1,1495

A continuación, se realizaron las gráficas correspondientes para el cálculo del esfuerzo cortante máximo de los tres ensayos para poder graficar y hallar los valores de ángulo de fricción. En la Figura 12, se muestran los tres ensayos, de esta grafica tomaremos la carga máxima y por ende el mayor esfuerzo cortante de cada curva lo cual se presenta en la tabla 19.

Figura 12. Grafica cortante ensayo número 1, operario 2

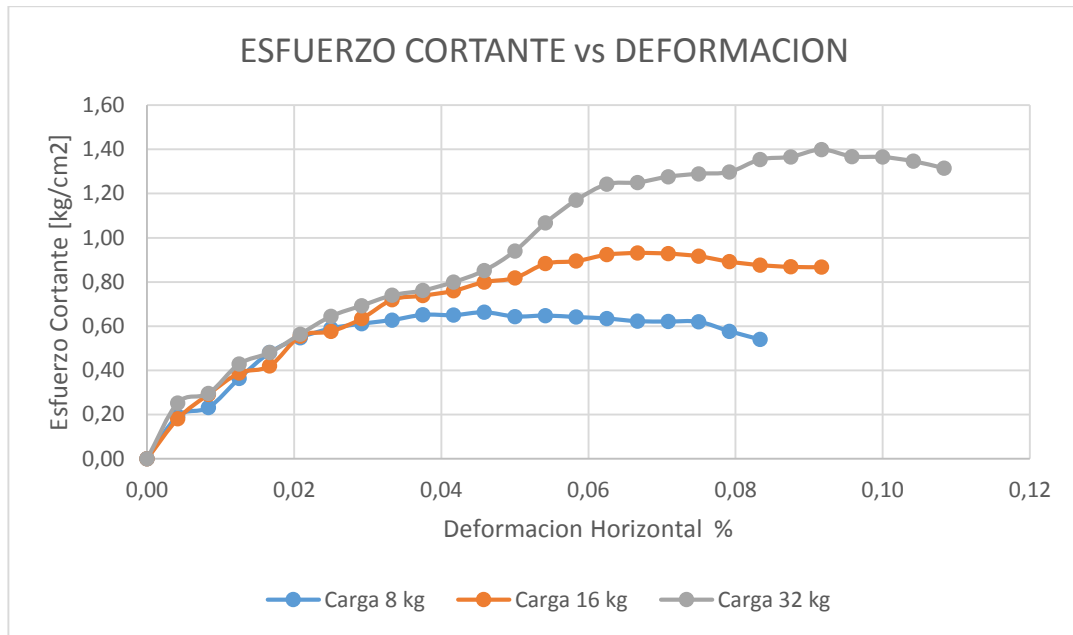


Figura 13. Grafica deformación ensayo número 1, operario 2

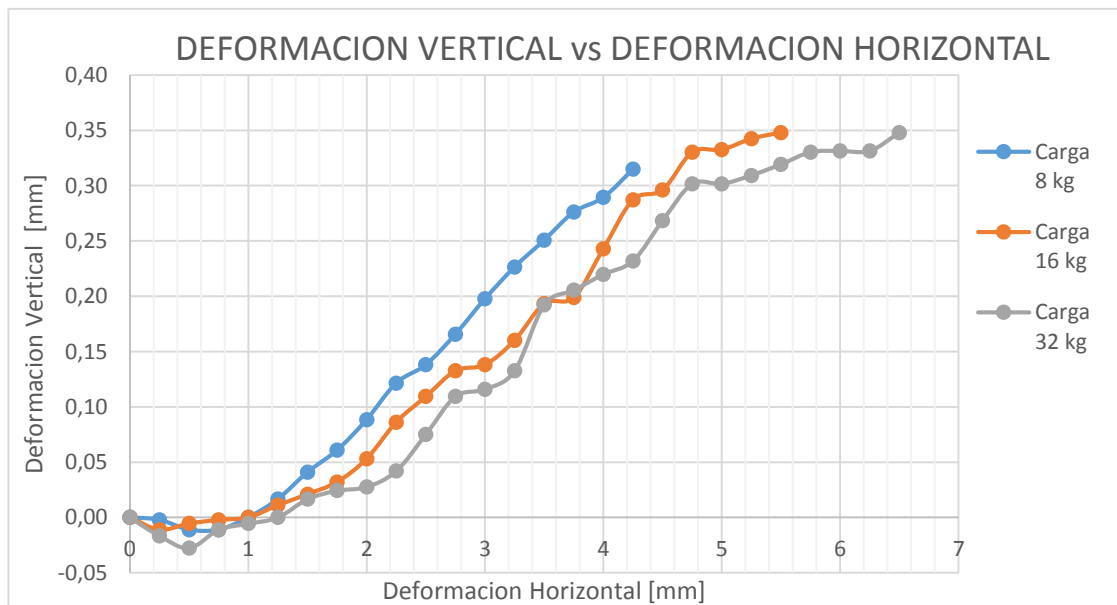
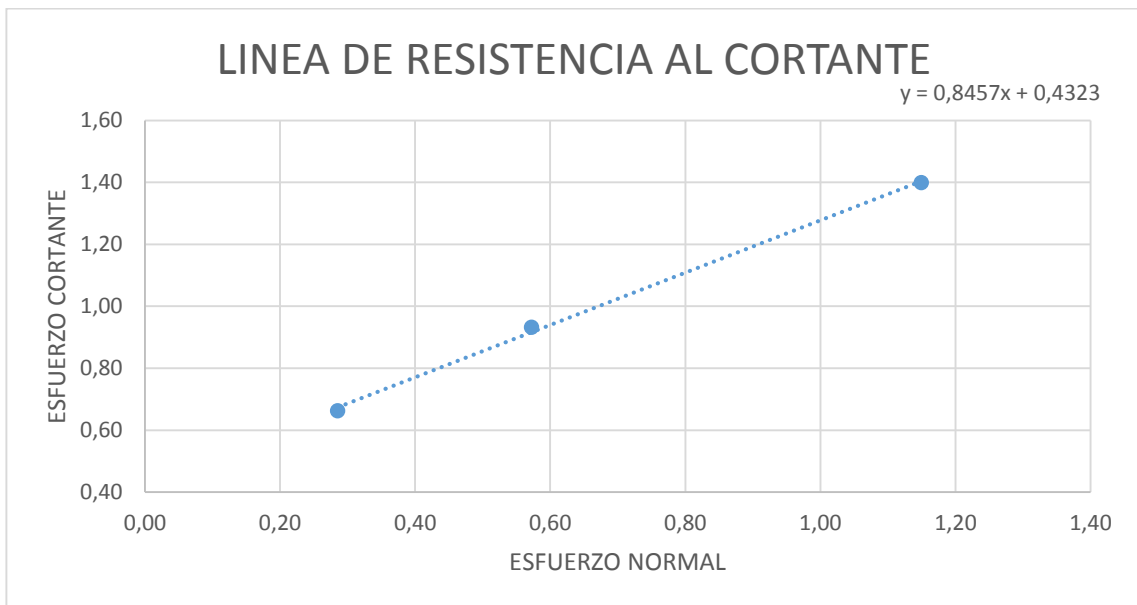


Tabla 19. Datos de los puntos máximos para cada ensayo, operario 2

CARGA	PUNTO MAXIMO ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
KG	Kg/cm2	kg/cm2
8	0.663	0.2852
16	0.9318	0.5723
32	1.3992	1.1495

Los datos que tenemos en la tabla anterior nos sirven para graficar la resistencia al corte lo cual será de la siguiente forma:

Figura 14. Grafica línea de resistencia al corte, operario 2



La Figura 14, nos permite encontrar el valor del ángulo de fricción interno entre partículas ajustada a una regresión lineal, teniendo en cuenta la ecuación planteada por Coulomb.

$$\tau = c + \sigma * \tan\theta$$

$$y = 0.4323 + 0.8457 \tan\theta$$

$c = 0$ (por ser un suelo no plastico)

$$\phi = \tan^{-1}(0.8457)$$

$$\phi = 40.22^\circ$$

Se realizó el procedimiento igual al planteado para los 20 ensayos a continuación se muestran los resultados finales.

