

**Cálculo de Incertidumbre para Ensayo de Corte Directo Aplicado a Suelos Finos Tipo  
Limo-Arenoso**

**Yerson Damián Montero Padilla**

**Luis Fernando Pérez Basto**



**Universidad Industrial de Santander**  
**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas**  
**Escuela de Ingeniería Civil**  
**Bucaramanga**  
**2018**

**Cálculo de Incertidumbre para Ensayo de Corte Directo Aplicado a Suelos Finos Tipo  
Limo-Arenoso**

**Yerson Damián Montero Padilla**

**Luis Fernando Pérez Basto**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil**

**Directora:**

**Hebenly Celis Leguízamo**

**MSc. En Ingeniería Civil**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga**

**2018**

## **Agradecimientos**

Mediante un corto escrito, se agradece a cada una de las personas que de una u otra forma hicieron parte de este proyecto, tales como; los operarios de los laboratorios del Edificio Álvaro Beltrán que con su experiencia nos apoyaron en diversas situaciones que se presentan en un laboratorio, así como también a la Ingeniera Hebenly Celis Leguízamo quien fue la directora del presente trabajo.

Un agradecimiento especial a la Universidad Industrial de Santander, que hizo un apoyo grande al facilitar las instalaciones de los laboratorios del Edificio Álvaro Beltrán.

Por último, se agradece a los autores y operarios de este proyecto por su entrega y dedicación en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos de este trabajo.

**Tabla de Contenido**

|  | Pág. |
|--|------|
| Introducción                                       | 15   |
| 1. Objetivos                                       | 16   |
| 1.1 Objetivo General                               | 16   |
| 1.2 Objetivos Específicos                          | 16   |
| 2. Marco Teórico                                   | 17   |
| 2.1 Ensayo de Corte Directo                        | 17   |
| 2.1.1 Ensayo Consolidado Drenado (CD).             | 17   |
| 2.1.2 Ensayo Consolidado no Drenado (CU).          | 17   |
| 2.1.3 Ensayo no Consolidado no Drenado (UU).       | 18   |
| 2.2 Incertidumbre                                  | 18   |
| 2.2.1 Incertidumbre Estándar.                      | 18   |
| 2.2.2 Incertidumbre Estándar Tipo A.               | 18   |
| 2.2.3 Incertidumbre Estándar Tipo B.               | 19   |
| 2.2.4 Incertidumbre Estándar Combinada.            | 19   |
| 2.2.5 Incertidumbre Expandida.                     | 19   |
| 2.2.6 Factor de Cobertura.                         | 19   |
| 2.2.7 Fuentes Posibles de Incertidumbre.           | 19   |
| 2.3 Evaluación de la Incertidumbre Estándar Tipo A | 20   |

|   |    |
|---|----|
| CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYO                                  | 8  |
| 2.4 Determinación de la Incertidumbre Estándar Combinada              | 21 |
| 2.4.1 Argumentos no Correlacionados.                                  | 21 |
| 2.4.2 Independencia.  | 21 |
| 2.5 Determinación de la Incertidumbre Expandida                       | 22 |
| 2.5.1 Elección del factor de Cobertura                                | 22 |
| 2.6 Valores de Aceptación para la Incertidumbre Estándar              | 23 |
| 3. Metodología  | 24 |
| 3.1 Obtención de la Muestra de Suelo                                  | 24 |
| 3.2 Proceso de Ensayo   | 24 |
| 3.2.1 Ensayos de Clasificación.                                       | 24 |
| 3.2.2 Parámetros Necesarios para Realizar el Ensayo de Corte Directo. | 30 |
| 3.2.3 Ensayos de Corte Directo.                                       | 31 |
| 4. Resultados   | 32 |
| 4.1 Resultados Obtenidos de los Ensayos de Corte Directo              | 32 |
| 4.1.1 Resultados Operario 1.  | 33 |
| 4.2 Cálculo de la Incertidumbre del Ensayo                            | 36 |
| 4.2.1 Incertidumbre Estándar Tipo A                                   | 36 |
| 4.2.2 Incertidumbre Estándar Combinada.                               | 38 |
| 4.2.3 Incertidumbre Expandida.  | 38 |
| 5. Conclusiones   | 39 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA ENSAYO | 9  |
| 6. Discusión y Recomendaciones       | 41 |
| Referencias Bibliográficas           | 42 |
| Apéndices                            | 44 |

**Lista de Tablas**

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Pesos Retenidos en cada Tamiz.   | 25   |
| Tabla 2. Promedio de los Resultados de los Ensayos Granulométricos.               | 26   |
| Tabla 3. Datos del Límite Líquido.  | 27   |
| Tabla 4. Datos del Límite Plástico.   | 27   |
| Tabla 5. Promedio de los Resultados de los Ensayos de Límites.                    | 28   |
| Tabla 6. Datos de Consolidación.  | 31   |
| Tabla 7. Resultados de los Ensayos, Operario 1.                                   | 33   |
| Tabla 8. Variables Estadísticas del Ángulo de Fricción.                           | 34   |
| Tabla 9. Variables Estadísticas de la Cohesión.                                   | 34   |
| Tabla 10. Resultados de los Ensayos, Operario 2.                                  | 35   |
| Tabla 11. Variables Estadísticas del Ángulo de Fricción.                          | 35   |
| Tabla 12. Variables Estadísticas de la Cohesión.                                  | 36   |
| Tabla 13. Resultados de Incertidumbre Estándar Tipo A Operario 1.                 | 37   |
| Tabla 14. Resultados de Incertidumbre Estándar Tipo A Operario 2.                 | 37   |
| Tabla 15. Valores de Incertidumbre Expresados en Porcentaje para el Operario (1). | 38   |
| Tabla 16. Valores de Incertidumbre Expresados en Porcentaje para el Operario (2). | 38   |
| Tabla 17. Resultados de Incertidumbre Estándar Combinada.                         | 38   |
| Tabla 18. Resultados Incertidumbre Expandida.                                     | 39   |

**Lista de Figuras**

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Desviación Estándar de la Desviación Estándar Experimental de la Media $\bar{q}$ de $n$ Observaciones Independientes de una Variable Aleatoria Normalmente Distribuida $q$ , Relativa a la Desviación Estándar de la Media. | 23   |
| Figura 2. Curva Granulométrica.   | 25   |
| Figura 3. Gráfica Límite Líquido.   | 28   |
| Figura 4. Curva de Compactación de Proctor Modificado   | 29   |
| Figura 5. Curva de Consolidación  | 31   |
| Figura 6. Ejemplo de Regresión Lineal.  | 33   |

**Lista de Apéndices**

|  | Pág. |
|--|------|
| Apéndice A. Ensayo No. 1 de Granulometría  | 44   |
| Apéndice B. Ensayo No. 2 de Granulometría  | 45   |
| Apéndice C. Ensayo No. 3 de Granulometría  | 46   |
| Apéndice D. Ensayo No. 1 de Límites de Atterberg                                   | 47   |
| Apéndice E. Ensayo No. 2 de Límites de Atterberg                                   | 48   |
| Apéndice F. Ensayo No. 3 de Límites de Atterberg                                   | 49   |
| Apéndice G. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg     | 50   |
| Apéndice H. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg  | 50   |
| Apéndice I. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg    | 51   |
| Apéndice J. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg | 51   |
| Apéndice K. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg    | 52   |
| Apéndice L. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg | 52   |
| Apéndice M. Gráfica esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg     | 53   |
| Apéndice N. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg  | 53   |
| Apéndice O. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg    | 54   |
| Apéndice P. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg | 54   |
| Apéndice Q. Gráfica esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg    | 55   |
| Apéndice R. Gráfica deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg | 55   |

## Resumen

**Título:** Cálculo De Incertidumbre Para Ensayo de Corte Directo Aplicado A Suelos Finos Tipo Limo-Arenoso. \*

**Autores:** Yerson Damián Montero Padilla \*\*

Luis Fernando Pérez Basto \*\*

**Palabras Clave:** Incertidumbre, Corte Directo, Ángulo De Fricción, Cohesión.

### Descripción:

Este documento describe el procedimiento para el cálculo de la incertidumbre a partir de 30 ensayos de corte directo a una muestra de suelo de Bucaramanga – Santander, en donde es característico encontrar suelos de tipo limo-arenoso, arcillo-limoso y areno-limoso. Para el presente trabajo se utiliza un suelo arcillo-limo-arenoso con el cual, basados en la norma I.N.V.E – 154 – 07 (Instituto Nacional de Vías) se obtienen parámetros tales como el ángulo de fricción y la cohesión. Para ello, los ensayos de corte directo son ejecutados por dos operarios diferentes con el fin de realizar un análisis más completo de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana GTC-51 y con la cual se fundamenta el procedimiento con que se calcula el valor de la incertidumbre que presenta el ensayo mencionado para este tipo de suelo. En los resultados obtenidos se observa una variación del ángulo de fricción entre  $37^\circ$  y  $39^\circ$ , mientras que la cohesión varía entre 0.44 y 0.65 [kg/cm<sup>2</sup>]. En el análisis de la incertidumbre estándar Tipo A el operario 1 obtuvo un valor de 0.27% para el ángulo de fricción y 2.67% para la cohesión, mientras que el operario 2 consiguió un valor de 0.36% y 2.31% respectivamente. Con el análisis realizado se puede afirmar que la incertidumbre calculada presenta valores admisibles, ya que se encuentra dentro del rango del 13% que se establece para la incertidumbre estándar Tipo A y para un número de observaciones igual a 30 (ensayos de corte directo). Este trabajo se presenta como una primera parte de un estudio que continua más adelante.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: MSc. Hebenly Celis Leguízamo.

**Abstract**

**Título:** Uncertainty Calculation For Direct Cutting Test Applied To Fine Soils Silty-Sandy Type. .\*

**Authors:** Yerson Damián Montero Padilla \*\*  
Luis Fernando Pérez Basto \*\*

**Keywords:** Uncertainty, Direct Cut, Angle Of Friction, Cohesion

**Description:**

This document describes the procedure for the calculation of the uncertainty from 30 trials of direct cutting to a soil sample from Bucaramanga - Santander, where it is characteristic to find soils of silty-sandy, clay-silty and sandy-silty types. For the present project a clay-silt-sandy soil is used with which, based on the norm I.N.V.E - 154 - 07 (National Institute of Roads), parameters such as friction angle and cohesion are obtained. To do this, the direct cutting tests are executed by two different operators in order to perform a more complete analysis in accordance with the Colombian Technical Standard GTC-51 and which is based on the procedure used to calculate the value of the uncertainty. that presents the test mentioned for this type of soil. In the results obtained a variation of the angle of friction between  $37^\circ$  and  $39^\circ$  is observed, while the cohesion varies between 0.44 and 0.65 [kg / cm<sup>2</sup>]. In the analysis of standard uncertainty Type A operator 1 obtained a value of 0.27% for the angle of friction and 2.67% for cohesion, while operator 2 achieved a value of 0.36% and 2.31% respectively. With the analysis carried out, it can be stated that the calculated uncertainty presents admissible values, since it is within the range of 13% established for the standard uncertainty Type A and for a number of observations equal to 30 (direct cutting tests). This work is presented as a first part of a study that continues later.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Engineering Physical-mechanical properties. School of Civil Engineering. Director: MSc. Hebenly Celis Leguizamo.

## **Introducción**

El presente artículo muestra cómo determinar la incertidumbre para el ensayo de corte directo aplicado a un suelo arcillo-limo-arenoso bajo las mismas condiciones de corte; este tipo de suelo es característico de la ciudad de Bucaramanga – Santander, sin embargo, este puede presentar diferentes este puede presentar diferentes clasificaciones por variaciones pequeñas de la granulometría.

En el desarrollo del trabajo se da a conocer la metodología con que se llevó a cabo el proyecto, mostrando así los resultados obtenidos de ensayos de clasificación de suelos tales como, Granulometrías, Límites y Proctor Modificado; además de hallar los parámetros necesarios para realizar los ensayos de corte directo dentro de los cuales se encuentran, el tiempo de saturación de las muestras, el tiempo de consolidación y la velocidad del corte.

Con el fin de analizar la variabilidad de los parámetros de resistencia se realizaron 30 ensayos de corte directo distribuidos entre dos operarios (15 ensayos cada uno), esto con el propósito de calcular la incertidumbre combinada como se especifica en la Norma ICONTEC GTC-51 (GUÍA PARA LA EXPRESIÓN DE INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES), para dar paso al análisis de resultados y formular las respectivas conclusiones.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Determinar la incertidumbre del ensayo de corte directo en un suelo limo-arenoso observando la variabilidad del ensayo bajo las mismas características de corte.

### 1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar el material que se va a emplear mediante los ensayos de clasificación del suelo.
- ✓ Evaluar la fricción y la cohesión del suelo con iguales condiciones de compactación.
- ✓ Analizar la variabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio.

