

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE  
MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE SUELOS ARENOSOS MAL GRADUADOS  
(SP) DE LA QUEBRADA AGUABLANCA.

PRESENTADO POR:

JUAN JOSÉ PARRA GÓMEZ ID: 000243417

ZAMID TAJAN MELON ID: 000229511

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
BUCARAMANGA

2018

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE  
MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE SUELOS ARENOSOS MAL GRADUADOS  
(SP) DE LA QUEBRADA AGUABLANCA.

JUAN JOSÉ PARRA GÓMEZ ID: 000243417

ZAMID TAJAN MELON ID: 000229511

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

Ing. Msc. GERARDO BAUTISTA GARCÍA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

BUCARAMANGA

2018

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, Octubre de 2018

## DEDICATORIA

A:

Dios. Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que de alguna u otra manera han sido nuestro soporte y compañía durante todo este periodo de estudio y superación.

A nuestros padres por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación que ha permitido ser unas personas de bien, pero más que nada, por su amor incondicional, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A nuestros compañeros que nos apoyaron mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Dwerlys Armesto, Yeiser Pinto, Diana Melissa Herrera, Yarih Valderrama y Maria Fernanda Nardez, por compartir los buenos y malos momentos, durante este largo proceso.

A nuestros maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de nuestra tesis.

Finalmente, a todos aquellos familiares y amigos que no recordamos al momento de escribir esto, pero que hicieron parte de nuestro proceso y desarrollo como profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de grado no podría haber sido culminado, primeramente, a Dios por regalarnos la sabiduría necesaria para afrontar este reto que hoy damos por finalizado, también queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres, sin ellos no habría sido posible llegar a este punto, gracias por brindarnos su cariño, comprensión y su apoyo incondicional ya que han sido, por así decirlo, nuestros cimientos en todo este proceso para cumplir nuestro sueño de ser profesionales.

Nuestros más sinceros agradecimientos al ingeniero Msc. Gerardo Bautista García, nuestro director de tesis, quien nos ha ayudado y apoyado en todo momento. Quien ha corregido minuciosamente este trabajo de grado y nos ha dado la posibilidad de mejorarlo. Gracias a sus comentarios, sugerencias y correcciones con las cuales hemos podido elaborar una adecuada memoria de todo el trabajo realizado durante estos últimos meses.

Al ingeniero Darío Ramírez quien nos brindó todo su apoyo y conocimiento, sobre el funcionamiento de la consola (Actuador hidráulico), para desarrollamos los respectivos ensayos en el muro de reacción en el laboratorio de estructuras con el cual cuenta nuestra Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Y he dejado de nombrar a muchas personas que me han ayudado de una forma u otra en este trabajo de grado, en gran parte para no extenderme en exceso. Ellos ya saben quiénes son, nuestra más sincera gratitud por hacer parte de este gran objetivo

# TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. OBJETIVOS.....	15
1.2. Objetivo General .....	15
1.1.1. Objetivos Específicos .....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. ALCANCES .....	18
5. ANTECEDENTES.....	19
5.1 Antecedentes Nacionales.....	19
5.2. Antecedentes Internacionales.....	21
6. MARCO TEÓRICO .....	22
6.1 . Granulometría.....	22
6.2. Límites de Atterberg.....	23
6.3. Clasificación de suelos .....	23
6.3.1 Clasificación AASHTO .....	24
6.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos .....	25
6.4. Arenas .....	26
6.5. Ensayo de compactación.....	27
6.6. Ensayo de corte directo .....	27
6.7. Teoría de Rankine .....	28
6.7.1 Estado activo.....	29
7. METODOLOGÍA.....	31
7.1. Recolección de información .....	31
7.2. Búsqueda del material.....	31

7.3. Clasificación del suelo .....	31
7.4. Determinación de los parámetros de compactación.....	31
7.5. Estimación de los parámetros de resistencia al corte .....	32
7.6. Dimensionamiento del muro de contención a escala .....	32
7.7. Diseño estructural del muro.....	32
7.8. Construcción del muro a escala .....	32
7.9. Compactación del suelo de fundación.....	33
7.10. Pruebas en el muro de reacción.....	33
7.11. Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones .....	34
8. RESULTADOS .....	35
8.1. Granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200.....	35
8.2. Ensayos de Compactación.....	38
8.3. Ensayos de corte directo consolidado drenado.....	41
8.4. Diseño y construcción del muro a escala .....	43
8.4.1. Dimensionamiento del muro de contención a escala.....	43
8.4.2. Diseño estructural del muro .....	46
8.4.3. Construcción del muro a escala.....	52
8.5. Ensayos sobre el muro a escala .....	53
8.6. Ensayos de resistencia a la compresión del concreto .....	54
8.7. Ensayo de resistencia a la tracción del acero .....	54
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	56
9.1. Clasificación del suelo .....	56
9.2. Ensayos de compactación.....	57
9.3. Ensayos de corte directo .....	57
9.4. Ensayos sobre el muro a escala .....	58

CONCLUSIONES .....	61
RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS .....	67



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva Granulométrica .....	22
<b>Figura 2.</b> Sistema de clasificación AASHTO. ....	25
<b>Figura 3.</b> <i>Carta de plasticidad.</i> .....	26
<b>Figura 4.</b> Circulo de falla para diferentes estados. ....	29
<b>Figura 5.</b> Curvas granulométricas. ....	38
<b>Figura 6.</b> Curva de compactación muestra 1. ....	39
<b>Figura 7.</b> Curva de compactación muestra 2. ....	39
<b>Figura 8.</b> Curva de compactación muestra 3 .....	40
<b>Figura 9.</b> Envolvente de falla ensayo 1. ....	42
<b>Figura 10.</b> Envolvente de falla ensayo 2 .....	43
<b>Figura 11.</b> Envolvente de falla ensayo 3 .....	43
<b>Figura 12.</b> Dimensiones del muro a escala. ....	45
<b>Figura 13.</b> Refuerzo estructura del muro a escala. ....	51
<b>Figura 14.</b> Disposición final del muro de contención a escala.....	51
<b>Figura 15.</b> Esfuerzo vs deformación del acero. ....	55