Tabla 20. Resultados ensayo corte directo, operario 2

#	8 KG		16 KG		32 KG		ANGULO DE FRICCIÓN °
	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	
1	0.663	0.286	0.932	0.572	1.399	1.150	40.22
2	0.624	0.286	0.975	0.573	1.374	1.150	40.14
3	0.666	0.286	0.962	0.573	1.420	1.149	40.77
4	0.647	0.285	0.943	0.573	1.384	1.146	40.18
5	0.660	0.285	0.958	0.572	1.399	1.150	40.10
6	0.641	0.286	0.965	0.573	1.401	1.148	40.81
7	0.647	0.285	0.951	0.572	1.389	1.149	40.19
8	0.630	0.286	0.965	0.572	1.395	1.149	40.90
9	0.611	0.286	0.980	0.573	1.377	1.148	40.73
10	0.659	0.286	0.941	0.572	1.413	1.148	40.93
11	0.655	0.286	0.950	0.573	1.390	1.148	40.02
12	0.632	0.286	0.957	0.572	1.395	1.148	40.94
13	0.671	0.286	0.990	0.573	1.427	1.149	40.66
14	0.673	0.286	0.942	0.572	1.427	1.149	40.99
15	0.639	0.286	0.941	0.572	1.378	1.145	40.22
16	0.636	0.286	0.978	0.573	1.400	1.145	40.91
17	0.669	0.286	0.971	0.573	1.413	1.149	40.29
18	0.621	0.286	0.998	0.572	1.384	1.147	40.53
19	0.656	0.285	0.987	0.573	1.414	1.149	40.65
20	0.620	0.286	0.959	0.572	1.384	1.149	40.83

De la tabla anterior podemos ver que los resultados finales de ángulos de fricción para los 20 ensayos realizados por el segundo operario fueron muy parecidos, esto

dado que los ensayos se realizaron en una fecha donde el laboratorio se encontraba solo y las máquinas que hay en el mismo lugar de otros ensayos se encontraban apagadas lo cual no intervinieron en los ensayos y esto ayuda a que sean más precisos los resultados.

Tabla 21. Análisis estadístico ángulo de fricción

ANGULO DE FRICCION °	
NUMERO DE DATOS	20
MAXIMO	40.99
MINIMO	40.02
RANGO	0.96
PROMEDIO	40.55
DESVIACION ESTANDAR	0.340

En la tabla 21 se muestra el análisis estadístico realizado de dichos ángulos en el que se puede observar un máximo de 40.99°.

Tabla 22. Análisis estadístico operativo 1

CARGA 8 kg	ESFUERZO CORTANTE MAXIMO	ESFUERZO NORMAL MAXIMO
	kg/cm ²	kg/cm ²
NUMERO DE DATOS	20	20
MAXIMO	0.673	0.286
MINIMO	0.611	0.285
RANGO	0.062	0.001
PROMEDIO	0.646	0.286
DESVIACION ESTANDAR	0.019	0.000
CARGA 16 kg	ESFUERZO CORTANTE MAXIMO	ESFUERZO NORMAL MAXIMO
	kg/cm ²	kg/cm ²
NUMERO DE DATOS	20	20
MAXIMO	0.998	0.573
MINIMO	0.932	0.572
RANGO	0.066	0.001
PROMEDIO	0.962	0.573
DESVIACION ESTANDAR	0.000	0.000
CARGA 32 kg	ESFUERZO CORTANTE MAXIMO	ESFUERZO NORMAL MAXIMO
	kg/cm ²	kg/cm ²
NUMERO DE DATOS	20	20
MAXIMO	1.427	1.150
MINIMO	1.374	1.145
RANGO	0.053	0.004
PROMEDIO	1.398	1.148
DESVIACION ESTANDAR	0.016	0.001

4 ANALISIS DE LA INCERTIDUMBRE

Como ya se mencionó anteriormente, los laboratorios deben demostrar que los análisis arrojan resultados confiables, ya que de éstos dependerá la toma de decisiones para la solución de uno o varios problemas.

El proceso de estimación de incertidumbre consta principalmente de 4 etapas: especificación del mesurado, identificación de las fuentes de incertidumbre, cuantificación de la incertidumbre y el cálculo de la incertidumbre combinada y expandida.

4.1 ESPECIFICACIÓN DEL MENSURADO

Se estableció la relación matemática que describe la función del proceso de medición, para el ensayo de corte directo; en la ecuación (9) se observa el modelo matemático para el cálculo de los parámetros que arroja el ensayo de corte directo, ángulo de fricción y cohesión (según el tipo de suelo).

$$\tau = c + \sigma * \tan\theta \quad (9)$$

Donde:

σ = es el esfuerzo normal total en el plano de falla

θ = es el ángulo de fricción del suelo

c = es la cohesión del suelo

4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE

En una medición existen numerosas posibles fuentes de incertidumbre [6], entre ellas:

- Condiciones de preparación de la muestra
- Lecturas de instrumentos analógicos, por parte del operador
- Resolución del instrumento de medida
- Efectos de las condiciones ambientales sobre la medición, o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales

4.3 CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Una vez identificadas las fuentes de incertidumbre, el siguiente paso es calcular la incertidumbre asociada a dichas fuentes. Esto se hace mediante la evaluación de la incertidumbre asociada a cada fuente individual, para posteriormente combinarlas. El modelo a usar para la cuantificación de la incertidumbre depende de la clasificación de la misma.

Una incertidumbre tipo A es aquella que se utiliza cuando se realizan n observaciones independientes entre sí de una de las magnitudes de entrada X_i bajo determinadas condiciones de medida [8]. Para una magnitud de entrada X_i determinada a partir de n observaciones repetidas e independientes, la incertidumbre típica de estimación se presenta en la ecuación (10).

$$u(X_i) = \frac{s(X_i)}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

4.3.1 Incertidumbre asociada a la preparación de la muestra

Esta fuente de incertidumbre se asocia con las condiciones iniciales de la muestra del suelo, necesaria para la realización del ensayo. En nuestro caso la muestra es la misma para los dos operarios con el fin de conocer la incertidumbre en términos de desviación estándar.

Tabla 23. Incertidumbre asociada a la preparación de la muestra

ANGULO DE FRICCCION Ø		
Desviación estándar	raíz(s ²)	0.46
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.10

4.3.2 Incertidumbre asociada a la lectura de datos por parte de los operadores

Los ensayos son realizados bajo condiciones de precisión iguales, esto sirve para identificar y estimar la incertidumbre debida a las lecturas de los operadores en el laboratorio. En la tabla 24, se observa los resultados obtenidos, junto con su respectiva desviación estándar.

Tabla 24. Incertidumbre asociada a los operadores

ANGULO DE FRICCCION Ø			
		OPERARIO 1	OPERARIO 2
Desviación estándar	raíz(s ²)	1.50	0.34
Incertidumbre estándar	u(xi)	0.34	0.08

4.3.3 Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento de medida

Una de las fuentes de incertidumbre es la resolución de su dispositivo indicador. Si la resolución del dispositivo es ∂x , el valor de la señal de entrada que produce una indicación dada X puede situarse con igual probabilidad en cualquier punto dentro del intervalo que va de $(X - \partial x)$ A $(X + \partial x)$ [6]. La señal de entrada puede describirse entonces por medio de una distribución rectangular de rango ∂x y varianza $u^2 = (\partial x)^2/12$, lo que supone una incertidumbre típica.

En nuestro caso de la balanza electrónica, se tiene una resolución de 0.01 gr. Lo que indica una incertidumbre de:

$$u(d) = \frac{\partial x}{\sqrt{12}} = \frac{0.01}{\sqrt{12}}$$

$$u(d) = 0.002886$$

Para la balanza se tiene unos resultados de calibración, entre los cuales se encuentra la incertidumbre expandida $U= 0.14$, para mediciones menores de 200 gr, y para un factor de cobertura de $K= 2.1$ que garantiza un nivel de confianza aproximado del 95 %.

Con relación al equipo de corte directo, no se cuenta con una resolución, por lo cual se decide tener en cuenta solo la de la balanza.

4.4 CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE COMBINADA

La incertidumbre combinada sirve para caracterizar la calidad de las medidas. En la práctica lo que se necesita es conocer el intervalo dentro del cual es razonable suponer, con alta probabilidad de no equivocarse que se encuentren los infinitos valores que pueden ser “razonables” atribuidos al mensurado.