## 2. Marco Teórico

Dado que el proyecto comprende varios temas de estudio, a continuación, se presenta una breve conceptualización:

### 2.1 Ensayo de Corte Directo

Tiene como objeto determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida a fatiga y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga. (Icc.ucv.cl, 2017)

**2.1.1 Ensayo Consolidado Drenado (CD).** Se aplica la presión normal, permitiendo el drenaje del suelo hasta finalizar la consolidación primaria. A continuación, se procede a la rotura de la probeta a una velocidad lo suficientemente lenta como para que no se originen presiones intersticiales, permitiendo el libre drenaje del agua de los poros (Es aplicable tanto a suelos cohesivos como granulares). De este ensayo se obtienen los parámetros resistentes efectivos, cohesión efectiva,  $c'$ , y ángulo de rozamiento interno efectivo,  $\Phi'$ . (Serrano Méndez, 2017)

**2.1.2 Ensayo Consolidado no Drenado (CU).** Se aplica la presión normal, permitiendo el drenaje del suelo hasta finalizar la consolidación primaria. A continuación, se procede a la rotura de la probeta a una velocidad lo suficientemente rápida para que no se produzca el drenaje (es aplicable a suelos cohesivos). De este ensayo se obtienen los parámetros resistentes,  $C_{cu}$  y  $\Phi_{cu}$ . (Serrano Méndez, 2017)

**2.1.3 Ensayo no Consolidado no Drenado (UU).** La rotura se inicia nada más aplicar la presión normal correspondiente y a una velocidad lo suficientemente rápida par que no se produzca el drenaje (es aplicable a suelos cohesivos). De este ensayo se obtienen los parámetros resistentes, *Cuy  $\Phi_u$* . (Serrano Méndez, 2017)

## 2.2 Incertidumbre

Significa duda, y, por tanto, en un sentido más amplio “incertidumbre de medición” significa duda en la validez del resultado de una medición. (Tienda.icontec.org, 1997)

La incertidumbre de una medición es el parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, que en forma razonable se le podría atribuir a una magnitud por medir. (Tienda.icontec.org, 1997)

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 (Rosales, M & Basto, 2018)

Tipos de incertidumbre (Tienda.icontec.org, 1997):

**2.2.1 Incertidumbre Estándar.** Incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación estándar.

**2.2.2 Incertidumbre Estándar Tipo A.** Método para evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones.

**2.2.3 Incertidumbre Estándar Tipo B.** Método para evaluar la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de observaciones.

**2.2.4 Incertidumbre Estándar Combinada.** Incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo estos términos las varianzas y covarianzas de estas otras magnitudes ponderadas de acuerdo cómo el resultado de la medición varía con respecto a cambios en estas magnitudes.

**2.2.5 Incertidumbre Expandida.** Cantidad que define un intervalo alrededor de una medición del que se puede esperar que abarque una fracción grande de la distribución de valores que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando.

**2.2.6 Factor de Cobertura.** Factor numérico usado como multiplicador de la incertidumbre estándar combinada con el propósito de obtener una incertidumbre expandida.

**2.2.7 Fuentes Posibles de Incertidumbre.**

- a) Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones, o mediciones imperfectas de dichas condiciones ambientales.
- b) Errores de apreciación del operador en la lectura de instrumentos analógicos.
- c) Valores inexactos de patrones de medición y materiales de referencia.
- d) Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas y usados en los algoritmos de reducción de datos.

- e) Aproximaciones y suposiciones incorporadas en los métodos y procedimiento de medición.
- f) Variaciones en observaciones repetidas del mensurando bajo condiciones aparentemente iguales.

### 2.3 Evaluación de la Incertidumbre Estándar Tipo A (Tienda.icontec.org, 1997)

En la mayoría de los casos, la mejor estimación disponible de la esperanza o valor esperado  $\mu_q$  de una magnitud  $q$  que varía aleatoriamente, y de la cual se han obtenido  $n$  observaciones independientes  $q_k$  bajo las mismas condiciones de medición, es la media aritmética o promedio  $\bar{q}$  de las  $n$  observaciones:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k$$

Las observaciones individuales  $q_k$  difieren en valor debido a las variaciones aleatorias en las magnitudes que las afectan, es decir, debido a efectos aleatorios. La varianza experimental de las observaciones, la cual estima la  $\sigma^2$  la distribución de probabilidad de  $q$  está dada por:

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

Esta estimación de la varianza y su raíz cuadrada positiva  $S(q_k)$ , denominada desviación estándar experimental, caracterizan a la variabilidad de los valores observados  $q$ , o más específicamente, su dispersión alrededor de la media  $\bar{q}$ .

La mejor estimación de la media está dada por:

$$S^2(\bar{q}) = \frac{S^2(q_k)}{n}$$

La varianza experimental de la media  $S^2(\bar{q})$  y la desviación estándar experimental de la media  $S(\bar{q})$ , que es igual a la raíz cuadrada positiva de  $S^2(\bar{q})$ , cuantifican qué tan bien  $\bar{q}$  estima el valor esperado  $\mu_q$ , de  $q$ , y cualquiera de ellas puede usarse como una medida de la incertidumbre de  $\bar{q}$ .

Por lo tanto, para un argumento  $X_i$  determinado a partir de  $n$  observaciones independientes repetidas  $x_{i,k}$ , y siendo  $S^2(X_i) = S^2(\bar{q}) = u^2(x_i)$  la incertidumbre estándar Tipo A se calcula así:

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{S^2(q_k)}{n}}$$

## 2.4 Determinación de la Incertidumbre Estándar Combinada (Tienda.icontec.org, 1997)

**2.4.1 Argumentos no Correlacionados.** Se aplica cuando todos los argumentos son independientes. El caso en el cual dos o más argumentos están relacionados, esto es, son interdependientes o correlacionados.

**2.4.2 Independencia.** Dos variables aleatorias son estadísticamente independientes si su distribución de probabilidad conjunta es igual al producto de las distribuciones de probabilidad individuales.

La incertidumbre estándar de  $y$ , donde  $y$  es la estimación del mesurando  $Y$  y por lo tanto el resultado de la medición se obtiene combinando apropiadamente las incertidumbres estándar de las estimaciones de los argumentos  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Esta es la incertidumbre estándar combinada de la estimación y se denota por  $u_c(y)$ .

La incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$  es la raíz cuadrada positiva de la varianza combinada  $u_c^2(y)$ , la cual está dada por:

$$u^2_c(y) = \sum_1^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

La varianza combinada  $u^2_c(y)$  puede entonces ser vista como una suma de términos, cada uno representa la varianza estimada asociada con la estimación del mensurando y generada por la varianza estimada asociada con cada estimación  $x_i$ .

Por último, entonces la  $u(y)$  se calcula de la siguiente manera:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2) + \dots + u^2(x_n)}$$

## 2.5 Determinación de la Incertidumbre Expandida (Tienda.icontec.org, 1997)

Aunque  $u_c(y)$  puede ser universalmente usada para expresar la incertidumbre del resultado de una medición, en algunas aplicaciones comerciales, industriales o regulatorias, y cuando la salud o la seguridad están involucradas, es frecuentemente necesario proporcionar una medida de la incertidumbre que define un intervalo alrededor del resultado de la medición que se espera incluya una fracción grande de la distribución de valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurando.

La incertidumbre expandida es la medida adicional de la incertidumbre que cumple con el requisito de definir un intervalo del tipo nombrado anteriormente y se denota por el símbolo  $U$ . La incertidumbre expandida  $U$  se obtiene al multiplicar la incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$  por un factor de cobertura  $k$ :

$$U = k u_c(y)$$

**2.5.1 Elección del factor de Cobertura.** El valor del factor de cobertura  $k$  se elige con base al nivel de confianza requerido. En general,  $k$  tomará valores entre 2 y 3, siendo 2 el valor para un

nivel de confianza del 95% y 3 para un nivel de confianza aproximadamente del 99%. Sin embargo, para ciertas aplicaciones especiales  $k$  podrá estar fuera de este intervalo de valores. La experiencia y el conocimiento a fondo del uso que se le dé a los resultados de las mediciones puede facilitar grandemente la selección del valor apropiado para  $k$ .

## 2.6 Valores de Aceptación para la Incertidumbre Estándar (Tienda.icontec.org, 1997)

La “incertidumbre de la incertidumbre”, es un concepto que se crea únicamente debido a razones puramente estadísticas de muestreo limitado, además de que puede tener un valor sorpresivamente grande.

A continuación, se muestra la desviación estándar de la desviación estándar experimental de la media  $\bar{q}$ , es decir, valores aceptables de incertidumbre estándar expresada en porcentaje:

| Número de observaciones<br>$n$ | $\sigma[s(\bar{q})] / \sigma(\bar{q})$<br>% |
|--------------------------------|---|
| 2                              | 76  |
| 3                              | 52  |
| 4                              | 42  |
| 5                              | 36  |
| 10                             | 24  |
| 20                             | 16  |
| 30                             | 13  |
| 50                             | 10  |

**Figura 1. Desviación Estándar de la Desviación Estándar Experimental de la Media  $\bar{q}$  de  $n$  Observaciones Independientes de una Variable Aleatoria Normalmente Distribuida  $q$ , Relativa a la Desviación Estándar de la Media.**

### 3. Metodología

Con el propósito de conseguir los objetivos propuestos para este trabajo se desarrolló una metodología llevando a cabo las siguientes etapas:

#### 3.1 Obtención de la Muestra de Suelo

Para realizar el estudio a un suelo tipo limo-arenoso se sustrajo una muestra de suelo ubicada dentro del campus de la Universidad Industrial de Santander, específicamente de la parte trasera del edificio CENTIC en el momento que se ejecutaba una obra de excavación de aproximadamente 3 [m] de profundidad.

Además, en el mismo momento se recolectaron alrededor de 80 kg de muestra; suficiente para realizar todo el proceso que conlleva el proyecto y así evitar posibles carencias de material.

#### 3.2 Proceso de Ensayo

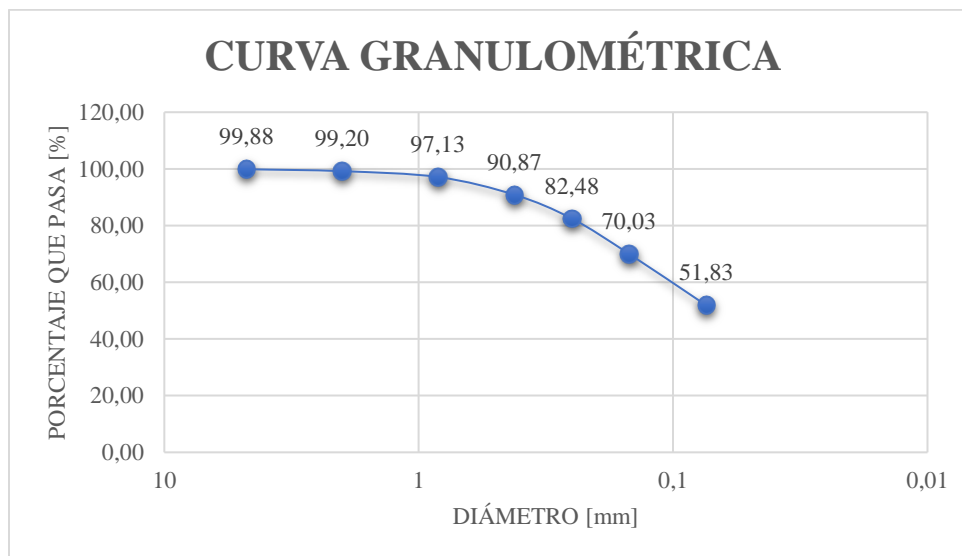
##### 3.2.1 Ensayos de Clasificación.

**3.2.1.1 Ensayos de Granulometría.** Para este trabajo se realizaron 3 ensayos de granulometría tal y como dice la norma I.N.V.E-123; Análisis Granulométrico de Suelos Por Tamizado, la cual tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

A continuación, se muestran los datos y resultados del ensayo No.1 como ejemplo que permite ilustrar la forma del cálculo, además de un promedio que incluye los resultados de los 3 ensayos nombrados anteriormente y que se encuentran contenidos en el anexo “A”:

**Tabla 1.***Pesos Retenidos en cada Tamiz.*

| MALLA No.    | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA |
|--------------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| ****         | mm       | gr                  | %                          | %                   |
| No. 4        | 4,75     | 0,7                 | 0,12                       | 99,88               |
| 10           | 2        | 4,1                 | 0,68                       | 99,20               |
| 20           | 0,84     | 12,4                | 2,07                       | 97,13               |
| 40           | 0,42     | 37,6                | 6,27                       | 90,87               |
| 60           | 0,25     | 50,3                | 8,38                       | 82,48               |
| 100          | 0,149    | 74,7                | 12,45                      | 70,03               |
| 200          | 0,074    | 109,2               | 18,20                      | 51,83               |
| PASA 200     | ****     | 309,1               | <b>51,52</b>               | 0,00                |
| SUMA         | ****     |                     | <b>48,05</b>               |                     |
| <b>TOTAL</b> |          | 598,1               | 99,68                      | 0,00                |

**Figura 2. Curva Granulométrica.****Gravas = 0.12%****Arenas = 48.05%****Finos = 51.52%**

**Tabla 2.**

*Promedio de los Resultados de los Ensayos Granulométricos.*

|               | ENSAYO<br>1 | ENSAYO<br>2 | ENSAYO<br>3 | PROMEDIO |
|---------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| <b>GRAVAS</b> | 0,12        | 0,20        | 0,32        | 0,21     |
| <b>ARENAS</b> | 48,05       | 48,72       | 49,38       | 48,72    |
| <b>FINOS</b>  | 51,52       | 51,05       | 50,23       | 50,93    |

**3.2.1.2 Ensayos de Límites de Atterberg.** Se realizaron 3 ensayos de límites tal y como dice las normas; I.N.VE. 125 - Determinación del Límite Líquido de los Suelos, cuyo objeto principal es determinar el contenido de humedad cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico; y I.N.VE. 126 – Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos, la cual pretende hallar los parámetros que se nombran en su título.