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Fuerza de rozamiento. ....	18
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación de Coulomb. ....	28
<b>Ecuación 3.</b> Esfuerzo horizontal efectivo. ....	29
<b>Ecuación 4.</b> Momento aplicado. ....	46
<b>Ecuación 5.</b> Terminó K. ....	46
<b>Ecuación 6.</b> Cuantía requerida. ....	47
<b>Ecuación 7.</b> Área de refuerzo. ....	47
<b>Ecuación 8.</b> Alternativa de refuerzo. ....	48
<b>Ecuación 9.</b> Separación entre varillas. ....	48
<b>Ecuación 10.</b> Angulo de fricción. ....	58
<b>Ecuación 11.</b> Resultados obtenidos sobre el muro para determinar el parámetro k. (ensayos de Empuje). ....	59

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propiedades fisicomecánicas del suelo .....	19
<b>Tabla 2.</b> Resultados de la distribución granulométrica de la muestra 1.....	35
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la distribución granulométrica de la muestra 2.....	36
<b>Tabla 4.</b> Resultado de la distribución granulométrica de la muestra 3. ....	36
<b>Tabla 5.</b> Resumen de los resultados granulométricos.....	37
<b>Tabla 6.</b> Resumen de criterios de gradación. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Promedio de humedad óptima y densidad máxima húmeda.....	40
<b>Tabla 8.</b> Resultados de esfuerzos cortantes, ángulo de fricción interna y cohesión. .....	42
<b>Tabla 9.</b> Resultados de esfuerzos cortantes, ángulo de fricción interna y densidad. .....	44
<b>Tabla 10.</b> Resultados de fuerza horizontal máxima.....	53
<b>Tabla 11.</b> Resistencia a la compresión del concreto obtenido a los 7, 14 y 28 días. .....	54
<b>Tabla 12.</b> Promedio del coeficiente de uniformidad (Cu) y curvatura (cc). ....	57
<b>Tabla 13.</b> Resultado promedio de propiedades físicas del suelo estudiado. ....	58

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE SUELOS ARENOSOS MAL GRADUADOS (SP) DE LA QUEBRADA AGUABLANCA.

**AUTOR(ES):** JUAN JOSÉ PARRA GÓMEZ  
ZAMID TAJAN MELON

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** GERARDO BAUTISTA GARCÍA

### RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como propósito estimar el valor del ángulo de fricción suelo – muro para un modelo a escala, construido en concreto reforzado, el cual se cimentó sobre una arena mal gradada (SP) tomada de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca. Este parámetro tradicionalmente se ha calculado como un porcentaje del ángulo de fricción interna (entre 50% y 67%). Sobre muestras representativas se realizaron ensayos de clasificación y posteriormente de compactación con el fin de obtener la humedad óptima y el peso específico máximo, una vez conocidos estos parámetros se compactaron muestras con la humedad óptima y con ellas se realizaron tres pruebas de corte directo para conocer el peso específico y el ángulo de fricción interna. Con las propiedades físicas calculadas para la arena estudiada se procedió a realizar el dimensionamiento y diseño estructural de un muro a escala de un metro de altura, teniendo presente que el muro debería ser estable al volteo en el momento de la falla por deslizamiento. En el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana se construyó el modelo diseñado y luego se trasladó al muro de reacción y con la ayuda de un actuador hidráulico se aplicó una fuerza horizontal hasta que el modelo se deslizaba (esto se repitió quince veces). Finalmente se analizaron resultados y se establecieron tendencias a partir de las cuales se estimó el ángulo de fricción suelo – muro para la arena estudiada.

### PALABRAS CLAVE:

Muro de contención, empuje, ángulo de fricción, factor de seguridad.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DETERMINATION OF PARAMETERS FOR THE DIMENSIONING OF RESTRAINED WALLS ON THE POORLY GRADED SANDY GROUNDS (SP) OF THE QUEBRADA AGUABLANCA

**AUTHOR(S):** JUAN JOSÉ PARRA GÓMEZ  
ZAMID TAJAN MELON

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Ing. Msc. GERARDO BAUTISTA GARCÍA

### ABSTRACT

The present work of degree had as purpose to estimate the value of the soil-wall friction angle for a scale model, built in reinforced concrete, which is cited on a badly framed sand (SP) taken from the aguablanca creek of the municipality of Florida Blanca. This parameter has traditionally been calculated as a percentage of the internal friction angle (between 50% and 67%). On representative samples, tests of classification and later of compaction were carried out in order to obtain the optimum humidity and the maximum specific weight, once these parameters were known, samples were compacted with the optimum humidity and with them three direct cutting tests were carried out to co-identify the specific weight and the angle of internal friction. With the physical properties calculated for the studied sand, structural dimensioning of a wall was carried out at a scale of one meter in height, keeping in mind that the wall should be stable when overturned at the moment of the landslide failure. In the laboratory of structures of the Universidad Pontificia Bolivariana the model designed was constructed and then moved to the reaction wall and with the help of a hydraulic actuator a horizontal force was applied until the model slid (this was repeated fifteen times). Finally, results were analyzed and trends were established from which the ground-wall friction angle for the studied sand was estimated.

### KEYWORDS:

Containment, thrust, friction angle, safety factor.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se realizará por medio de ensayos de laboratorio, con el fin de obtener el ángulo de fricción existente entre suelo-muro, en el cual el muro de contención a escala se cimentará en arena procedente de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca, Santander, con el fin de constatar los factores de seguridad correspondientes al ángulo de fricción propuestos por Terzaghi. Para el dimensionamiento del modelo a escala se usó el método de Rankine, en el cual la única fuerza horizontal resistente es la fuerza debida a la fricción.