En esta etapa se relacionaron las incertidumbres estándar de diversas fuentes, de manera que se combinaran entre sí. De esta manera se obtendrá la incertidumbre combinada U_c , calculada como se expresa en la ecuación (12).

$$U_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2} \quad (12)$$

Tabla 25. Resultados Incertidumbre Combinada

ANGULO DE FRICCCION Ø	
Incertidumbre Estándar	
Repetitibilidad	0.21
Operario 1	0.34
Operario 2	0.08
Preparacion de la muestra	0.10
Resolucion de Instrumento	0.002886

De acuerdo a la ecuación (12), obtiene el valor de incertidumbre combinada para el mensurado del ángulo de fricción, dicho valor se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Incertidumbre combinada

ANGULO DE FRICCCION Ø	
Incertidumbre Combinada	0.42

4.5 CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Para aumentar la probabilidad hasta valores más útiles de cara a la toma posterior de decisiones, podemos multiplicar la incertidumbre combinada por un número denominado “factor de cobertura” k_p . El producto $k_p * U_c = U_{exp}$ se denomina

incertidumbre expandida, donde $k_p = 2$ es el factor de cobertura para un nivel de confianza de $p = 95\%$ [6].

En la tabla 27 se muestra el resultado de incertidumbre expandida para el objeto del presente estudio.

Tabla 27. Resultado Incertidumbre Expandida

ANGULO DE FRICCCION Ø	
IncertidumbreExpandida	0.83

5 CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos de ángulo de fricción para el operario 1, se determinó que estos varían en un rango de 4.48 siendo un valor relativamente alto considerando que las muestras tenían las mismas características, esto quiere decir que influyeron factores externos como las vibraciones a causa de otras máquinas ya que se trabajó en horario académico.
- Los ensayos del operario 2 fueron realizados manteniendo las mismas características del diseño de muestra, pero estos se llevaron a cabo en periodo vacacional dando como resultado valores más similares del ángulo de fricción con un rango de diferencia de 0.96.
- Durante los ensayos de corte directo realizados en el laboratorio se pudo concluir que los factores influyentes en la variabilidad de los resultados son: preparación de los especímenes, colocación de la carga normal, golpes en la máquina y cambios en las lecturas de los operarios; siendo la deformación vertical la más afectada.
- La estimación de la incertidumbre de los ángulos de fricción de los operarios nos indica que los resultados no se encuentran dispersos entre sí, con un valor de 0.42 en la incertidumbre combinada lo indica que esta en valor aceptable.
- El ensayo de corte directo para los dos operadores nos dio un ángulo de fricción mínimo de 36.49° y un máximo de 40.99° lo cual nos indicó que son valores confiables según la clasificación de Casagrande.

6. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

- Cuando se desarrolla una evaluación de la precisión y exactitud de un método con el fin de demostrar la confiabilidad de sus resultados, el número de muestras es un factor importante; se recomienda que el diseño experimental de las pruebas a realizar en el procedimiento de validación y de estimación de la incertidumbre sea suficientemente representativo en cuanto al número de muestras ensayadas, si la cantidad es significativa se garantiza el cumplimiento de los criterios de aceptación.
- En cuanto a la exactitud de las lecturas por parte del operario, sería ideal crear un software que ayude a tomar con exactitud estos valores, ya que se toma estos valores de manera subjetiva, cada persona tiene criterios diferentes y estos puntos pueden ser cambiantes en mínimas proporciones, pero se ve afectado el resultado final.
- Se recomienda que durante la realización de los ensayos de corte directo en el laboratorio se tengan en cuenta las vibraciones producidas por otros equipos ya que estas influyen en los resultados.

REFERENCIAS

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma de ensayo para materiales de carretera. Primera edición. Bogotá, 2013. Sección 100 p 1:il. (INV E 154).
- [2] Rodríguez, A. R. (1974). *Mecánica de suelos* (Vol. 1). Editorial Limusa.
- [3] Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1999). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. *Alfonso Rico Rodríguez*.
- [4] MIRANDA M. Javier. Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales [en línea]. [Consultado enero 2018]. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amy/archivero/eval_incert_11208.pdf
- [5] DURAN P. Yerlith A. Aplicación del método GUIM para la estimación de la incertidumbre en el ensayo de corte directo.
- [6] JOIN COMITÉ FOR GUIDES IN METROLOGY, Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. Sevres: Editor, 2008, p5.
- [7] CASAGRANDE, A. (1948) "Classification and Identification of Soils", Transactions ASCE, 113, pp. 901,992.

BIBLIOGRAFIA

DURAN P. Yerlith A. Aplicación del método GUIM para la estimación de la incertidumbre en el ensayo de corte directo.

JOIN COMITÉ FOR GUIDES IN METROLOGY, Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. Sevres: Editor, 2008, p 5-28.

JUÁREZ Badillo, E., & RICO Rodríguez, A. (1999). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Alfonso Rico Rodríguez.

LLANO, J. S. (1975). Mecánica de suelos. Reverte.

MARTÍNEZ C. Sergio A. Determinación de validación y de estimación de la incertidumbre, y su aplicación al ensayo de límites de Atterberg para el laboratorio de suelos de la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S

MEDINA BARAJAS EDWIN. GUÍA LABORATORIO MECÁNICA DE MATERIALES. [EN LÍNEA]. [Consultado diciembre 2017]. DISPONIBLE en: http://www.udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=1404d4ad-ob86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625

MIRANDA M. JAVIER. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN DATOS EXPERIMENTALES [en línea]. [Consultado diciembre 2017]. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amy/archivero/eval_incert_11208.pdf

RODRÍGUEZ, A. R. (1974). Mecánica de suelos (Vol. 1). Editorial Limusa.