A continuación, se muestran los datos y resultados del ensayo No.3 como ejemplo que permite ilustrar la forma del cálculo, además de un promedio que incluye los resultados de los 3 ensayos nombrados anteriormente y que se encuentran contenidos en el anexo “A”

Límite Líquido

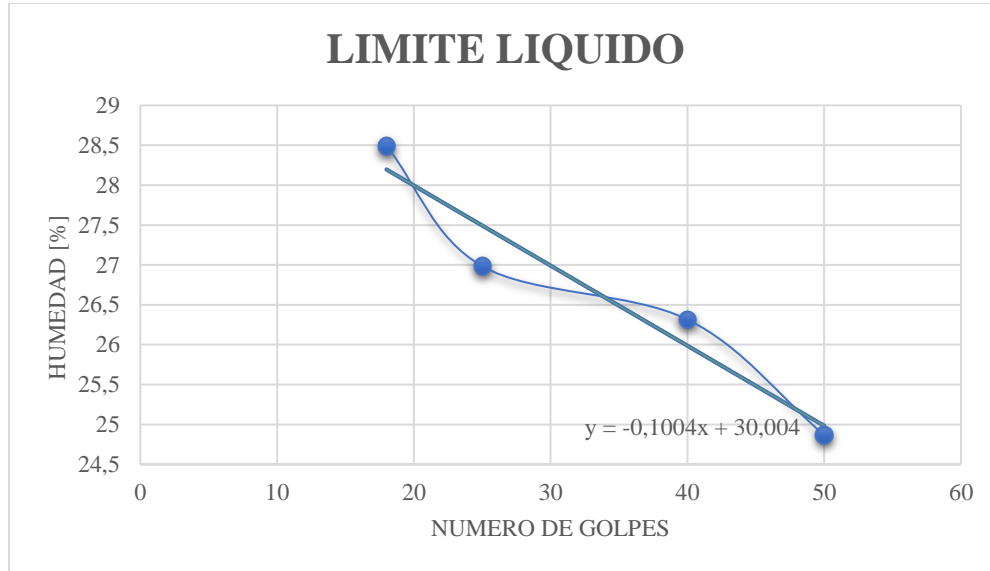
**Tabla 3.***Datos del Límite Líquido.*

| CAPSULA No | NUMERO DE GOLPES | PESO CAPSULA | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | PESO CAPSULA + SUELO SECO | PESO DEL AGUA | PESO SUELO SECO | CONTENIDO DE AGUA |
|------------|------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| ***        | ***              | gr           | gr                          | gr                        | gr            | Gr              | %                 |
| 1          | 50               | 8,6          | 32,2                        | 27,5                      | 4,7           | 18,9            | 24,87             |
| 2          | 40               | 8,8          | 32,8                        | 27,8                      | 5             | 19              | 26,32             |
| 3          | 25               | 8,5          | 32,5                        | 27,4                      | 5,1           | 18,9            | 26,98             |
| 4          | 18               | 9            | 32                          | 26,9                      | 5,1           | 17,9            | 28,49             |

Límite Plástico

**Tabla 4.***Datos del Límite Plástico.*

| CAPSULA No      | NUMERO DE GOLPES | PESO CAPSULA | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | PESO CAPSULA + SUELO SECO | PESO DEL AGUA | PESO SUELO SECO | CONTENIDO DE AGUA |
|-----------------|------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| 5               |                  | 8,8          | 21                          | 19,1                      | 1,9           | 10,3            | 18,45             |
| 6               |                  | 8,7          | 20,8                        | 18,9                      | 1,9           | 10,2            | 18,63             |
| <b>PROMEDIO</b> |                  |              |                             |                           |               |                 | 18,54             |



**Figura 3. Gráfica Límite Líquido.**

**Límite líquido = 27%**

**Límite plástico = 19%**

**Índice de plasticidad = 9%**

**Tabla 5.**

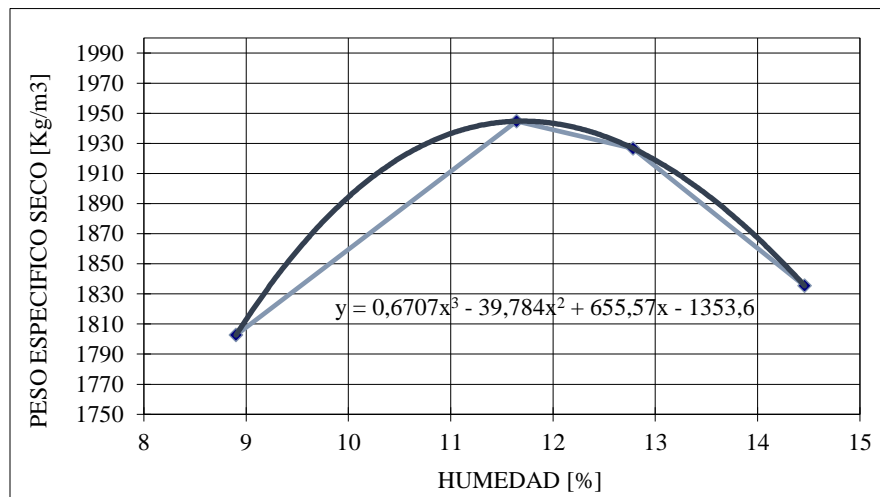
*Promedio de los Resultados de los Ensayos de Límites.*

|                              | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | ENSAYO 3 | PROMEDIO |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>LÍMITE LIQUIDO</b>        | 27,00    | 28,00    | 30,00    | 29,00    |
| <b>LÍMITE PLASTICO</b>       | 19,00    | 18,00    | 19,00    | 19,00    |
| <b>INDICE DE PLASTICIDAD</b> | 8,00     | 10,00    | 11,00    | 10,00    |
| <b>CLASIFICACION SUCS</b>    | CL       | CL       | CL       | CL       |

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de los ensayos de clasificación y con base en el Sistema USCS de Clasificación de Suelos se caracteriza la muestra como una arcilla limo-arenosa de símbolo CL.

**3.2.1.3 Ensayo de Proctor Modificado.** Se realizó el ensayo conforme se indica en la norma I.N.V.E – 142 – Relaciones de Humedad Masa Unitaria Seca en los Suelos (Ensayo Modificado de Compactación), cuyo objeto principal es determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de Proctor Modificado, obteniendo el valor de la humedad óptima del suelo en porcentaje y densidad máxima seca en kg/m<sup>3</sup>:



**Figura 4. Curva de Compactación de Proctor Modificado**

Según lo analizado en el gráfico anterior se obtuvo los siguientes valores:

$$\text{Densidad Máxima Seca} = 1945 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Humedad Óptima} = 11.6\%$$

### **3.2.2 Parámetros Necesarios para Realizar el Ensayo de Corte Directo.**

**3.2.2.1 Prueba de Saturación.** Una vez conocidas la densidad y humedad óptima del suelo, se hizo necesario conocer el tiempo que tardaría en saturarse la muestra para poder avanzar con el ensayo de corte. Para ello se realizaron varias pruebas con el fin de encontrar el tiempo aproximado en el que la muestra alcanzaba una saturación mayor o igual al 95% utilizando entre otras cosas las relaciones gravimétricas y volumétricas del estudio de los suelos; obteniendo el siguiente resultado:

$$t_{\text{aprox sat.}} = 16 \text{ [hr]}$$

**3.2.2.2 Ensayo de Consolidación.** Para realizar el ensayo de corte directo también es necesario conocer el tiempo que tarda la muestra en tener una consolidación apropiada y la velocidad del corte.

Para ello se procedió a realizar el ensayo de acuerdo con la norma I.N.V.E – 151 – Consolidación Unidimensional de los Suelos, que nos proporciona el procedimiento para obtener dichos valores.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, los cuales fueron fundamentales a la hora de realizar los ensayos de corte directo:

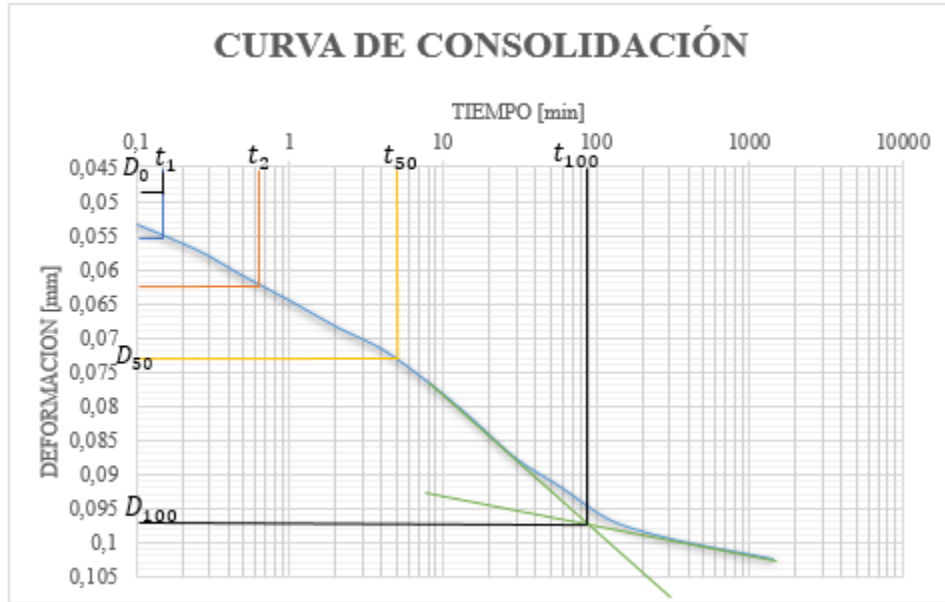


Figura 5. Curva de Consolidación

Tabla 6.

Datos de Consolidación.

|              |     |     |
|--------------|-----|-----|
| <b>t50 =</b> | 5   | min |
| <b>df =</b>  | 12  | mm  |
| <b>tf =</b>  | 235 | min |

$$\text{Vel. Corte} = 0.051 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$$

$$\text{Tiempo de Consolidación} = 90 \text{ [min]}$$

**3.2.3 Ensayos de Corte Directo.** Los ensayos de corte directo se realizaron de acuerdo con la norma I.N.V.E – 154 – Determinación de la Resistencia al Corte Método de Corte Directo (Consolidado Drenado), que tiene como objeto principal determinar la resistencia al corte de una

muestra de suelo consolidada y drenada, además de hallar parámetros tales como el ángulo de fricción del suelo y la cohesión que este presenta.

Para llevar a cabo los ensayos se fijó un procedimiento estándar y una metodología específica con el fin de dar cumplimiento al objetivo general de este proyecto, por lo cual, se definió que existirían dos operarios cada uno con 15 ensayos correspondientes para un total de 30 ensayos de corte directo. Se hace grande dicho número de ensayos ya que para hallar un valor de incertidumbre es necesario tener una muestra representativa considerable.

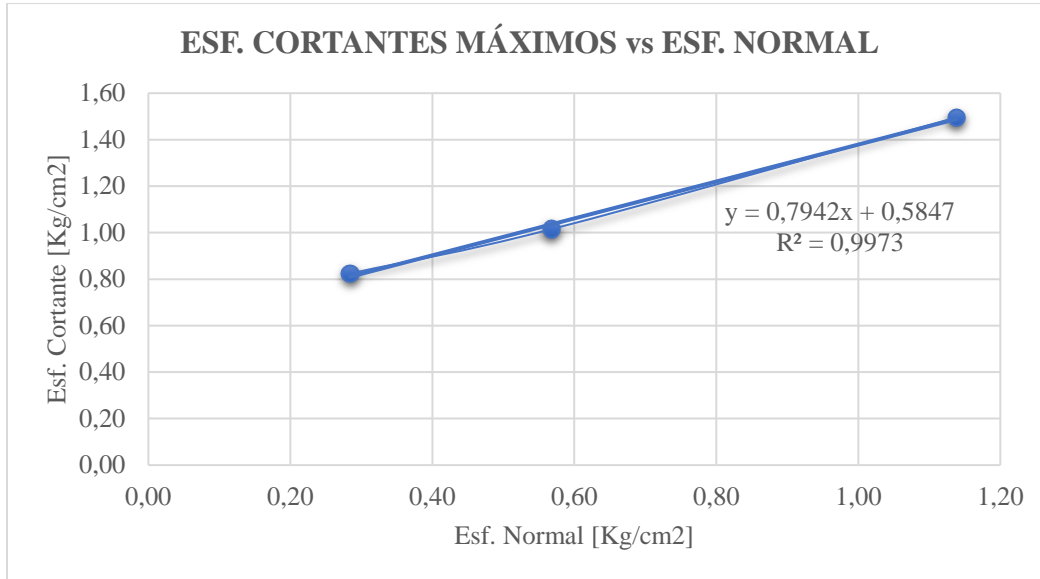
Así pues, se procedió a realizar los 30 ensayos con una toma de datos manual y exhaustiva que comprendió la deformación vertical en pulgadas y la resistencia al corte en kg, estas dos variables cada 0.25 mm de deformación horizontal.