Las pruebas de laboratorio iniciaron con la caracterización del material escogido (arena de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca, Santander), mediante los ensayos de clasificación y compactación. Una vez obtenidos la humedad óptima y el peso específico seco máximo, se compactó el material en moldes y con la energía del ensayo Proctor modificado se tomaron muestras para realizar ensayos de corte directo. Con el ángulo de fricción interna y la densidad obtenidas en el laboratorio y usando el método de Rankine, se dimensionó un muro a escala estable al volteo en el momento de la falla por deslizamiento para garantizar su integridad estructural.

El muro diseñado se construyó en el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga y con ayuda de un puente grúa se colocó sobre el suelo de fundación compactado previamente usando el material escogido. En el transcurso del presente estudio se desarrolló la metodología para realizar Quince (15) pruebas de laboratorio sobre el modelo a escala con la ayuda de un muro de reacción, en los cuales la resistencia a la fricción fue igualada por la fuerza aplicada con un actuador. Los resultados de estos ensayos permitieron calcular el ángulo de fricción suelo – muro y establecer tendencias a partir de las cuales se hicieron análisis y se llegó a conclusiones.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.2. Objetivo General**

- Verificar el parámetro  $k$  a partir de la obtención del ángulo de fricción entre un muro de concreto reforzado y un suelo arenoso de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca, Santander

#### **1.1.1. Objetivos Específicos**

- Estimar los parámetros de resistencia al corte y densidad del suelo de fundación sobre el cual se va a cimentar un muro de contención y establecer las propiedades del acero y del concreto requeridas para el diseño de dicho muro.
- Determinar las dimensiones de un muro de contención que garanticen su falla por deslizamiento.
- Diseñar un muro de contención, para garantizar que no se produzcan fallas estructurales del mismo.
- Establecer la influencia del empuje requerido para lograr un desplazamiento del muro sobre la fuerza friccionante que restringe dicho movimiento.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los tipos de obras más comunes de la ingeniería civil son los muros de contención de concreto reforzado los cuales se dimensionan de tal forma que estos sean estables al deslizamiento y al volteo. Según Terzaghi algunos de los parámetros para evaluar los factores de seguridad corresponden al ángulo de fricción entre suelo y muro el cual comúnmente se estima entre el 50% al 67% del ángulo de fricción interna del suelo, es por ello que con el presente trabajo de grado se pretende comprobar con ensayos a escala en el laboratorio de estructuras, el cumplimiento de dicha teoría.



### 3. JUSTIFICACIÓN

Cuando se va a dimensionar un muro de contención sin importar el método que se utilice, es importante conocer las propiedades mecánicas tanto del suelo de fundación, así como también las del suelo que produce el empuje; estas propiedades son: el ángulo de fricción interna, la cohesión y el peso específico.

Tradicionalmente para el cálculo del ángulo de fricción entre suelo y muro se han utilizado los valores sugeridos por Terzaghi estos valores están comprendidos entre  $0.5 \phi$  y  $0.67 \phi$  ( $\phi$  es el ángulo de fricción interna).

En el caso de este proyecto de grado el material que se va a ensayar corresponde a un material netamente arenoso, proveniente de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca, Santander.

En los últimos años, la universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, se ha comprometido con el desarrollo e innovación del laboratorio de estructuras localizado en la facultad de Ingeniería Civil, es por ello, que en nuestro trabajo de grado hemos utilizado los servicios del muro de reacción para llevar a cabo los ensayos correspondientes.

#### 4. ALCANCES

Se realizará la construcción de un muro de contención de concreto reforzado con espalda vertical a escala, el cual será cimentado en una superficie horizontal con un material arenoso.

Los ensayos se realizarán en el muro de reacción que se encuentra ubicado en el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Se buscará establecer los valores particulares del ángulo de fricción entre suelo y muro.

El muro se construirá de tal forma que su falla ocurra por deslizamiento, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del suelo de fundación, el cual corresponde a un material arenoso con menos de un 5% de finos proveniente de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca. La única fuerza horizontal que se opone al deslizamiento será la fuerza de rozamiento, la cual puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$F_{HR} = N * \text{TAN}(\delta)$$

**Ecuación 1.** Fuerza de rozamiento.

Donde:

$F_{HR}$ : Fuerza de rozamiento

N: Suma de fuerzas verticales

$\delta$ :  $K * \phi$

$\phi$ : Ángulo de fricción interna del suelo

K: Coeficiente (tradicionalmente se ha usado valores comprendidos entre 1/2 y 2/3).

## 5. ANTECEDENTES

### 5.1 Antecedentes Nacionales

Se encuentran una serie de investigaciones que tienen en cuenta los parámetros de ensayos de corte directo entre suelo y concreto, entre ellos la Universidad de la Salle en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá en cabeza de Jorge Pineda y Julio Colmenares en 2011, donde estudian la fricción existente arcilloso-concreto, donde se encontraron los ángulos de pico y resistencia residual con unas muestras con rugosidad diferentes los resultados muestran que la relación  $\delta = (2/3) \phi$  no cumple con lo propuesto por Terzaghi, sino que varía entre 0.85% y 1.00% (Pineda & Colmenares, 2011).