ANEXOS

ANEXO A. GRAFICA DE RESULTADOS OPERARIO 1

Figura 1. Grafica esfuerzo cortante vs deformación horizontal, carga de 8 kg

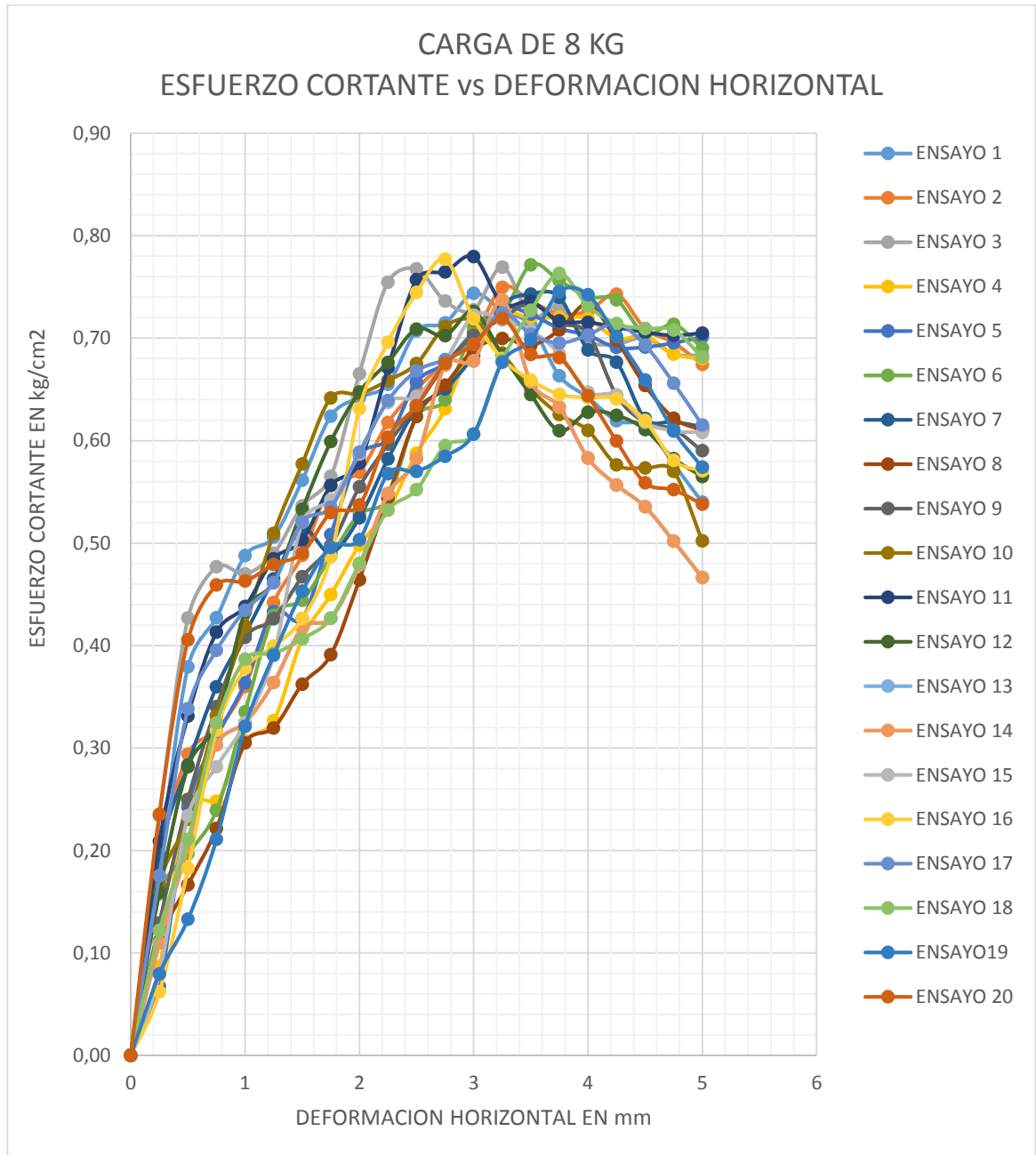


Figura 2. Grafica deformación vertical vs deformación horizontal, carga de 8 kg