## **4. Resultados**

### **4.1 Resultados Obtenidos de los Ensayos de Corte Directo**

Los resultados finales que se obtuvieron de los ensayos de corte directo fueron los ángulos de fricción del suelo y los valores de cohesión. Dichos valores se consiguieron basados en la ecuación general de esfuerzo cortante y una regresión lineal que se obtiene del gráfico de Esfuerzo Cortante Máximo vs Esfuerzo Normal así:

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi)$$



**Figura 6. Ejemplo de Regresión Lineal.**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados por parte de cada uno de los operarios:

**4.1.1 Resultados Operario 1.**

**Tabla 7.**

*Resultados de los Ensayos, Operario 1.*

| # | 8 Kg                     |                        | 16 Kg                    |                        | 32 Kg                    |                        | Ø     | C     |
|---|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------|-------|
|   | ESFUERZO CORTANTE MAXIMO | ESFUERZO NORMAL MAXIMO | ESFUERZO CORTANTE MAXIMO | ESFUERZO NORMAL MAXIMO | ESFUERZO CORTANTE MAXIMO | ESFUERZO NORMAL MAXIMO |       |       |
|   | kg/cm <sup>2</sup>       | kg/cm <sup>2</sup>     | kg/cm <sup>2</sup>       | kg/cm <sup>2</sup>     | kg/cm <sup>2</sup>       | kg/cm <sup>2</sup>     |       |       |
| 1 | 0,824                    | 0,284                  | 1,015                    | 0,568                  | 1,495                    | 1,138                  | 38,46 | 0,585 |
| 2 | 0,797                    | 0,285                  | 0,942                    | 0,568                  | 1,431                    | 1,138                  | 37,23 | 0,553 |
| 3 | 0,831                    | 0,285                  | 0,811                    | 0,568                  | 1,455                    | 1,141                  | 38,18 | 0,510 |
| 4 | 0,747                    | 0,284                  | 0,947                    | 0,568                  | 1,411                    | 1,138                  | 38,06 | 0,516 |
| 5 | 0,798                    | 0,284                  | 0,948                    | 0,569                  | 1,454                    | 1,138                  | 38,17 | 0,545 |
| 6 | 0,643                    | 0,284                  | 0,899                    | 0,570                  | 1,311                    | 1,139                  | 37,73 | 0,437 |
| 7 | 0,805                    | 0,284                  | 0,890                    | 0,569                  | 1,457                    | 1,137                  | 38,58 | 0,521 |

Continuación Tabla 7

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8  | 0,816 | 0,284 | 1,165 | 0,569 | 1,518 | 1,139 | 38,39 | 0,640 |
| 9  | 0,696 | 0,284 | 0,962 | 0,567 | 1,384 | 1,136 | 38,60 | 0,485 |
| 10 | 0,798 | 0,284 | 1,207 | 0,569 | 1,511 | 1,140 | 38,28 | 0,648 |
| 11 | 0,684 | 0,284 | 1,098 | 0,569 | 1,406 | 1,138 | 38,77 | 0,530 |
| 12 | 0,833 | 0,285 | 0,891 | 0,568 | 1,471 | 1,137 | 38,24 | 0,542 |
| 13 | 0,831 | 0,285 | 1,001 | 0,568 | 1,501 | 1,141 | 38,52 | 0,582 |
| 14 | 0,712 | 0,284 | 0,955 | 0,568 | 1,401 | 1,137 | 38,77 | 0,490 |
| 15 | 0,761 | 0,284 | 1,010 | 0,569 | 1,435 | 1,138 | 38,08 | 0,548 |

**4.1.1.1 Estadística de los Valores Obtenidos.****Tabla 8.****Variables Estadísticas del Ángulo de Fricción.**

| ÁNGULO DE FRICCIÓN |        |
|--------------------|--------|
| Numero de datos    | 15     |
| Media              | 38,27  |
| Varianza           | 0,1639 |
| Dev. Estándar      | 0,4049 |
| Rango              | 1,54   |
| Mínimo             | 37,23  |
| Maximo             | 38,77  |

**Tabla 9.****Variables Estadísticas de la Cohesión.**

| COHESIÓN        |        |
|-----------------|--------|
| Número de datos | 15     |
| Media           | 0,54   |
| Varianza        | 0,0031 |
| Dev. Estándar   | 0,0558 |
| Rango           | 0,21   |
| Mínimo          | 0,44   |
| Maximo          | 0,65   |

Resultados Operario 2.

**Tabla 10.****Resultados de los Ensayos, Operario 2.**

| #  | 8 Kg                           |                              | 16 Kg                          |                              | 32 Kg                          |                              | Ø     | C     |
|----|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------|-------|
|    | ESFUERZO<br>CORTANTE<br>MAXIMO | ESFUERZO<br>NORMAL<br>MAXIMO | ESFUERZO<br>CORTANTE<br>MAXIMO | ESFUERZO<br>NORMAL<br>MAXIMO | ESFUERZO<br>CORTANTE<br>MAXIMO | ESFUERZO<br>NORMAL<br>MAXIMO |       |       |
|    | kg/cm <sup>2</sup>             | kg/cm <sup>2</sup>           | kg/cm <sup>2</sup>             | kg/cm <sup>2</sup>           | kg/cm <sup>2</sup>             | kg/cm <sup>2</sup>           |       |       |
| 16 | 0,658                          | 0,284                        | 0,929                          | 0,570                        | 1,349                          | 1,139                        | 38,61 | 0,448 |
| 17 | 0,765                          | 0,284                        | 0,940                          | 0,570                        | 1,427                          | 1,137                        | 38,25 | 0,521 |
| 18 | 0,796                          | 0,284                        | 1,062                          | 0,569                        | 1,488                          | 1,139                        | 38,66 | 0,584 |
| 19 | 0,811                          | 0,284                        | 1,046                          | 0,568                        | 1,506                          | 1,138                        | 39,11 | 0,582 |
| 20 | 0,816                          | 0,285                        | 1,025                          | 0,568                        | 1,471                          | 1,137                        | 37,60 | 0,593 |
| 21 | 0,729                          | 0,284                        | 1,096                          | 0,568                        | 1,422                          | 1,138                        | 37,86 | 0,567 |
| 22 | 0,703                          | 0,284                        | 0,958                          | 0,568                        | 1,367                          | 1,136                        | 37,63 | 0,498 |
| 23 | 0,823                          | 0,284                        | 1,032                          | 0,569                        | 1,495                          | 1,139                        | 38,29 | 0,592 |
| 24 | 0,743                          | 0,284                        | 1,063                          | 0,570                        | 1,417                          | 1,139                        | 37,41 | 0,566 |
| 25 | 0,754                          | 0,284                        | 1,013                          | 0,568                        | 1,455                          | 1,141                        | 39,07 | 0,535 |
| 26 | 0,683                          | 0,284                        | 0,939                          | 0,569                        | 1,347                          | 1,139                        | 37,55 | 0,479 |
| 27 | 0,689                          | 0,284                        | 0,960                          | 0,569                        | 1,377                          | 1,135                        | 38,58 | 0,480 |
| 28 | 0,802                          | 0,284                        | 1,092                          | 0,569                        | 1,493                          | 1,138                        | 38,48 | 0,602 |
| 29 | 0,791                          | 0,285                        | 1,020                          | 0,568                        | 1,458                          | 1,138                        | 37,95 | 0,572 |
| 30 | 0,710                          | 0,284                        | 0,996                          | 0,569                        | 1,394                          | 1,138                        | 38,17 | 0,512 |

**4.1.2.1 Estadística de los Valores Obtenidos.****Tabla 11.****Variables Estadísticas del Ángulo de Fricción.**

| ÁNGULO DE FRICCIÓN |        |
|--------------------|--------|
| Numero de datos    | 15     |
| Media              | 38,21  |
| Varianza           | 0,2918 |
| Dev. Estándar      | 0,5402 |
| Rango              | 1,70   |
| Mínimo             | 37,41  |
| Maximo             | 39,11  |

**Tabla 12.***Variables Estadísticas de la Cohesión.*

| COHESIÓN        |        |
|-----------------|--------|
| Numero de datos | 15     |
| Media           | 0,54   |
| Varianza        | 0,0024 |
| Dev. Estándar   | 0,0494 |
| Rango           | 0,15   |
| Mínimo          | 0,45   |
| Maximo          | 0,60   |

**4.2 Cálculo de la Incertidumbre del Ensayo**

Para realizar el cálculo de la incertidumbre se analizaron los dos parámetros que se obtienen del ensayo del corte que son el ángulo de fricción del suelo y la cohesión.

El cálculo se hizo de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana GTC – 51 – Guía Para La Expresión de Incertidumbre en las Mediciones. Tal y como aplica en este proyecto se calcularon 3 tipos de incertidumbre, las cuales se muestran a continuación:

**4.2.1 Incertidumbre Estándar Tipo A.** Para determinar los valores de incertidumbre Tipo A se sigue el procedimiento descrito en el apartado **2.3**

- Operario 1

$$n(\# \text{ datos}) = 15$$

$$\bar{q}(\emptyset) = 38.27^\circ \quad \bar{q}(C) = 0.54 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

**Tabla 13.****Resultados de Incertidumbre Estándar Tipo A Operario 1.**

| <b>(1) - INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR - Tipo A</b> |        |                   |          |
|--|--------|-------------------|----------|
| s2(qk)=                                      | 0,164  | s2(qk)=           | 0,003113 |
| s2(qprom)=                                   | 0,011  | s2(qprom)=        | 0,000208 |
| U(xi) Ø [°]=                                 | 0,1045 | U(xi) C [kg/cm2]= | 0,0144   |

- Operario 2

$$n (\# \text{ datos}) = 15$$

$$\bar{q}(\emptyset) = 38.21^\circ \quad \bar{q}(C) = 0.54 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

**Tabla 14****Resultados de Incertidumbre Estándar Tipo A Operario 2.**

| <b>(2) - INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR - Tipo A</b> |        |                   |          |
|--|--------|-------------------|----------|
| s2(qk)=                                      | 0,292  | s2(qk)=           | 0,002440 |
| s2(qprom)=                                   | 0,019  | s2(qprom)=        | 0,000163 |
| U(xi) Ø [°]=                                 | 0,1395 | U(xi) C [kg/cm2]= | 0,0128   |

Para expresar la incertidumbre en porcentaje se realiza el siguiente cálculo y así poder comparar los resultados con los valores que se muestran en la tabla 1.

$$u(x_i)\% = \frac{u(x_i) * 100}{\bar{q}}$$

$$u(x) = \frac{0.1045 * 100}{38.27} = 0.27\%$$

**Tabla 15.***Valores de Incertidumbre Expresados en Porcentaje para el Operario (1).*

| <b>(1) - INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR - Tipo A</b> |        |                   |        |
|--|--------|-------------------|--------|
| U(xi) Ø [°]=                                 | 0,1045 | U(xi) C [kg/cm2]= | 0,0144 |
| U(xi) Ø [%]=                                 | 0,27%  | U(xi) C [%]=      | 2,66%  |

**Tabla 16.***Valores de Incertidumbre Expresados en Porcentaje para el Operario (2).*

| <b>(2) - INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR - Tipo A</b> |        |                   |        |
|--|--------|-------------------|--------|
| U(xi) Ø [°]=                                 | 0,1395 | U(xi) C [kg/cm2]= | 0,0128 |
| U(xi) Ø [%]=                                 | 0,36%  | U(xi) C [%]=      | 2,35%  |

**4.2.2 Incertidumbre Estándar Combinada.** Los valores de incertidumbre combinada se determinan a partir del procedimiento descrito en el apartado **2.4**

**Tabla 17.***Resultados de Incertidumbre Estándar Combinada.*

| <b>INCERTIDUMBRE ESTANDÁR COMBINADA</b> |        |                   |        |
|---|--------|-------------------|--------|
| Uc(y) Ø [°]=                            | 0,1743 | Uc(y) C [kg/cm2]= | 0,0192 |

**4.2.3 Incertidumbre Expandida.** Para determinar el valor de la incertidumbre expandida se escogió un valor de  $k=2$  para obtener un nivel de confiabilidad del 95% y se calcula como se describe en el apartado **2.5**

**Tabla 18.*****Resultados Incertidumbre Expandida.***

| INCERTIDUMBRE EXPANDIDA |        |               |        |
|-------------------------|--------|---------------|--------|
| U Ø [°]=                | 0,3486 | U C [kg/cm2]= | 0,0385 |

**5. Conclusiones**

- ✓ En el presente trabajo se caracterizó un suelo obteniendo las propiedades de densidad máxima igual a 1.95 [Ton/m<sup>3</sup>] y humedad óptima del 11.6%. Por otra parte, la clasificación que presenta la muestra está dada por una composición de arcilla limo-arenosa que según el Sistema USCS de Clasificación de Suelos le corresponde un símbolo CL.
- ✓ Se obtuvieron los valores de ángulo de fricción y cohesión correspondientes a 30 ensayos de corte directo con los cuales se puede evidenciar que no presentan gran dispersión, ya que los ángulos de fricción varían en un rango aproximado de entre 37.23° y 39.11° mientras que los valores de cohesión varían entre 0.44 y 0.65 [kg/cm<sup>2</sup>].
- ✓ Se logró calcular los valores de incertidumbre mostrando los siguientes resultados para los dos parámetros analizados con las unidades de [grados] y [kg/cm<sup>2</sup>] para el ángulo de fricción y la cohesión respectivamente.