La otra investigación fue Parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo-concreto de la Pontifica Universidad Javeriana en el año de 2013 donde utilizaron la misma metodología del anterior con diferentes rugosidades, pero con un material diferente para los ensayos de corte recebo-concreto con los siguientes resultados:

**Tabla 1.** *Propiedades fisicomecánicas del suelo*

FASE-SUELO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	RUGOSIDAD
SUELO-SUELO	39,4°	0,08	
SUELO-CONCRETO R1	29,6°	0,56	0,5
SUELO-CONCRETO R2	30,43°	0,06	0,9
SUELO-CONCRETO R3	34,89°	0,32	0,16
SUELO-CONCRETO R4	32,78°	0,16	0,29

**Fuente.** Elaboración propia basado en la investigación Parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo- concreto, 2013.

Donde se obtuvo que el ángulo de fricción interna suelo-concreto es  $7,47^\circ$  menos que la de suelo-suelo lo cual difiere de la teoría que dice que el ángulo de fricción entre suelo- cemento es  $K$ : Coeficiente (tradicionalmente se ha usado valores comprendidos entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{2}{3}$ ). (Montoya, 2013).

De igual manera, se consultaron trabajos de grados de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, con el fin de poder alimentar más los antecedentes.

Uno de ellos se titula Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre arena arcillosa donde el objetivo del trabajo realizado por las estudiantes Estupiñan y Sánchez en el año 2016, con el fin de hallar las propiedades mecánicas de una arena arcillosa. Con las cuales calcularon los factores de seguridad al deslizamiento y volteo en muros de concreto reforzado.

Así mismo se calcularon las dimensiones del muro de contención teniendo en cuenta la cohesión y despreciándola. Para comparar las diferencias que presentan estas dos condiciones.

Determinaron que cuando se tiene en cuenta la cohesión para el dimensionamiento de muros de contención en concreto reforzado este cumple con los factores de seguridad al volteo y al deslizamiento a diferencia de cuando se desprecia la cohesión, el muro falla al deslizamiento por lo cual es necesario redimensionarlo para satisfacer dichas condiciones.

Finalmente, los muros de contención cumplieron con los valores mínimos de los factores de seguridad recomendados por la norma NSR-10. (Estupiñan & Sánchez, 2016)

Y uno similar donde el material donde serían cimentados los muros que tiene por título influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad, realizado por la estudiante Carroll Solano en el año 2014.

Donde se obtuvieron conclusiones similares a la anteriormente mencionada donde se cumple con los factores de seguridad establecidos por la norma NSR-10 y se ve la necesidad de cambiar sus dimensiones al despreñar la cohesión. (Solano Soto, 2014)

## **5.2. Antecedentes Internacionales**

Como antecedente internacional se encontró un artículo publicado en 2010 por la International Journal of Civil Engineering Vol.8, No. 2. Cuyo objetivo principal fue elaborar una fórmula que permitiese calcular la presión activa en muros inclinados, los cuales son utilizados comúnmente en el ámbito ingenieril, teniendo en cuenta que la presión de tierra activa en las paredes inclinadas es menor, debido a que tiene relación directa con el ángulo de la pared, también tuvieron en cuenta otros factores como el cambio en la cuña de falla en los muros de contención inclinados ya que para los autores este no se comporta triangularmente como el caso de los muros de espalda recta, el efecto de cohesión y fricción simultáneamente. (Ghanbari & Ahmadabadi, 2010)

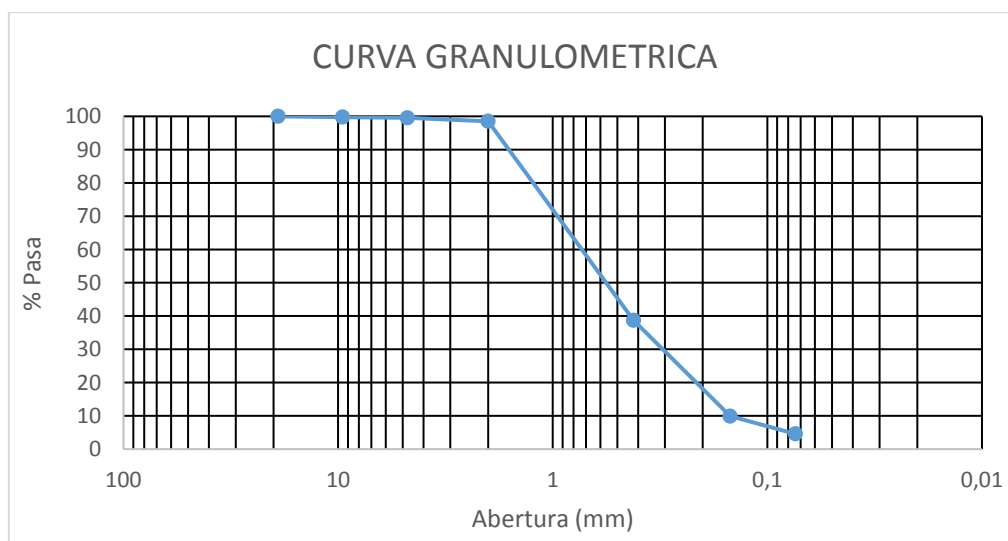
## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1. Granulometría

Para cualquier estudio de suelos es importante conocer la distribución de tamaños de las partículas que conforman los materiales de los proyectos. Esta distribución de tamaños se obtiene a partir de pruebas de granulometría por mallas, en las cuales una muestra representativa se hace pasar a través de una serie de tamices dispuestos en orden decreciente de aberturas. Estas pruebas normalmente se realizan haciendo un lavado previo por el tamiz No. 200 con el fin de deshacer los grumos.

Los resultados de un ensayo de granulometría se dan de manera gráfica por medio de la curva granulométrica en la cual el eje de las ordenadas representa al porcentaje de material que pasa por cada tamiz, mientras que el eje de las abscisas representa la abertura de cada tamiz en escala logarítmica. En la figura 1 se puede apreciar una curva granulométrica. (Braja M, 2012).