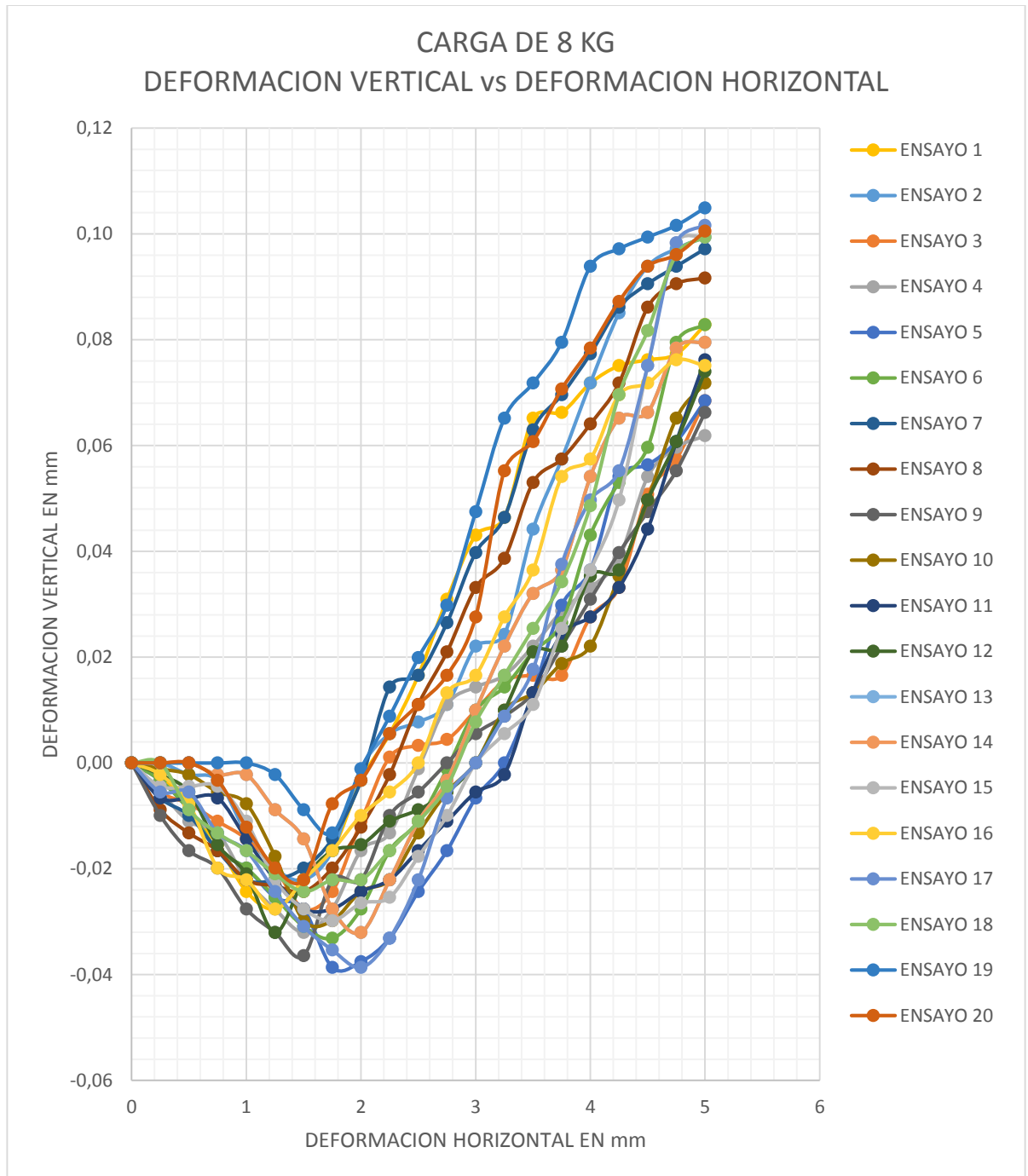


Figura 3. Grafica esfuerzo cortante vs deformación horizontal, carga de 16 kg

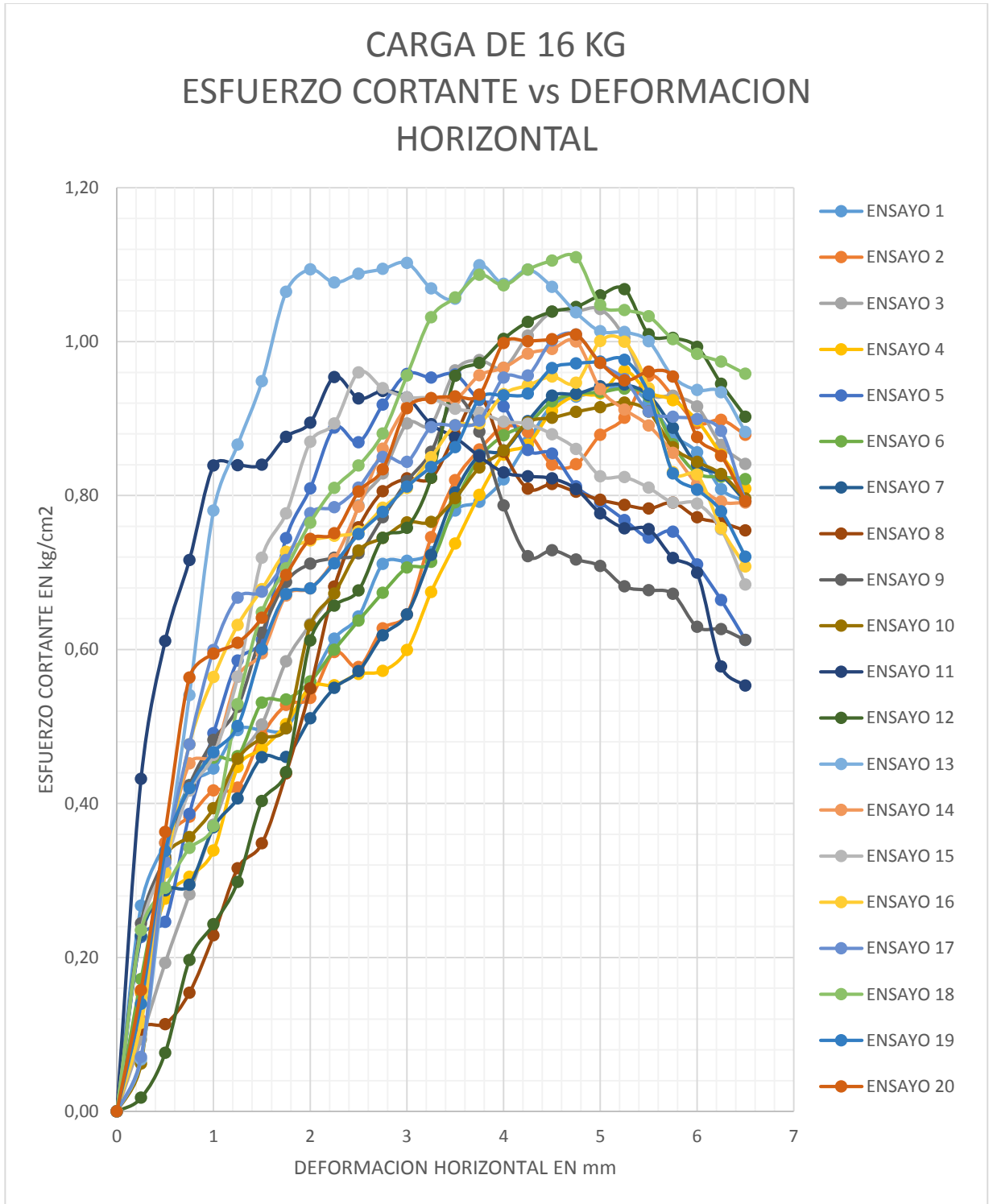


Figura 4. Grafica deformación vertical vs deformación horizontal, carga de 16