**Incertidumbre estándar Tipo A**

El operario 1 obtuvo un valor de 0.1045 que corresponde a un 0.27% para el ángulo de fricción y 0.0144 para la cohesión con un valor de 2.67%. El operario 2 consiguió un valor de 0.1395 con 0.36% y 0.0128 con 2.31% de incertidumbre.

### Incertidumbre estándar combinada

Se obtuvo un valor de 0.1743 para el ángulo de fricción y 0.0192 para la cohesión.

### Incertidumbre expandida

Un valor de 0.3486 y 0.0385 para los parámetros nombrados anteriormente.

Con el análisis realizado se puede afirmar que la incertidumbre calculada presenta valores admisibles, ya que se encuentra dentro del rango del 13% que se establece para la incertidumbre estándar Tipo A y para número de observaciones igual a 30 (ensayos de corte directo), tal y como se muestra en la Tabla 1 del apartado **2.6**, mismo que se rige por la Norma Técnica Colombiana GTC-51.

- ✓ Se hizo un estudio a un suelo típico de la ciudad de Bucaramanga – Santander en donde se observó que este puede alterar su clasificación con facilidad variando entre limo-arenoso, arcillo-limoso y areno-limoso dependiendo del lugar donde se toma la muestra, ya que los valores de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg se encuentran muy próximos entre sí.
- ✓ El estudio se realizó como parte de una primera investigación sobre el tema.

## **6. Discusión y Recomendaciones**

La realización de los ensayos de corte directo es una labor ardua y extensa, situación que puede influir en el ánimo o condición física del operador y a su vez en los resultados que se obtienen del ensayo, ya que a la hora de la toma de datos es una actividad que se hace manualmente, es decir, la maquina no cuenta con un software capaz de reproducir dichos datos, al menos en los laboratorios donde se llevaron a cabo los ensayos de este proyecto.

Es por eso por lo que la condición del operador influye mucho, pues debe estar muy atento en la recopilación de datos mostrados en la máquina de corte; pues si existe una gran dispersión en los datos a la hora de calcular la incertidumbre arrojará un valor mucho más alto, la cual es una de las principales causas para que exista un valor grande de incertidumbre.

Para finalizar se recomienda a la hora de hacer los ensayos en dichos laboratorios, estar en óptimas condiciones físicas para tener una mejor observación y recopilación de los datos para que esta situación no sea una variable considerable al momento de hallar un valor de incertidumbre.

### Referencias Bibliográficas

Icc.ucv.cl. (2017). *Ensayo corte directo*.

Invias. (2007). Análisis granulométrico de suelos por tamizado (I.N.V. E - 123 - 07). 6.

Invias. (2007). Determinación del límite líquido de los suelos (I.N.V.E - 125 - 07). 13.

Invias. (2007). Límite plástico e índice de plasticidad de suelos (I.N.V.E -126-07). 7.

Invias. (2007a). Consolidación unidimensional de los suelos (I.N.V.E - 151 - 07). 17.

Invias. (2007a). Relaciones de humedad - masa unitaria seca en los suelos [Ensayo modificado de compactación] (I.N.V.E - 142 - 07). 12.

Invias. (2007b). Determinación de la resistencia al corte método de corte directo [CD] [consolidado drenado] (I.N.V.E -154 - 07). 10.

Martín, J., & Campo, D. (s.f.). *Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales*. Obtenido de

[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CALCULODEINCERTIDUMBRESDR.JA VIERMIRANDA\\_26197.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CALCULODEINCERTIDUMBRESDR.JA VIERMIRANDA_26197.pdf)

Rosales, M, P., & Basto, D. (2018). Análisis de la incertidumbre para el ensayo de corte directo y observación de los factores que influyen en la confiabilidad de los resultados. Universidad Industrial de Santander, Bucarama.

Serrano Méndez, J. (2017). *Interpretación de los resultados del ensayo de corte directo en arcillas consolidadas*. Obtenido de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5855/tfe-ser-int.pdf?sequence=1>

Tienda.icontec.org. (1997). *Norma Técnica Colombiana GTC 51: Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones*. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/GTC51.pdf>

Valeriano, Y., & Valcnzuela, A. (2015). Incertidumbre en ensayos estándar de mecánica de suelos para la confiabilidad en los laboratorios geotécnicos. 4(1). Obtenido de <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/RCI/article/view/817/638>

**Apéndices**

**Ensayos de Clasificación**

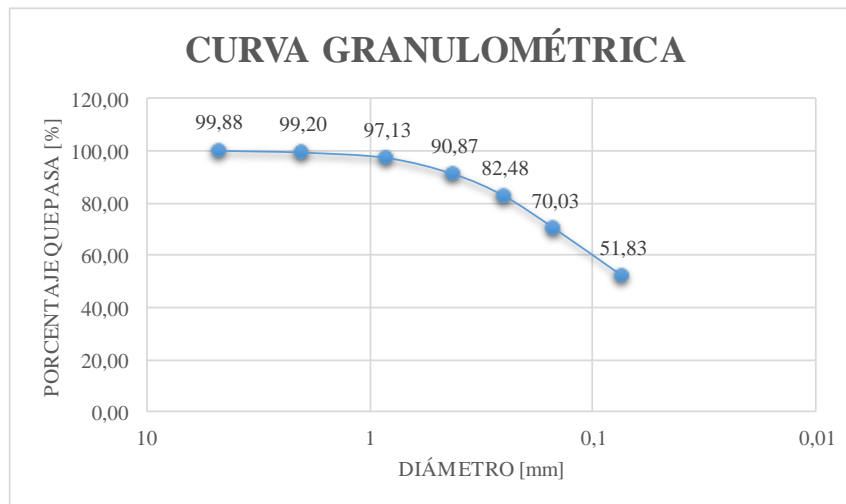
**Apéndice A. Ensayo No. 1 de Granulometría**

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA INV E-123**

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| PESO TARA (g)           | 7,8   |
| TARA+MUESTRA HÚMEDA (g) | 607,8 |
| TARA+MUESTRA SECA (g)   | 305,9 |
| PESO AGUA (g)           | 301,9 |
| PESO MUESTRA SECA (g)   | 298,1 |
| HUMEDAD (%)             |       |

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| ENSAYO No.                      | <b>1</b> |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g): | 600      |
| PESO DESPUÉS DE LAVADO (g):     | 298,1    |
| PORCENTAJE DE ERROR (%):        | 0,32     |

| MALLA No. | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA | MALLA No.    | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA |
|-----------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| ***       | mm       | gr                  | %                          | %                   | ****         | mm       | gr                  | %                          | %                   |
| 2"        | 50,8     | 0                   | 0                          | 100                 | 10           | 2        | 4,1                 | 0,68                       | 99,20               |
| 1 1/2"    | 36,1     | 0                   | 0                          | 100                 | 20           | 0,84     | 12,4                | 2,07                       | 97,13               |
| 1"        | 25,4     | 0                   | 0                          | 100                 | 40           | 0,42     | 37,6                | 6,27                       | 90,87               |
| 3/4"      | 19,05    | 0                   | 0                          | 100                 | 60           | 0,25     | 50,3                | 8,38                       | 82,48               |
| 1/2"      | 12,7     | 0                   | 0                          | 100                 | 100          | 0,149    | 74,7                | 12,45                      | 70,03               |
| 3/8"      | 9,52     | 0                   | 0                          | 100                 | 200          | 0,074    | 109,2               | 18,20                      | 51,83               |
| No. 4     | 4,75     | 0,7                 | 0,12                       | 99,88               | PASA 200     | ****     | 309,1               | <b>51,52</b>               | 0,00                |
| SUMA      | ****     |                     | <b>0,12</b>                |                     | SUMA         | ****     |                     | <b>48,05</b>               |                     |
|           |          |                     |                            |                     | <b>TOTAL</b> |          | 598,1               | 99,68                      | 0,00                |



|         |       |   |
|---------|-------|---|
| GRAVAS= | 0,12  | % |
| ARENAS= | 48,05 | % |
| FINOS=  | 51,52 | % |

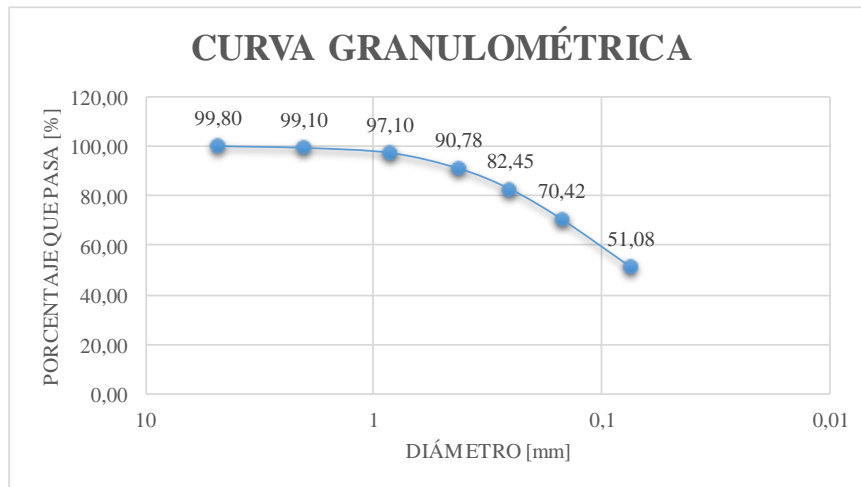
**Apéndice B. Ensayo No. 2 de Granulometría**

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA INV E-123**

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| PESO TARA (g)           | 7,8   |
| TARA+MUESTRA HÚMEDA (g) | 607,8 |
| TARA+MUESTRA SECA (g)   | 311,8 |
| PESO AGUA (g)           | 296   |
| PESO MUESTRA SECA (g)   | 304   |
| HUMEDAD (%)             |       |

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| ENSAYO No.                      | <u>2</u>    |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g): | <u>600</u>  |
| PESO DESPUÉS DE LAVADO (g):     | <u>304</u>  |
| PORCENTAJE DE ERROR (%):        | <u>0,03</u> |

| MALLA No. | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA | MALLA No.    | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA |
|-----------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| ***       | mm       | gr                  | %                          | %                   | ****         | mm       | gr                  | %                          | %                   |
| 2"        | 50,8     | 0                   | 0                          | 100                 | 10           | 2        | 4,2                 | 0,70                       | 99,10               |
| 1 1/2"    | 36,1     | 0                   | 0                          | 100                 | 20           | 0,84     | 12                  | 2,00                       | 97,10               |
| 1"        | 25,4     | 0                   | 0                          | 100                 | 40           | 0,42     | 37,9                | 6,32                       | 90,78               |
| 3/4"      | 19,05    | 0                   | 0                          | 100                 | 60           | 0,25     | 50                  | 8,33                       | 82,45               |
| 1/2"      | 12,7     | 0                   | 0                          | 100                 | 100          | 0,149    | 72,2                | 12,03                      | 70,42               |
| 3/8"      | 9,52     | 0                   | 0                          | 100                 | 200          | 0,074    | 116                 | 19,33                      | 51,08               |
| No. 4     | 4,75     | 1,2                 | 0,20                       | 99,80               | PASA 200     | ****     | 306,3               | <b>51,05</b>               | 0,00                |
| SUMA      | *****    |                     | <b>0,20</b>                |                     | SUMA         | ****     |                     | <b>48,72</b>               |                     |
|           |          |                     |                            |                     | <b>TOTAL</b> |          | 599,8               | 99,97                      | 0,00                |



|         |              |   |
|---------|--------------|---|
| GRAVAS= | <u>0,20</u>  | % |
| ARENAS= | <u>48,72</u> | % |
| FINOS=  | <u>51,05</u> | % |