**Figura 1. Curva Granulométrica**



**Fuente.** Elaboración propia

## **6.2. Límites de Atterberg**

La plasticidad no es una propiedad fija de los suelos sino variable de acuerdo con la humedad que el suelo tenga. Existen tres límites de consistencia, los cuales corresponden a la frontera entre diferentes estados, es así como el límite líquido se define como la frontera entre el estado semilíquido y el estado plástico, así mismo, el límite plástico corresponde a la frontera entre los estados plástico y semisólido, es decir, los límites líquido y plástico definen el intervalo de humedades dentro del cual el suelo se halla en el estado plástico.

Adicionalmente, se tiene el límite de contracción, el cual corresponde a la frontera entre los estados semisólido y sólido, es decir que este límite corresponde a la humedad por debajo de la cual los suelos ya no disminuyen su volumen con el secado.

El límite líquido se obtiene a través de una prueba rutinaria de laboratorio usando la copa de Casagrande y este corresponde a la humedad para la cual una ranura de 12.7 mm se cierre con 25 golpes. El material usado para esta prueba debe pasar por el tamiz No. 40.

El límite plástico corresponde a la humedad para la cual un rollo de 3.18 mm de diámetro hecho con material que pase por la malla No. 40 se agrieta o se desmorona. (Juárez & Rico, 2005).

## **6.3. Clasificación de suelos**

Los sistemas de clasificación más utilizados hoy día son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Sistem American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Los dos métodos permiten dar un nombre a los suelos mediante letras que definen a un grupo principal al cual pertenece y a un sub grupo o sub grupos; tanto los grupos como los sub grupos a los cuales pertenecen un determinado suelo se definen con base en la distribución de tamaños de partículas y en los límites de plasticidad. (Joseph E, 1981).

### **6.3.1 Clasificación AASHTO**

El método AASHTO fue propuesto para el Highway Research Board's Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads. Este método divide a los suelos en dos grandes grupos:

- Los materiales granulares: Son aquellos que tienen un 35% o menos de finos, a este grupo pertenecen los sub grupos A-1, A-2 y A-3.
- Los materiales limo-arcillosos: son aquellos que tiene más de un 35% de finos, A este grupo pertenecen los sub grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- Los materiales con un alto contenido de materia orgánica pertenecen al grupo A-8.

Este método funciona haciendo un recorrido de izquierda a derecha en la carta de clasificación (Ver figura 2) verificando el cumplimiento de algunos requisitos de gradación en plasticidad y el código del material corresponderá aquel primer grupo en el cual todos se cumplan. (Braja M, 2012).



**Figura 2. Sistema de clasificación AASHTO.**

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz No. 200.)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10 No. 40 No. 200	50 max 30 max 15 max	50 max 25 max	51 max 10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz No 40 Limite líquido, $\omega_L$ Índice plástico, $I_p$				40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 10 min	41 min 11 min
0	0		0	4 max			8 max	12 max	16 max	20 max	

Fuente. Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, Josep, Bowles. 1978.

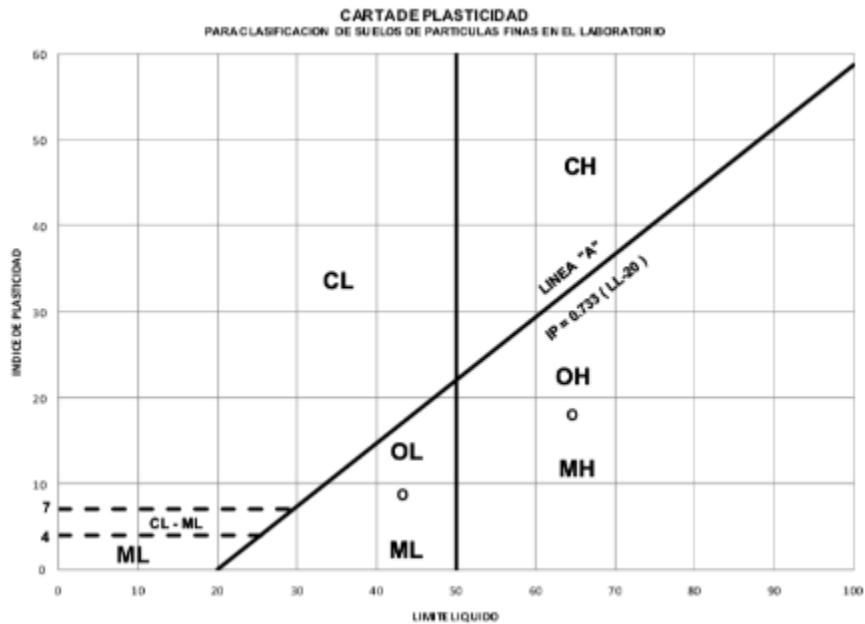
### 6.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos divide a los suelos en dos grandes grupos:

- Suelos gruesos: son aquellos en los cuales más de un 50% de una muestra representativa no pasa por el tamiz No. 200 (0.074 mm). Los suelos gruesos se dividen a su vez en gravas y arenas, siendo la frontera entre ellos el tamiz No. 4 cuya abertura es de 4.75 mm. Se tienen subgrupos adicionales de suelos gruesos de acuerdo con su gradación y con la plasticidad de su fracción fina.
- Suelos finos: se considera que un suelo es fino si más de un 50% de una muestra representativa pasa por el tamiz No. 200. Los subgrupos de suelos finos se definen de acuerdo con su plasticidad, compresibilidad y contenido de materia orgánica según su ubicación en la carta de plasticidad de Casagrande. Los

suelos finos corresponden a limos y arcillas inorgánicas de alta y baja compresibilidad (MH, CH, ML y CL) y a suelos orgánicos de alta y baja compresibilidad (OH y OL).