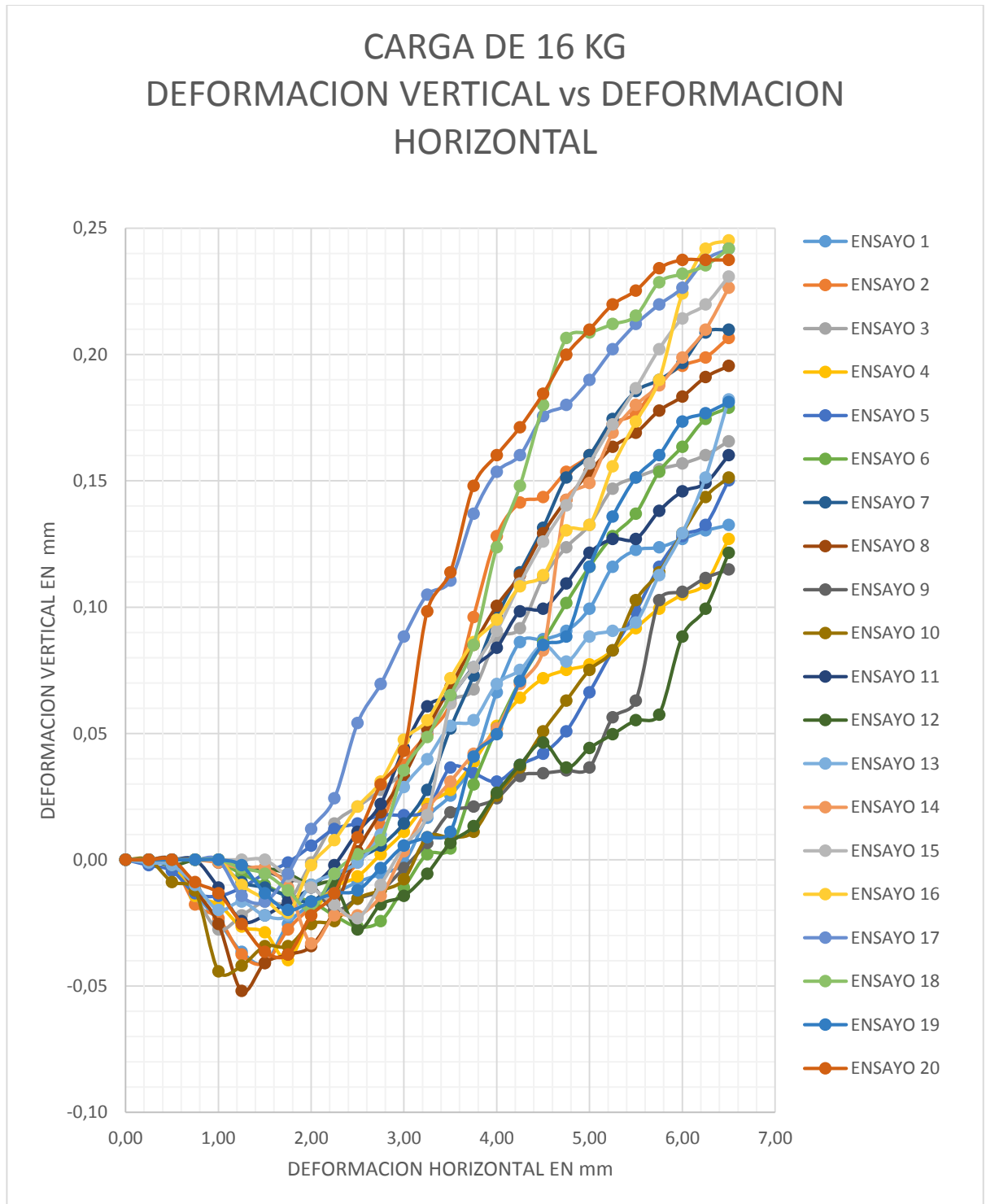


Figura 5. Grafica esfuerzo cortante vs deformación horizontal, carga de 32 kg

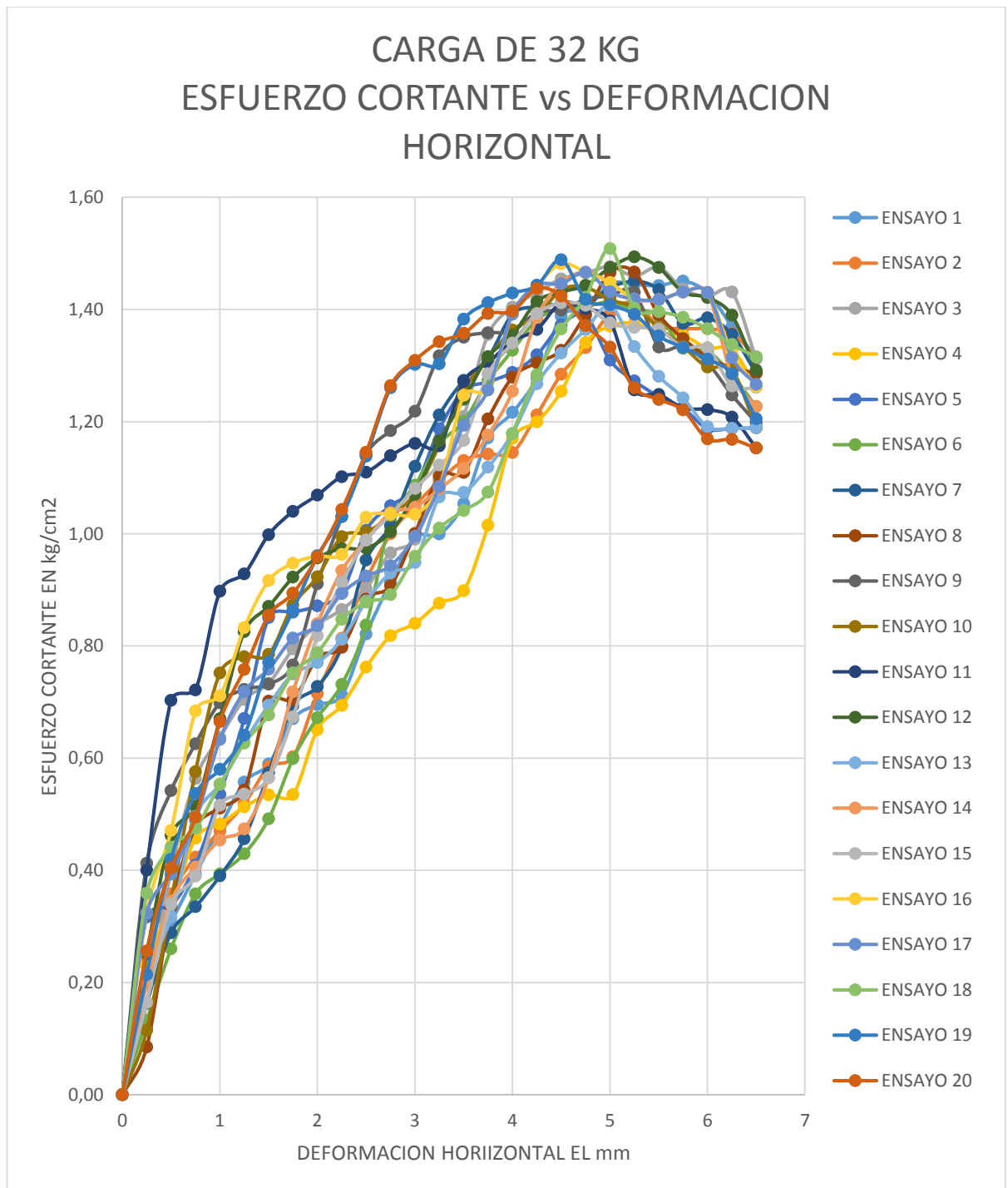
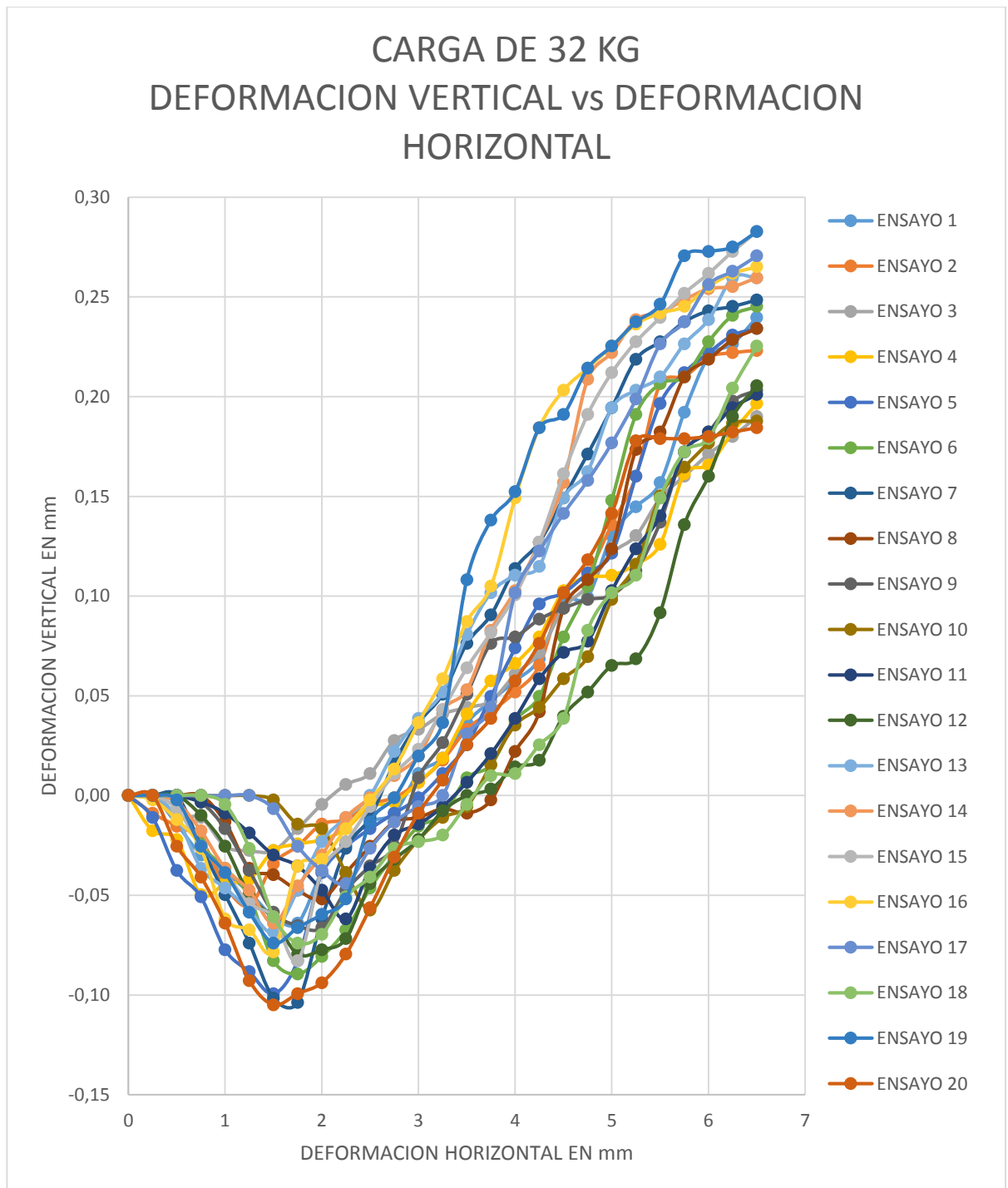