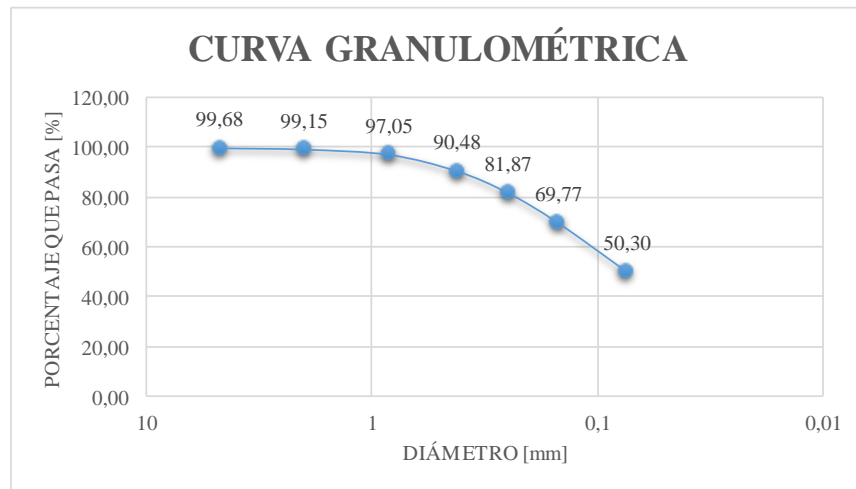
**Apéndice C. Ensayo No. 3 de Granulometría**

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA INV E-123**

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| PESO TARA (g)           | 7,8   |
| TARA+MUESTRA HÚMEDA (g) | 607,8 |
| TARA+MUESTRA SECA (g)   | 320,7 |
| PESO AGUA (g)           | 287,1 |
| PESO MUESTRA SECA (g)   | 312,9 |
| HUMEDAD (%)             |       |

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| ENSAYO No.                      | <b>3</b> |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g): | 600      |
| PESO DESPUÉS DE LAVADO (g):     | 312,9    |
| PORCENTAJE DE ERROR (%):        | 0,07     |

| MALLA No. | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA | MALLA No.    | ABERTURA | PESO SUELO RETENIDO | PORCIENTO RETENIDO PARCIAL | % QUE PASA LA MALLA |
|-----------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| ***       | mm       | gr                  | %                          | %                   | ****         | mm       | gr                  | %                          | %                   |
| 2"        | 50,8     | 0                   | 0                          | 100                 | 10           | 2        | 3,2                 | 0,53                       | 99,15               |
| 1 1/2"    | 36,1     | 0                   | 0                          | 100                 | 20           | 0,84     | 12,6                | 2,10                       | 97,05               |
| 1"        | 25,4     | 0                   | 0                          | 100                 | 40           | 0,42     | 39,4                | 6,57                       | 90,48               |
| 3/4"      | 19,05    | 0                   | 0                          | 100                 | 60           | 0,25     | 51,7                | 8,62                       | 81,87               |
| 1/2"      | 12,7     | 0                   | 0                          | 100                 | 100          | 0,149    | 72,6                | 12,10                      | 69,77               |
| 3/8"      | 9,52     | 0                   | 0                          | 100                 | 200          | 0,074    | 116,8               | 19,47                      | 50,30               |
| No. 4     | 4,75     | 1,9                 | 0,32                       | 99,68               | PASA 200     | ****     | 301,4               | <b>50,23</b>               | 0,00                |
| SUMA      | *****    |                     | <b>0,32</b>                |                     | SUMA         | ****     |                     | <b>49,38</b>               |                     |
|           |          |                     |                            |                     | <b>TOTAL</b> |          | 599,6               | 99,93                      | 0,00                |



|         |       |   |
|---------|-------|---|
| GRAVAS= | 0,32  | % |
| ARENAS= | 49,38 | % |
| FINOS=  | 50,23 | % |

**Apéndice D. Ensayo No. 1 de Límites de Atterberg**

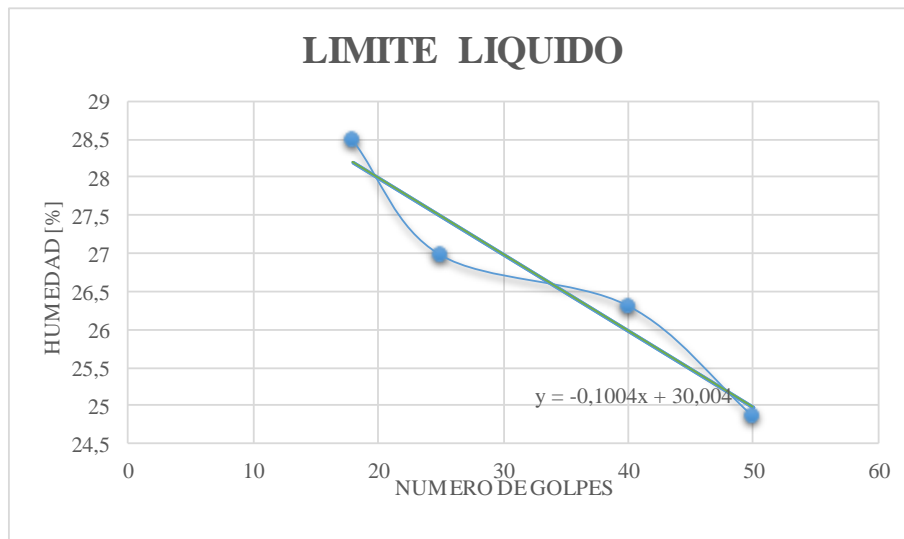
**LIMITES DE ATTERBERG INV E-125,126**

**LIMITE LIQUIDO**

| CAPSULA No | NUMERO DE GOLPES | PESO CAPSULA | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | PESO CAPSULA + SUELO SECO | PESO DEL AGUA | PESO SUELO SECO | CONTENIDO DE AGUA |
|------------|------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| ***        | ***              | gr           | gr                          | gr                        | gr            | gr              | %                 |
| 1          | 50               | 8,6          | 32,2                        | 27,5                      | 4,7           | 18,9            | 24,87             |
| 2          | 40               | 8,8          | 32,8                        | 27,8                      | 5             | 19              | 26,32             |
| 3          | 25               | 8,5          | 32,5                        | 27,4                      | 5,1           | 18,9            | 26,98             |
| 4          | 18               | 9            | 32                          | 26,9                      | 5,1           | 17,9            | 28,49             |

**LIMITE PLASTICO**

|                 |  |     |      |      |     |      |       |
|-----------------|--|-----|------|------|-----|------|-------|
| 5               |  | 8,8 | 21   | 19,1 | 1,9 | 10,3 | 18,45 |
| 6               |  | 8,7 | 20,8 | 18,9 | 1,9 | 10,2 | 18,63 |
| <b>PROMEDIO</b> |  |     |      |      |     |      | 18,54 |



|                               |           |   |
|-------------------------------|-----------|---|
| <b>LIMITE LIQUIDO:</b>        | <u>27</u> | % |
| <b>LIMITE PLASTICO:</b>       | <u>19</u> | % |
| <b>INDICE DE PLASTICIDAD:</b> | <u>8</u>  | % |
| <b>CLASIFICACIÓN SUCS:</b>    | <u>CL</u> |   |

**Apéndice E. Ensayo No. 2 de Límites de Atterberg**

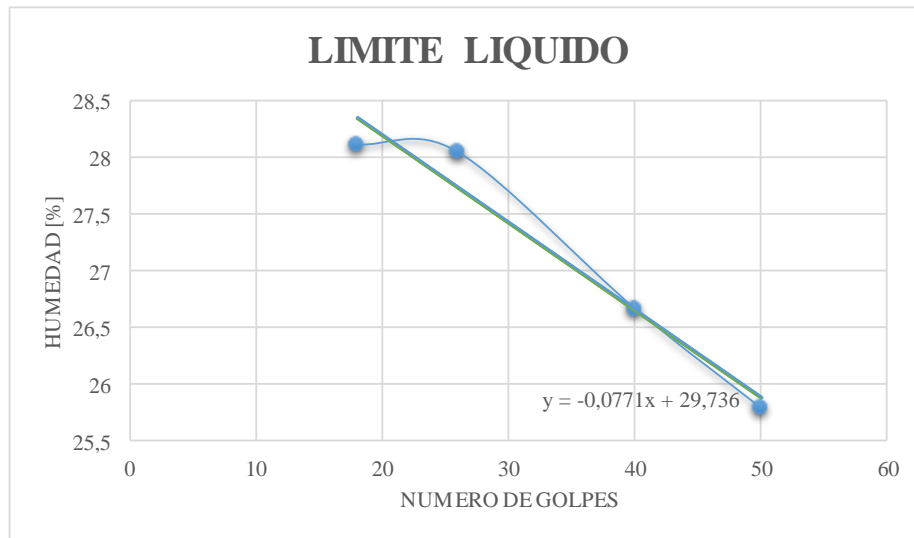
**LIMITES DE ATTERBERG INV E-125,126**

**LIMITE LIQUIDO**

| CAPSULA No | NUMERO DE GOLPES | PESO CAPSULA | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | PESO CAPSULA + SUELO SECO | PESO DEL AGUA | PESO SUELO SECO | CONTENIDO DE AGUA |
|------------|------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| ***        | ***              | gr           | gr                          | gr                        | gr            | gr              | %                 |
| 1          | 50               | 8,5          | 32,4                        | 27,5                      | 4,9           | 19              | 25,79             |
| 2          | 40               | 8,1          | 32,8                        | 27,6                      | 5,2           | 19,5            | 26,67             |
| 3          | 26               | 8,4          | 32,6                        | 27,3                      | 5,3           | 18,9            | 28,04             |
| 4          | 18               | 8,3          | 32                          | 26,8                      | 5,2           | 18,5            | 28,11             |

**LIMITE PLASTICO**

|   |  |     |      |      |     |                 |       |
|---|--|-----|------|------|-----|-----------------|-------|
| 5 |  | 8,8 | 21,2 | 19,3 | 1,9 | 10,5            | 18,10 |
| 6 |  | 8,6 | 20,5 | 18,7 | 1,8 | 10,1            | 17,82 |
|   |  |     |      |      |     | <b>PROMEDIO</b> | 17,96 |



**LIMITE LIQUIDO:** 28 %  
**LIMITE PLASTICO:** 18 %  
**INDICE DE PLASTICIDAD:** 10 %  
**CLASEFICACIÓN SUCS:** CL

**Apéndice F. Ensayo No. 3 de Límites de Atterberg**

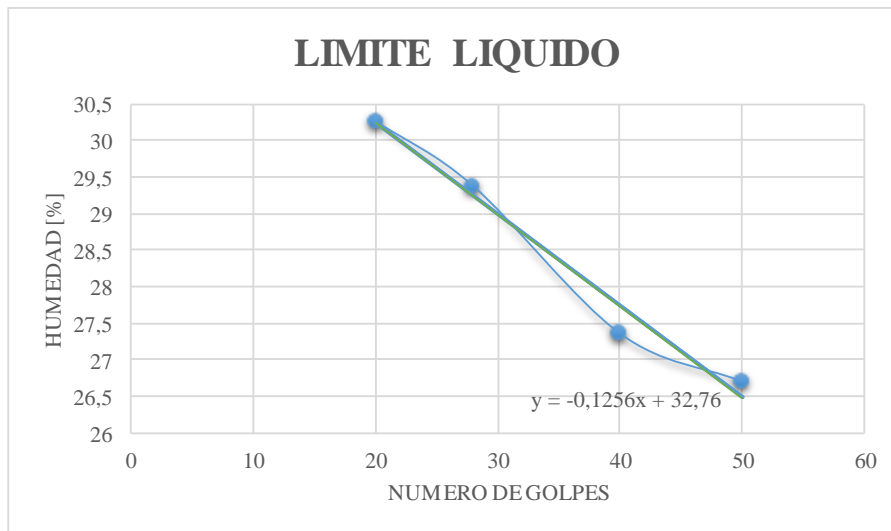
**LIMITES DE ATTERBERG INV E-125,126**

**LIMITE LIQUIDO**

| CAPSULA No | NUMERO DE GOLPES | PESO CAPSULA | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | PESO CAPSULA + SUELO SECO | PESO DEL AGUA | PESO SUELO SECO | CONTENIDO DE AGUA |
|------------|------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| ***        | ***              | gr           | gr                          | gr                        | gr            | gr              | %                 |
| 1          | 50               | 5,5          | 31,6                        | 26,1                      | 5,5           | 20,6            | 26,70             |
| 2          | 40               | 15,8         | 42,8                        | 37                        | 5,8           | 21,2            | 27,36             |
| 3          | 28               | 8,3          | 33,4                        | 27,7                      | 5,7           | 19,4            | 29,38             |
| 4          | 20               | 4,3          | 32,7                        | 26,1                      | 6,6           | 21,8            | 30,28             |