**Figura 3. Carta de plasticidad.**



**Fuente.** Mecánica de Suelos, Juárez & Rico, 2005

#### 6.4. Arenas

Las arenas corresponden a la fracción de material comprendida entre el tamiz No. 4 (4.75 mm) y es tamiz No. 200 (0.074 mm). En el presente trabajo de grado se trabajó con una arena con muy poco contenido de finos (menos de un 5%). Las arenas con muy poco contenido de finos o sin ellos se dividen en arenas bien gradadas (SW) y arenas mal gradadas (SP). Para que una arena sea considerada como bien gradada su coeficiente de uniformidad deberá ser superior a 6 y su coeficiente de curvatura deberá estar entre 1 y 3; si una o las dos condiciones de gradación no se cumplen la arena se considera como mal gradada. (Crespo Villalaz, 1980).

## **6.5. Ensayo de compactación**

La compactación de los suelos esencialmente busca aumentar la densidad del material y disminuir la relación de vacíos, de tal manera que cuando este sea solicitado por las cargas de servicios los asentamientos producidos disminuyen.

Los ensayos más conocidos son los tipo Proctor, en los cuales las muestras se compactan con un cierto número de capas y golpes por capa, usando un martillo que simula la energía de compactación suministrada en campo. El tipo de martillo, su altura de caída, el número de capas y el número de golpes por capas se determina de acuerdo con los reglamentos locales.

En la actualidad las pruebas más utilizadas son prueba Proctor estándar y modificada. La prueba estándar está regida por la (Norma ASTM D-698 y AASHTO T-99) y finalmente las normas que rigen la prueba Proctor modificada son (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180). (Braja M, 2012).

En Colombia las normas más utilizadas para la ejecución de ensayos de compactación son las del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de acuerdo con el tipo de proyecto.

## **6.6. Ensayo de corte directo**

Los parámetros de resistencia cortante de un suelo se determinan en el laboratorio mediante el ensayo de corte directo o la prueba triaxial.

El ensayo de corte directo consiste en aplicar una fuerza cortante variable y una fuerza normal a una sección aproximadamente de 35 cm<sup>2</sup> de sección transversal en la cual se provoca una falla a lo largo de un plano horizontal. Durante la prueba se

toman lecturas de la deformación horizontal producida por la fuerza cortante bajo un esfuerzo normal constante, esto se realiza para tres muestras con diferentes niveles de esfuerzo normal. Finalmente se grafica la envolvente de falla, cuya pendiente corresponde al ángulo de fricción interna y además se determina la cohesión, la cual corresponde al esfuerzo constante en ausencia de un esfuerzo normal.

La resistencia al corte de un suelo está dada por la ecuación de Coulomb:

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

**Ecuación 2.** Ecuación de Coulomb.

$\tau$  = resistencia al corte del suelo (kg/cm<sup>2</sup>)

$c$  = cohesión del suelo (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = esfuerzo normal (kg/cm<sup>2</sup>)

$\phi$  = Angulo de fricción interna del suelo

El valor de C para arenas y arcillas normalmente consolidadas es igual a cero. Para arcillas sobre consolidadas es  $C > 0$ .

A partir de los parámetros de resistencia al corte se diseñan muros de contención, zapatas, pilotes, etc.

## 6.7. Teoría de Rankine

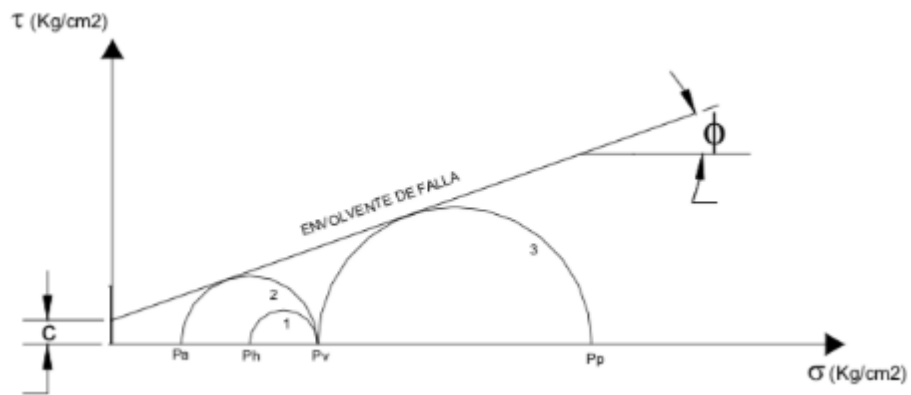
Para estimar los empujes que actúan sobre un muro de contención existen varias metodologías de cálculo, las más usadas son las de Rankine y Coulomb.

La teoría de Rankine supone que el empuje activo actúa sobre una cara vertical proyectada desde el talón del muro. Estos empujes incluyen la presión lateral del terreno, presión generada por sobre cargas, agua o sismos.

### 6.7.1 Estado activo

En el estado activo se produce una disminución gradual de la presión horizontal, hasta que esta alcanza su valor mínimo posible en el momento en que el círculo de Mohr que representa el estado de esfuerzos principales, toca tangencialmente a la envolvente de falla. En este estado se presentan rotaciones del muro, lo cual constituye un criterio de falla utilizado en el dimensionamiento de estructuras de contención.

**Figura 4.** Círculo de falla para diferentes estados.



**Fuente.** Mecánica de Suelos, Juárez & Rico, 2005

Para calcular los esfuerzos horizontales efectivos por medio de la teoría de Rankine se utiliza la siguiente ecuación:

$$\bar{\sigma}_h = \bar{\sigma}_v \times k_a - 2C\sqrt{k_a}$$

**Ecuación 3.** Esfuerzo horizontal efectivo.

Donde:

$\bar{\sigma}_v$ : Es la presión vertical efectiva a una profundidad z.

$k_a$ : Es el coeficiente de presión activa de tierras.

C: Cohesión.