Figura 6. Grafica deformación vertical vs deformación horizontal, carga de 32 kg



ANEXO B. GRAFICA DE RESULTADOS OPERARIO 2

Figura 1. Grafica esfuerzo cortante vs deformación horizontal, carga de 8 kg

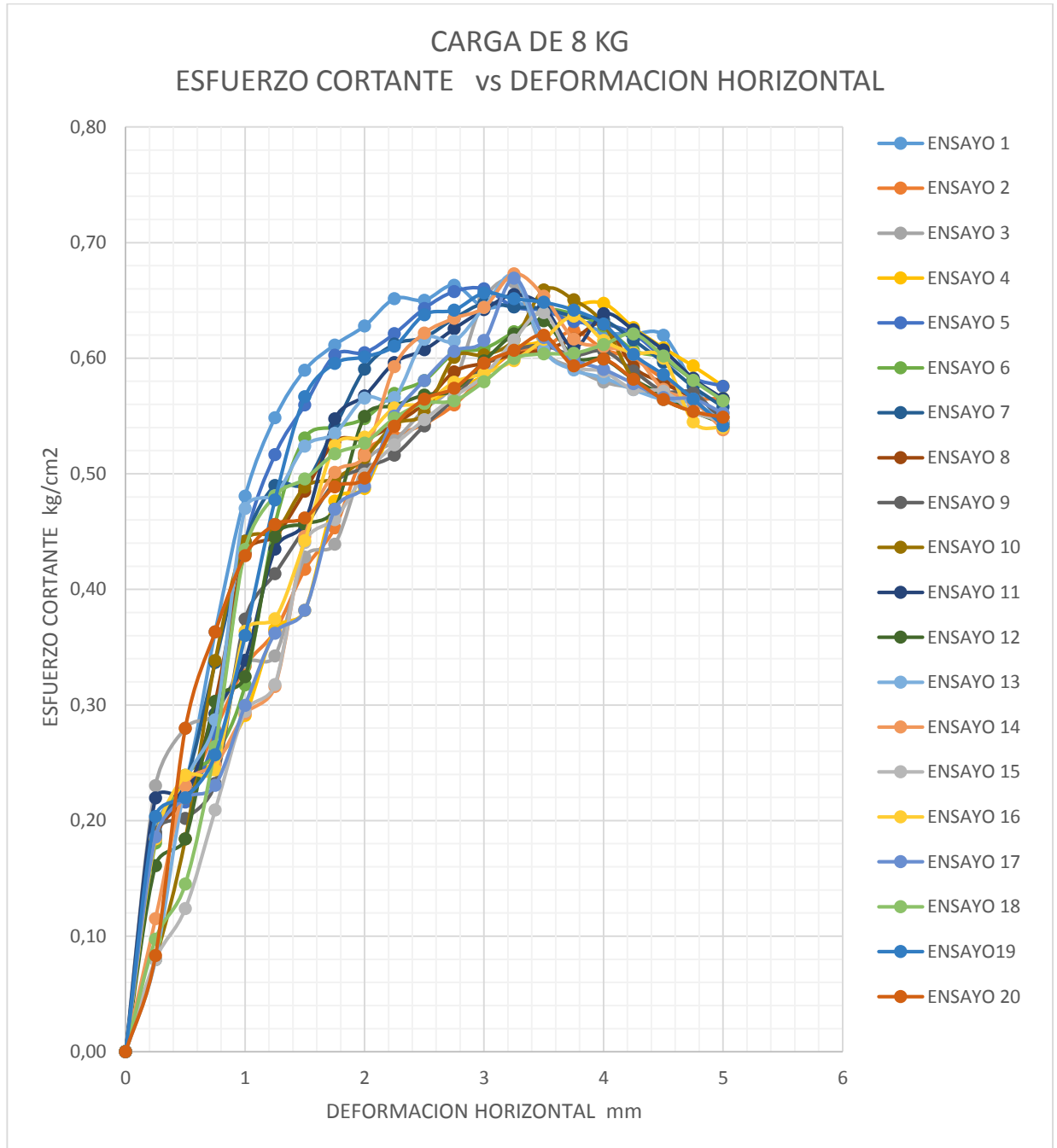


Figura 2. Grafica deformación vertical vs deformación horizontal, carga de 8 kg

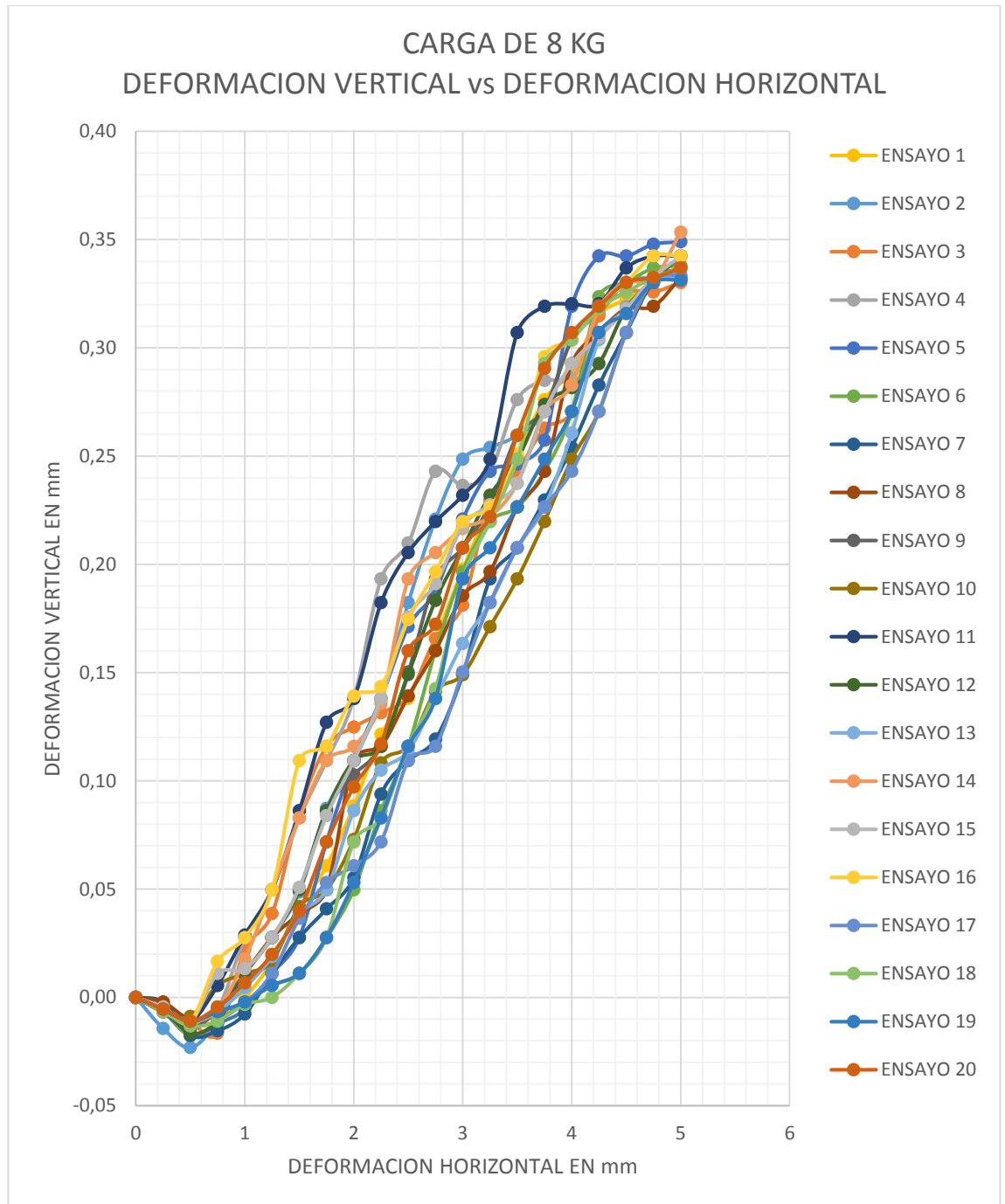