**LIMITE PLASTICO**

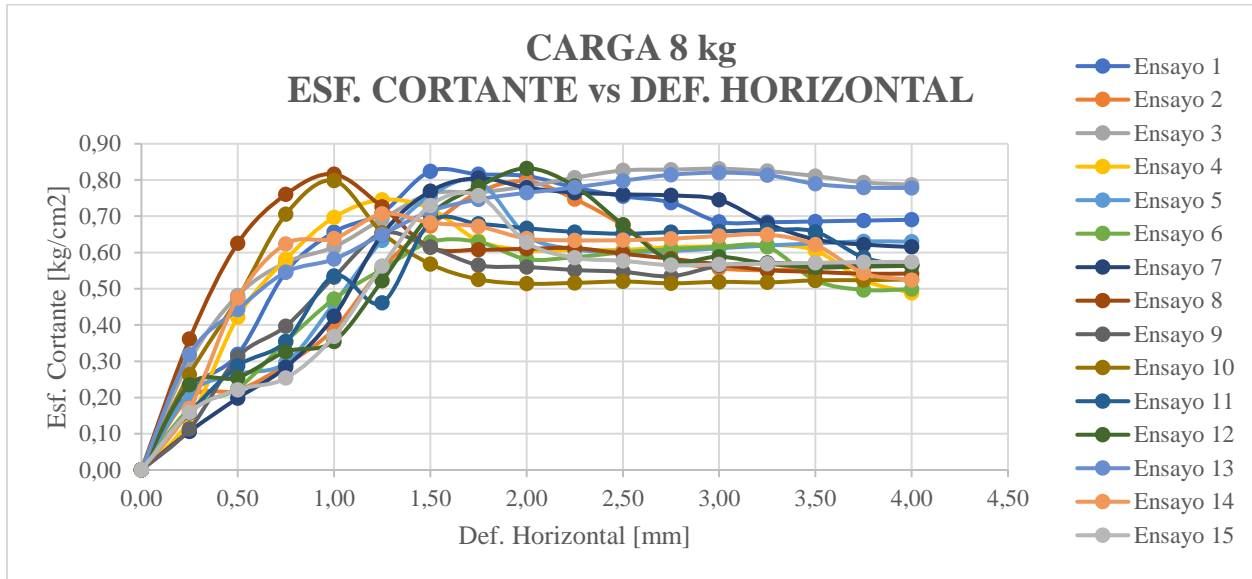
|   |  |     |      |      |                 |      |       |
|---|--|-----|------|------|-----------------|------|-------|
| 5 |  | 5,4 | 21   | 18,5 | 2,5             | 13,1 | 19,08 |
| 6 |  | 8,5 | 20,6 | 18,7 | 1,9             | 10,2 | 18,63 |
|   |  |     |      |      | <b>PROMEDIO</b> |      | 18,86 |



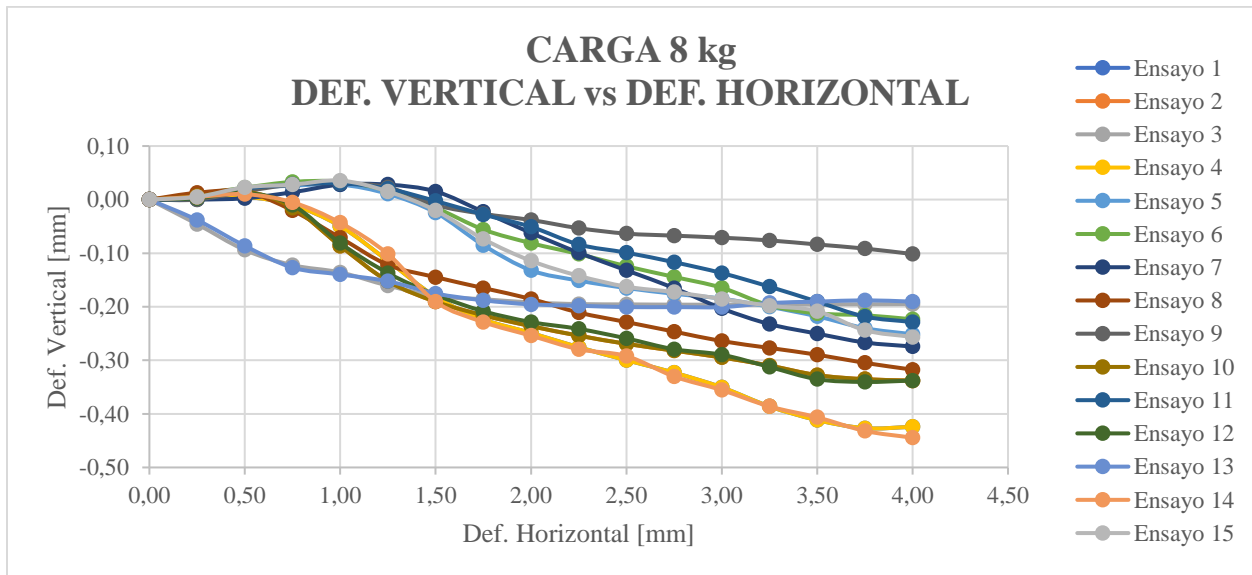
**LIMITE LIQUIDO:** 30 %  
**LIMITE PLASTICO:** 19 %  
**INDICE DE PLASTICIDAD:** 11 %  
**CLASIFICACIÓN SUCS:** CL

**Gráficas de Resultados Operario 1**

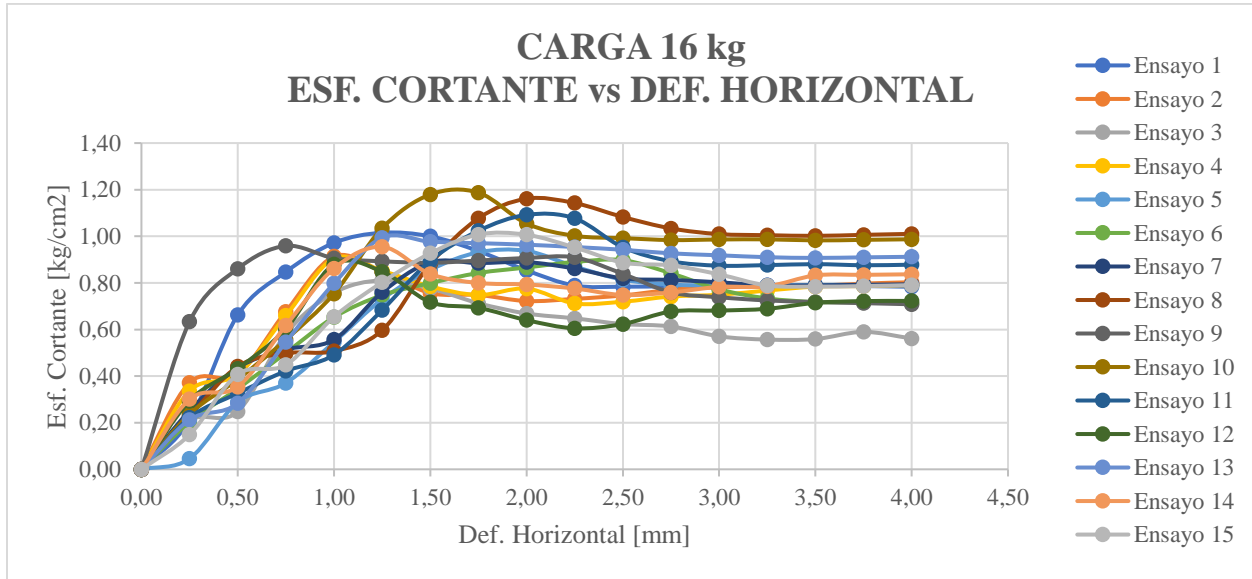
**Apéndice G. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg**



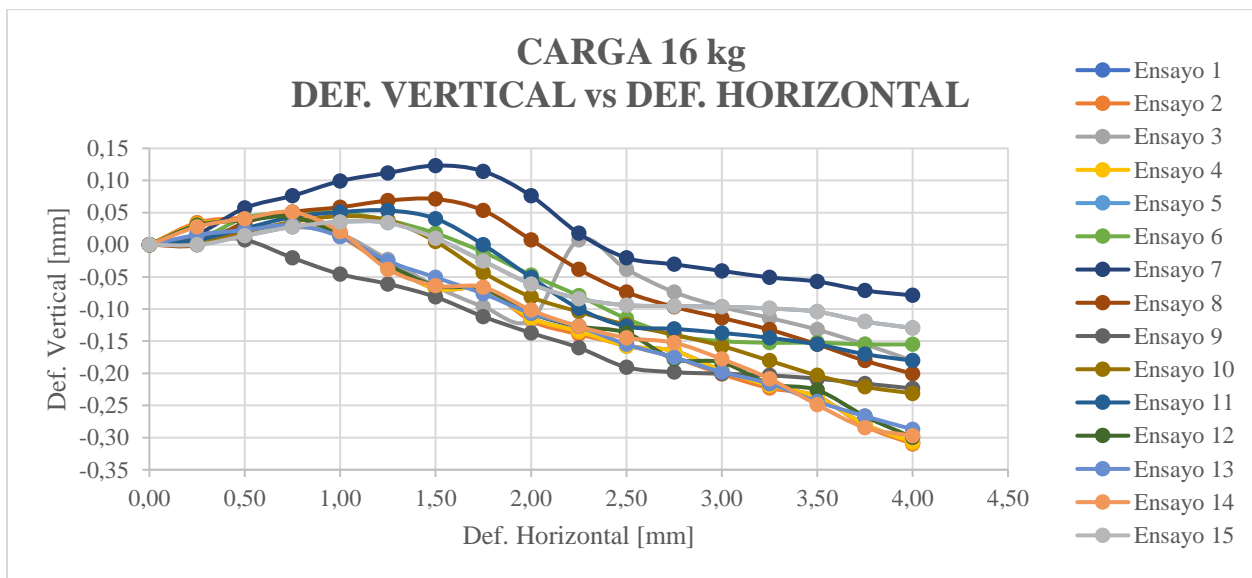
**Apéndice H. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg**



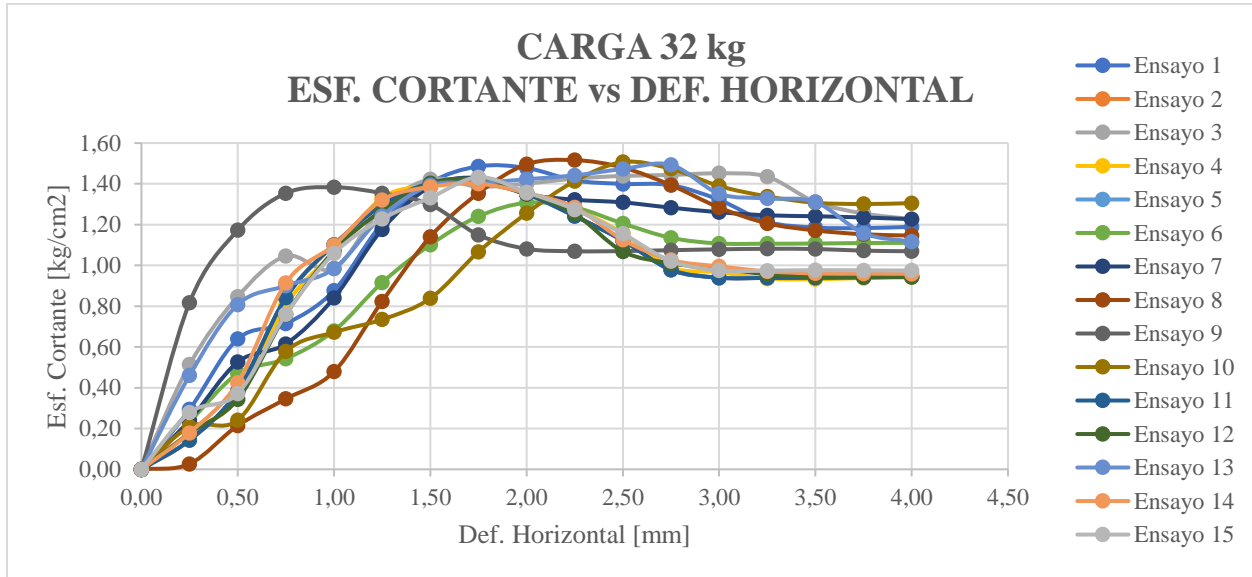
**Apéndice I. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg**



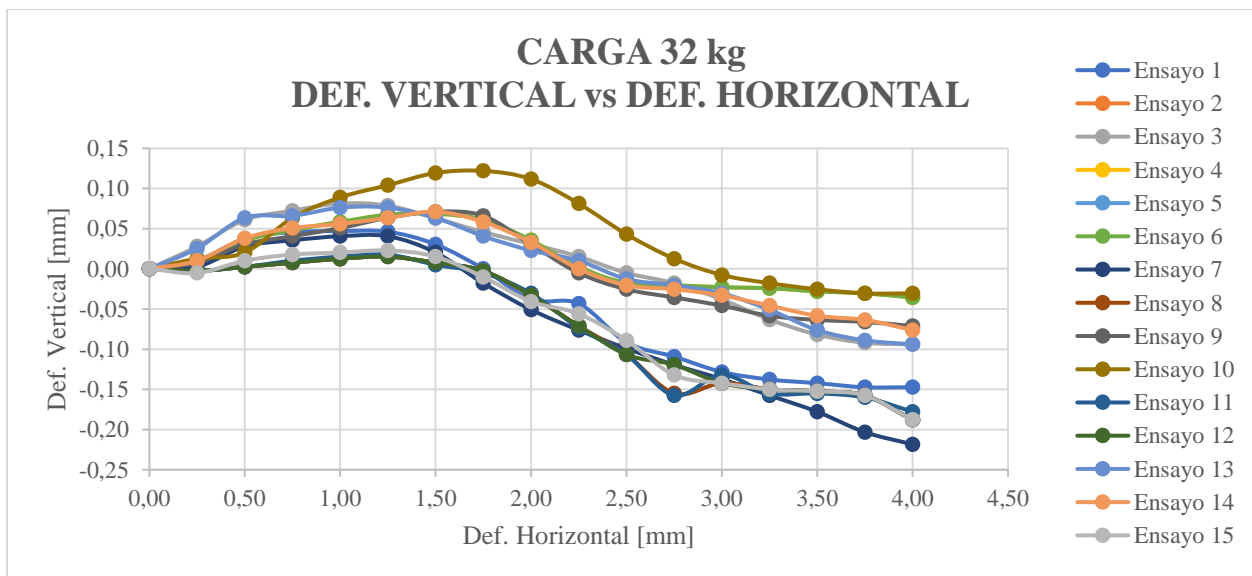
**Apéndice J. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg**