El dimensionamiento de los muros de contención se realiza teniendo en cuenta que estos sean estables al deslizamiento y al volteo y así mismo la capacidad de soporte del suelo de fundación debe ser lo suficientemente alta para soportar las presiones verticales que le trasmite el muro a través de su cimiento. La estabilidad al deslizamiento se evalúa por medio del factor de seguridad al deslizamiento, el cual corresponde a la relación entre las fuerzas horizontales resistentes y las actuantes, mientras que la estabilidad al volteo se evalúa por medio del factor de estabilidad por volcamiento, el cual corresponde a la relación entre los momentos que se oponen al volteo y aquellos que lo producen. (Bowles, 1996)

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1. Recolección de información**

Se recopiló información secundaria o experiencias anteriores a este proyecto como teorías, libros, tesis entre otras que nos facilitaron los procesos constructivos, ensayos y cálculos para el dimensionamiento y diseño del muro.

### **7.2. Búsqueda del material**

Se buscó el material arenoso procedente de la quebrada Aguablanca ubicada en el municipio de Floridablanca, al cual se le practicaron los ensayos de caracterización, humedad óptima y sus propiedades mecánicas; éste material fue utilizado como suelo de fundación y como relleno activo.

### **7.3. Clasificación del suelo**

Se realizó su respectiva clasificación de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el cual utiliza unos criterios en los que describe parámetros de distribución de partículas, para dar a conocer el tipo de suelo estudiado. Para esto fue necesario realizar el ensayo de granulometría de acuerdo a lo establecido en la norma INV-E-123-13.

### **7.4. Determinación de los parámetros de compactación**

Se halló la humedad óptima y la máxima densidad específica seca del material estudiado mediante el ensayo tipo Proctor modificado según lo establecido en la norma INV-142-13.

### **7.5. Estimación de los parámetros de resistencia al corte**

Teniendo en cuenta los parámetros de compactación obtenidos anteriormente se preparó muestras compactadas con la humedad óptima y el peso específico seco máximo, con ésta se determinó el ángulo de fricción interna y cohesión mediante ensayos de corte directo de acuerdo a lo parámetros de la norma INV-E-154-13.

### **7.6. Dimensionamiento del muro de contención a escala**

Se dimensionó el muro de contención a escala en voladizo con espada plana, de tal forma que éste no fallara por volteo y sí al deslizamiento con los parámetros obtenidos en los ensayos de laboratorio, aplicando la teoría de Rankine para muros con empuje activo.

### **7.7. Diseño estructural del muro**

Con las dimensiones obtenidas con el método de Rankine, se elaboró un diseño estructural que asegurara la integridad del muro de contención para que éste no se viera afectado por las cargas a las cuales sería sometido en repetidas ocasiones por el actuador.

### **7.8. Construcción del muro a escala**

La construcción del muro se llevó acabo en el laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Dichas actividades se efectuaron de la siguiente manera:

1. Modulación de la zapata del muro en formaleta metálica.
2. Figuración del acero de refuerzo para la zapata del muro.
3. Fundida de la zapata del muro.



4. Figuración del acero de refuerzo para el cuerpo del muro.
5. Modulación del cuerpo del muro en formaleta metálica y madera.
6. Fundida del cuerpo del muro.
7. Desencoframiento del muro.

### **7.9. Compactación del suelo de fundación**

La compactación del suelo de fundación se llevó a cabo con un total de 4 capas con espesores aproximadamente de 12 a 15 cm hasta alcanzar un nivel de 50 cm de espesor para el suelo de fundación en el cual el muro de contención fue cimentado. Esta compactación se llevó a cabo manualmente (pisón metálico) con la humedad óptima obtenida en las pruebas de Proctor modificado para así alcanzar el máximo peso específico seco del terreno.

### **7.10. Pruebas en el muro de reacción**

Se aplicaron cargas horizontales por medio del actuador a una distancia que correspondía a la tercera parte de la altura del muro, medida desde su base. Estas cargas fueron efectuadas en el muro de contención hasta romper la fuerza friccionante que restringe dicho movimiento entre suelo y muro.

Este proceso se repitió hasta obtener una cantidad representativa de datos con la cual se puede hacer un análisis confiable del empuje necesario para desplazar el muro (romper la fuerza friccionante que restringe).

### **7.11. Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones**

Con los resultados obtenidos se calculará la fuerza promedio que produce el desplazamiento del muro, la cual corresponderá al empuje activo. Debido a que el suelo de fundaciones es netamente friccionante, el empuje activo estimado corresponderá a la fuerza de rozamiento en el momento en el que se produce el desplazamiento. La fuerza de rozamiento corresponde a la suma de fuerzas verticales multiplicada por la tangente del ángulo de fricción suelo- muro ( $\delta$ ).

Se concluirá acerca de los resultados y los cálculos en comparación, y se darán recomendaciones acerca de cada uno de los procesos que se siguieron en el desarrollo del proyecto que sea de utilidad para futuras investigaciones.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200.

Para clasificar un suelo es necesario contar con los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado y límites de plasticidad. En el caso del suelo estudiado se trabajó con una arena proveniente de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca Santander. Como se verá más adelante, la arena estudiada no posee más de un 5% de finos, razón por la cual no se realizaron los ensayos de límites de Atterberg.

Las tablas 2, 3 y 4, muestran los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200, por tratarse de una arena con poco contenido de finos es necesario calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura para tener información de la gradación granulométrica del material.