Figura 3. Grafica esfuerzo cortante vs deformación horizontal, carga de 16 kg

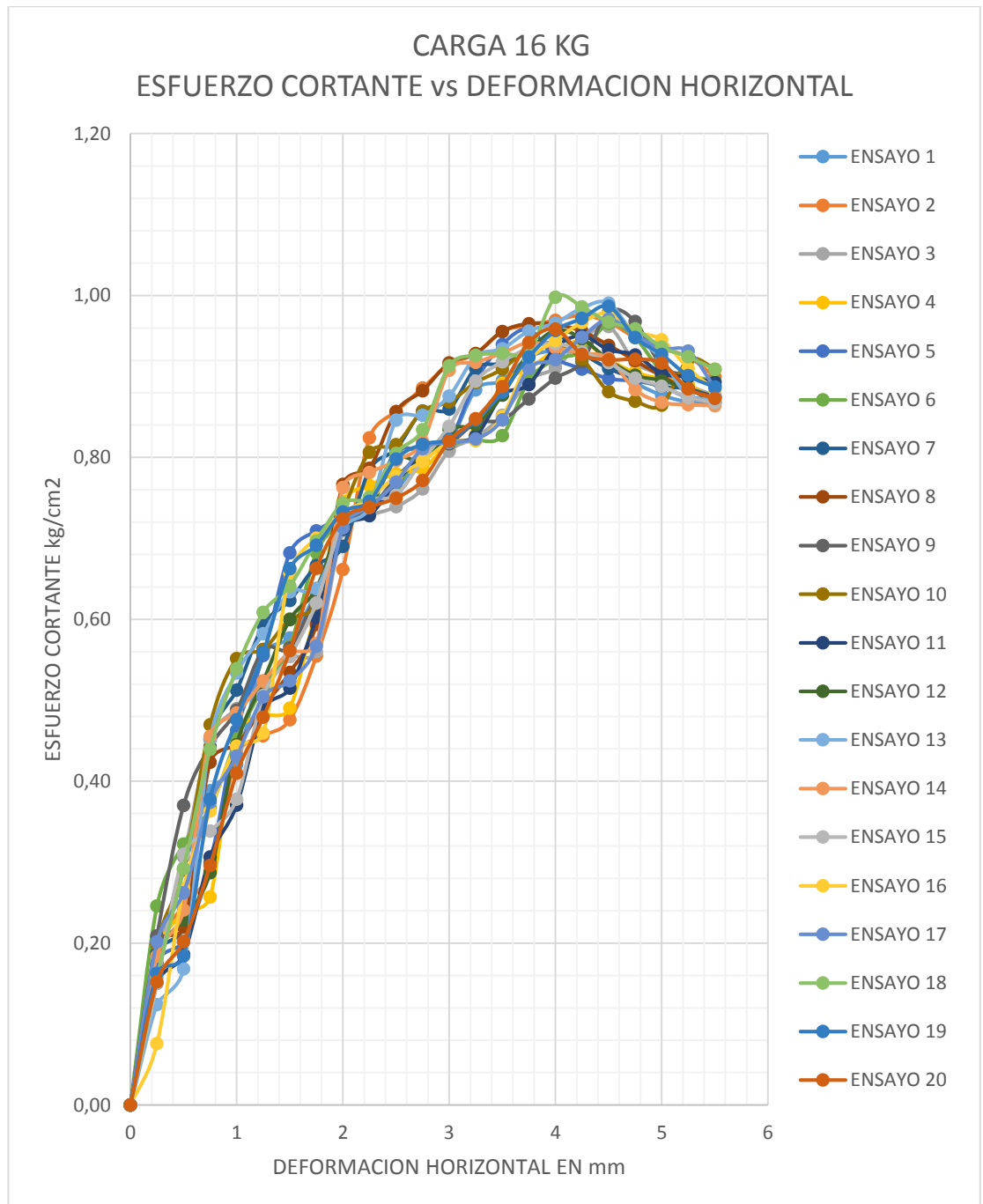


Figura 4. Grafica deformación vertical vs deformación horizontal, carga de 16 kg

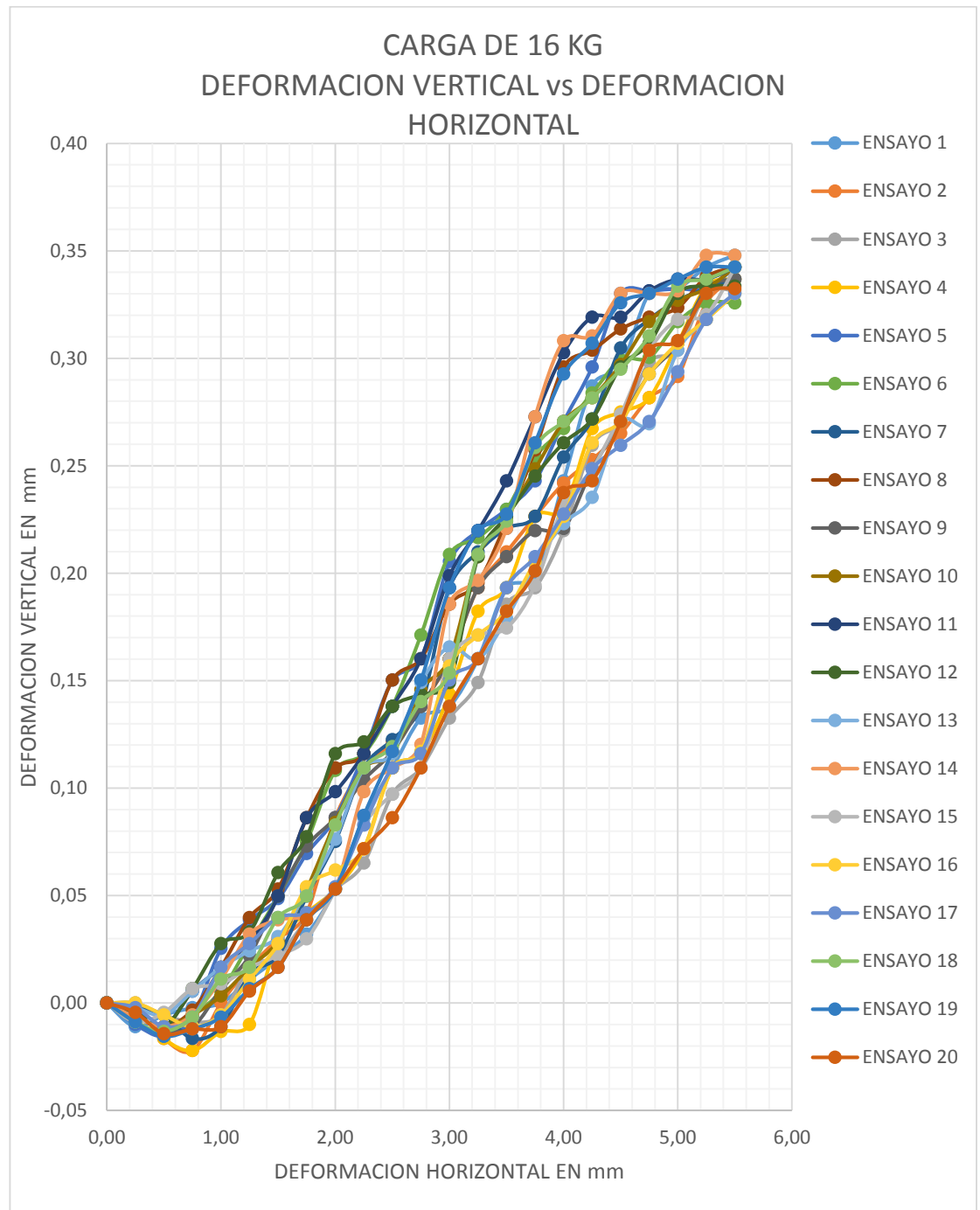


Figura 5. Grafica esfuerzo cortante vs deformación horizontal, carga de 32 kg

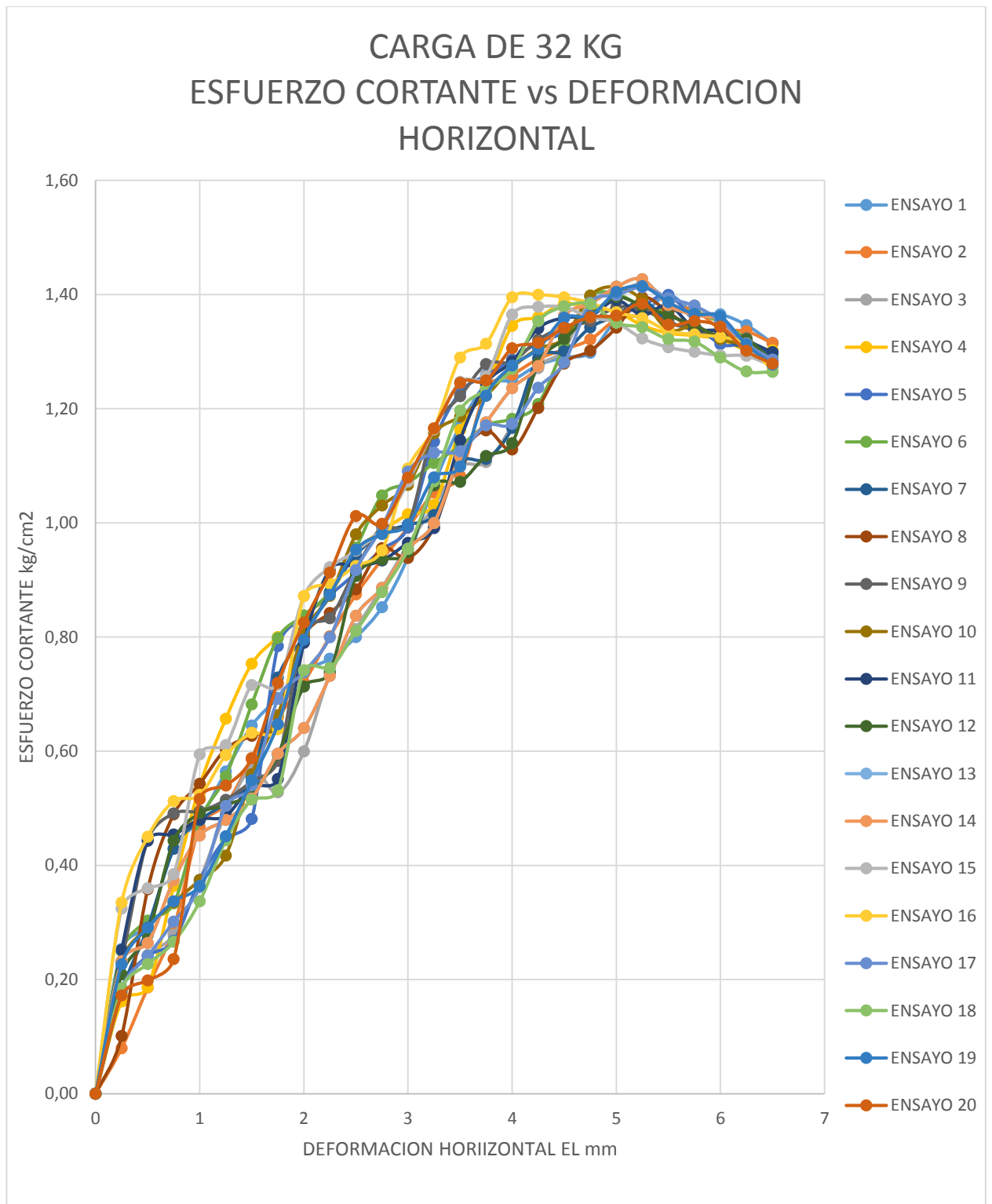


Figura 6. Grafica deformación vertical vs deformación horizontal, carga de 32 kg