**Apéndice K. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg**

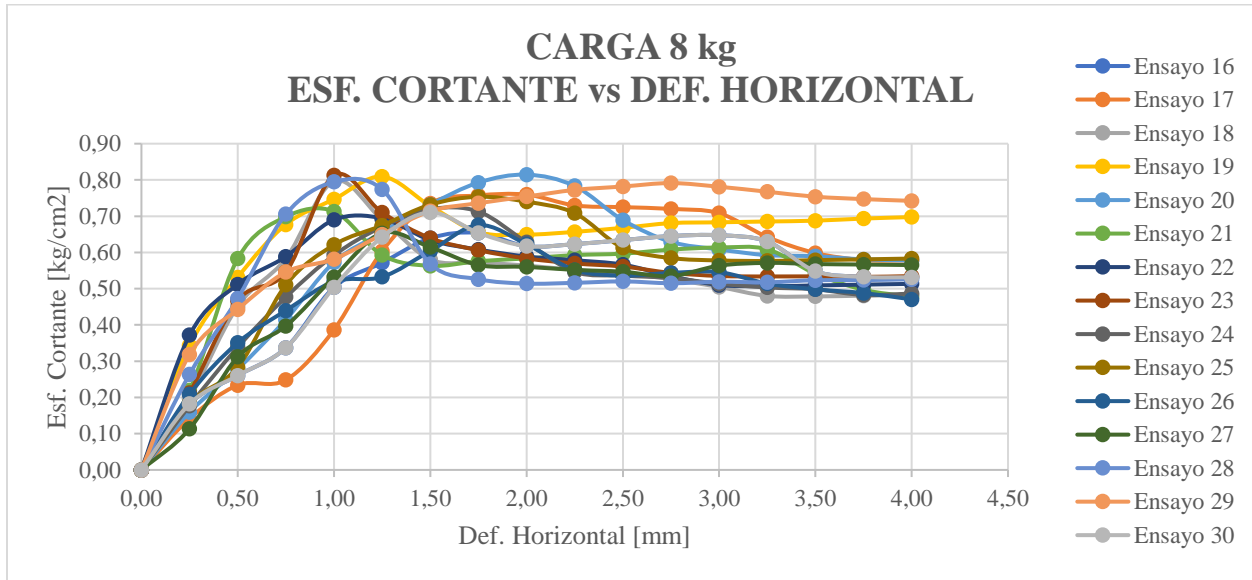


**Apéndice L. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg**

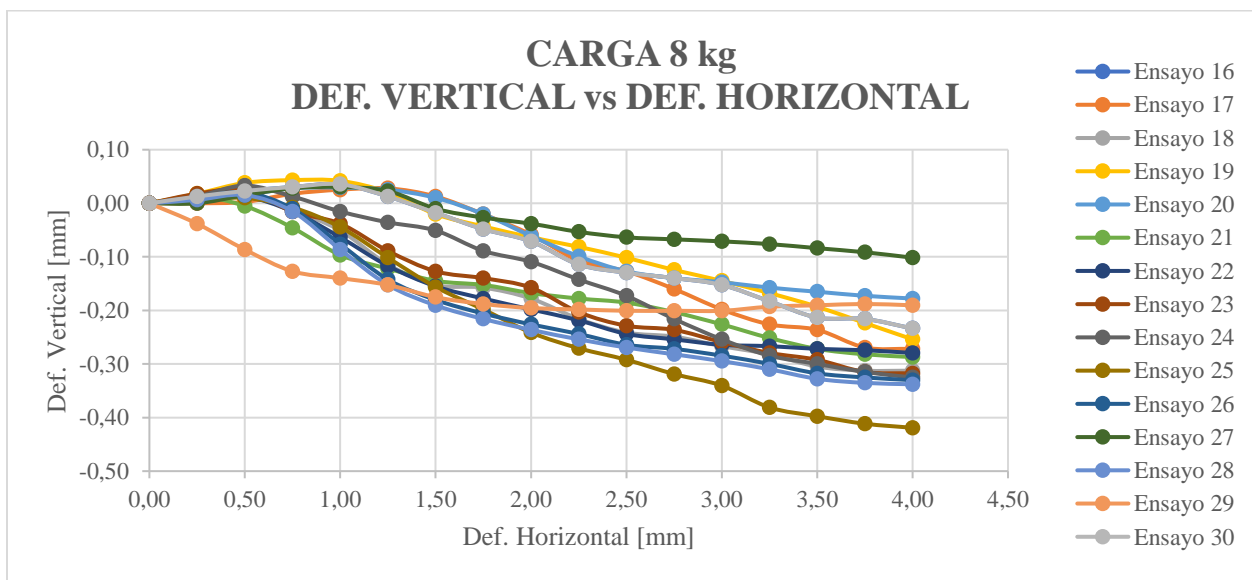


**Gráficas de Resultados Operario 2**

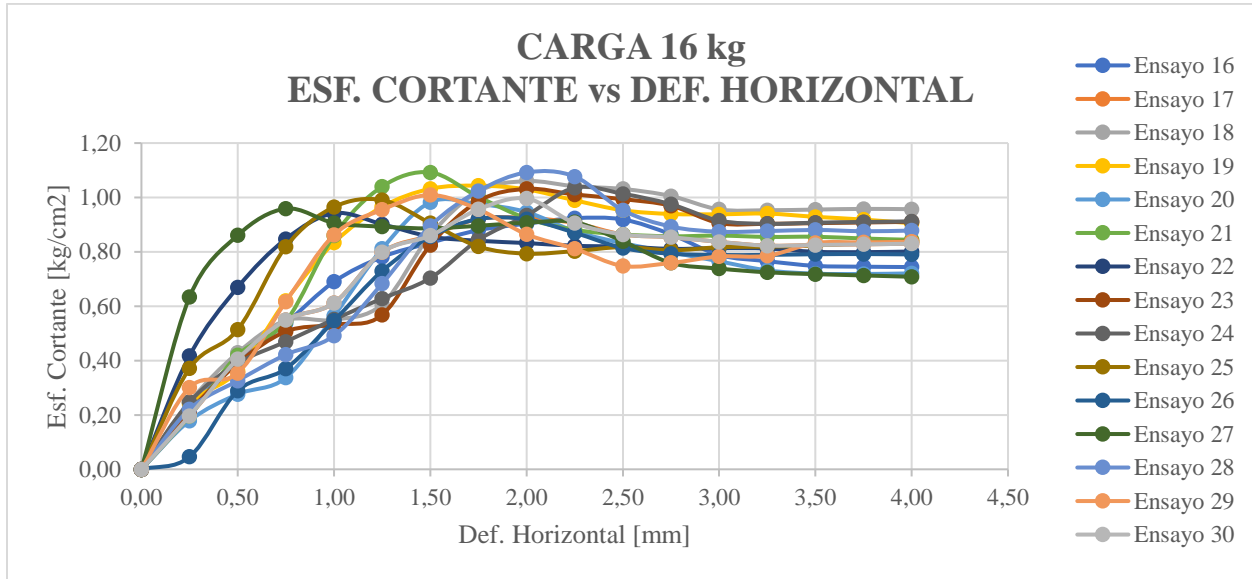
**Apéndice M. Gráfica esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg**



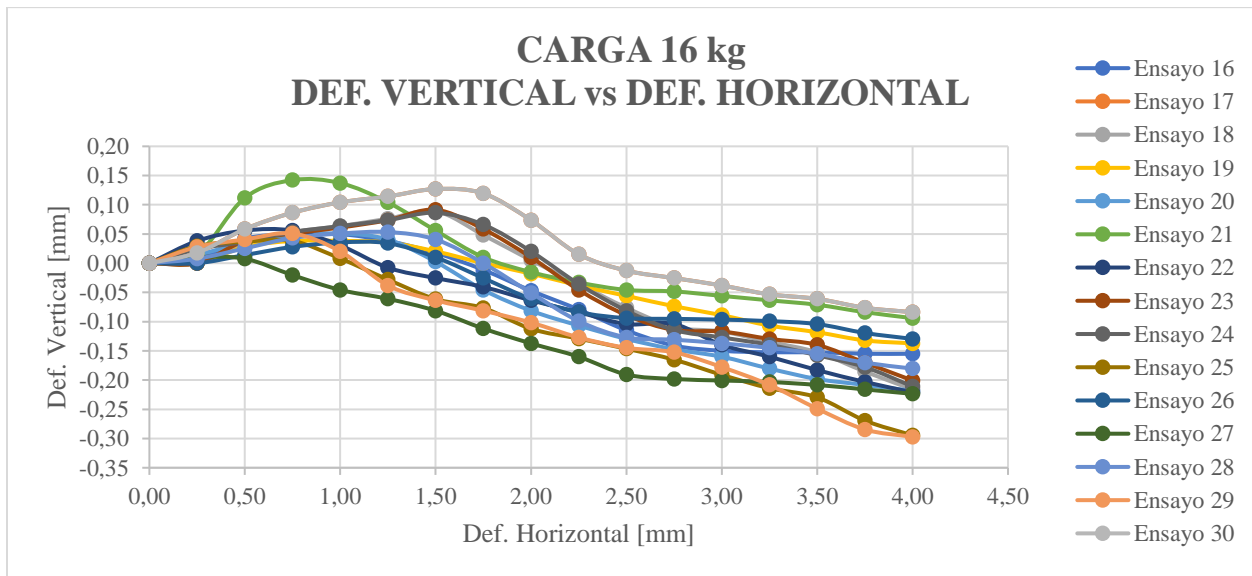
**Apéndice N. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 8 kg**



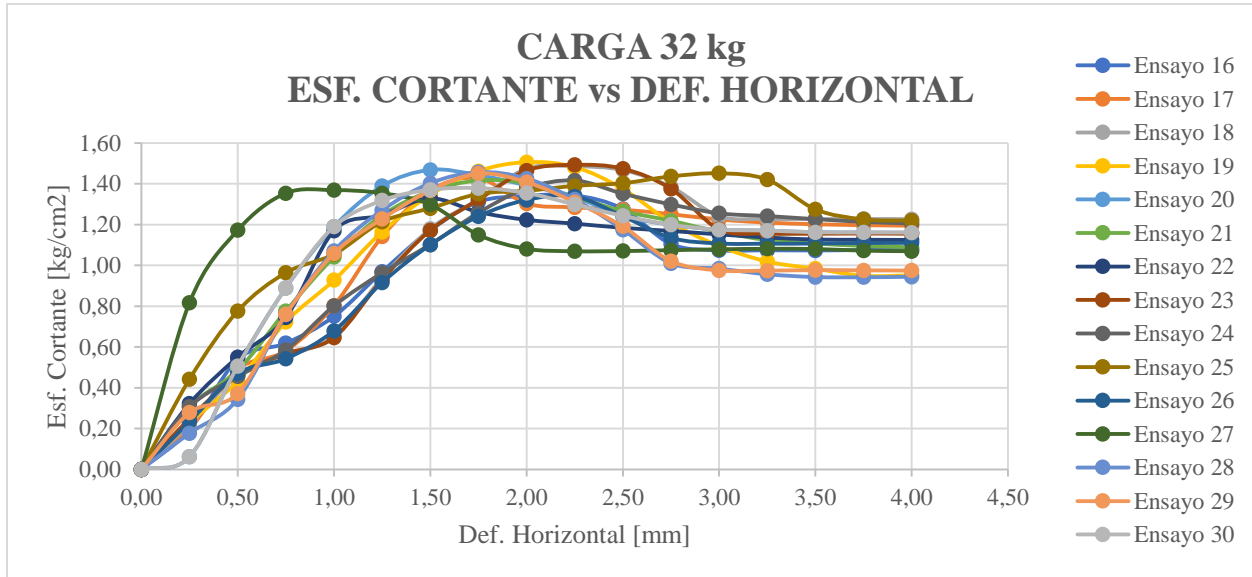
**Apéndice O. Gráfica Esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg**



**Apéndice P. Gráfica Deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 16 kg**



**Apéndice Q. Gráfica esfuerzo Cortante vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg**



**Apéndice R. Gráfica deformación Vertical vs Deformación Horizontal, Carga de 32 kg**