**Tabla 2.** Resultados de la distribución granulométrica de la muestra 1

Peso seco antes del lavado (g)=		2050,8		
Peso seco después del lavado (g)=		1967,66		
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%
No	(mm)	(g)	PARCIAL	PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	0	0,00	100,00
No 4	4,75	3,9	0,19	99,81
10	2	24,22	1,18	98,63
40	0,42	1283,8	62,60	36,03
100	0,149	527,2	25,71	10,32
200	0,074	112,65	5,49	4,83
FONDO	-----	99,03	4,83	0,00
	$\Sigma=$	2050,8		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. Resultados de la distribución granulométrica de la muestra 2.**

Peso seco antes del lavado (g)=		1945,35		
Peso seco después del lavado (g)=		1864,62		
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%
No	(mm)	(g)	PARCIAL	PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	27,36	1,41	98,59
No 4	4,75	7,17	0,37	98,22
10	2	22,67	1,17	97,06
40	0,42	1165,44	59,91	37,15
100	0,149	530,66	27,28	9,87
200	0,074	95,45	4,91	4,97
FONDO	-----	96,6	4,97	0,00
		Σ=	1945,35	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. Resultado de la distribución granulométrica de la muestra 3.**

Peso seco antes del lavado (g)=		1974,14		
Peso seco después del lavado (g)=		1888,38		
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%
No	(mm)	(g)	PARCIAL	PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	4,63	0,23	99,77
No 4	4,75	4,09	0,21	99,56
10	2	20,83	1,06	98,50
40	0,42	1180,58	59,80	38,70
100	0,149	568,34	28,79	9,91
200	0,074	105,25	5,33	4,58
FONDO	-----	90,42	4,58	0,00
		Σ=	1974,14	

Fuente: Elaboración propia

Para los ensayos granulométricos se tuvo en cuenta el cumplimiento de la norma INVI.E-123-13.

Las tablas 5 y 6, muestran la cantidad de gravas arenas y finos obtenida en cada uno de los tres ensayos de granulometría realizados, también se presentan los coeficientes de uniformidad y curvatura requeridos para clasificar los suelos gruesos que tienen un bajo contenido de finos.

**Tabla 5.** *Resumen de los resultados granulométricos.*

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO
GRAVAS (%)	0,19	1,78	0,44	0,80
ARENAS (%)	94,98	93,26	94,98	94,41
FINOS (%)	4,83	4,97	4,58	4,79

**Fuente:** Elaboración propia

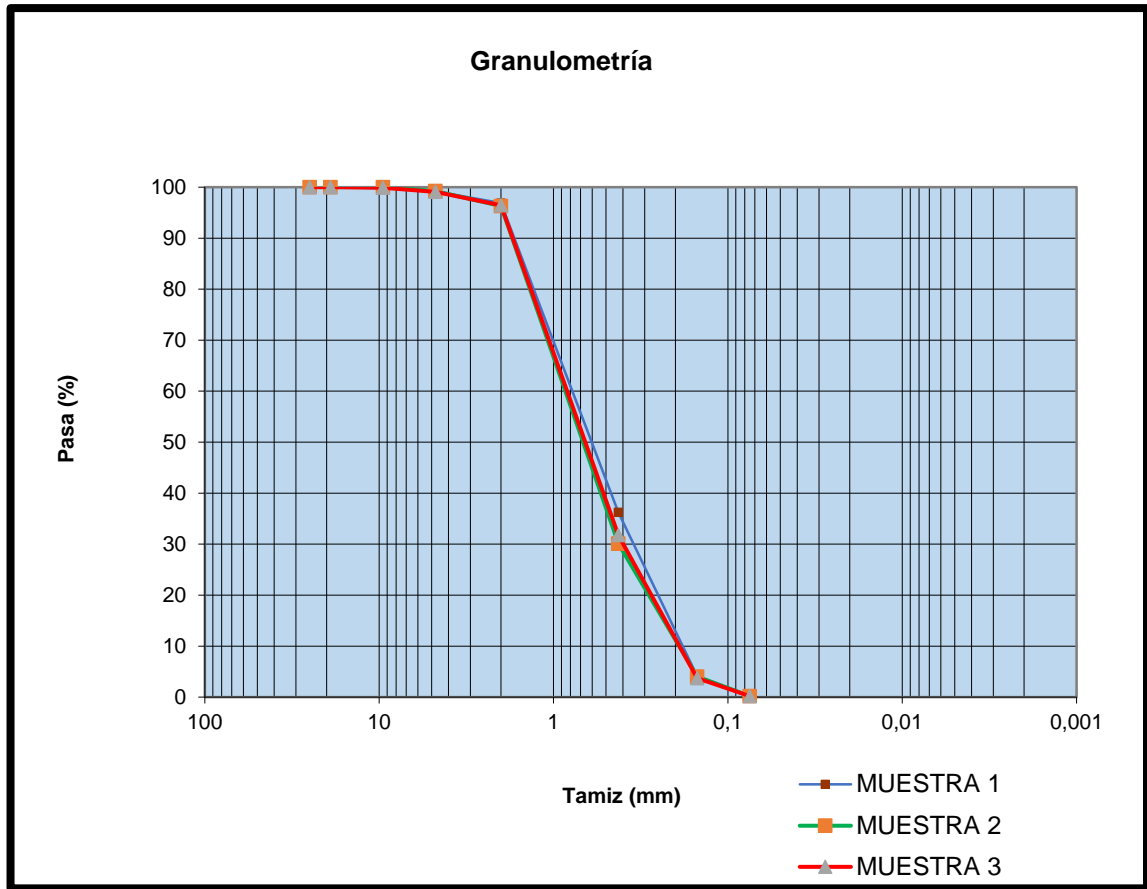
**Tabla 6.** *Resumen de criterios de gradación.*

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO
Cu	4,53	4,88	4,63	4,68
Cc	1,13	0,87	0,81	0,94

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 5 presenta las curvas granulométricas de las tres muestras ensayadas, como estas curvas tienden a ser verticales, esto significa que solamente existen pocas fracciones de tamaño de partículas, por lo tanto, es de esperarse que el suelo estudiado tenga una mala gradación.

Figura 5. Curvas granulométricas.

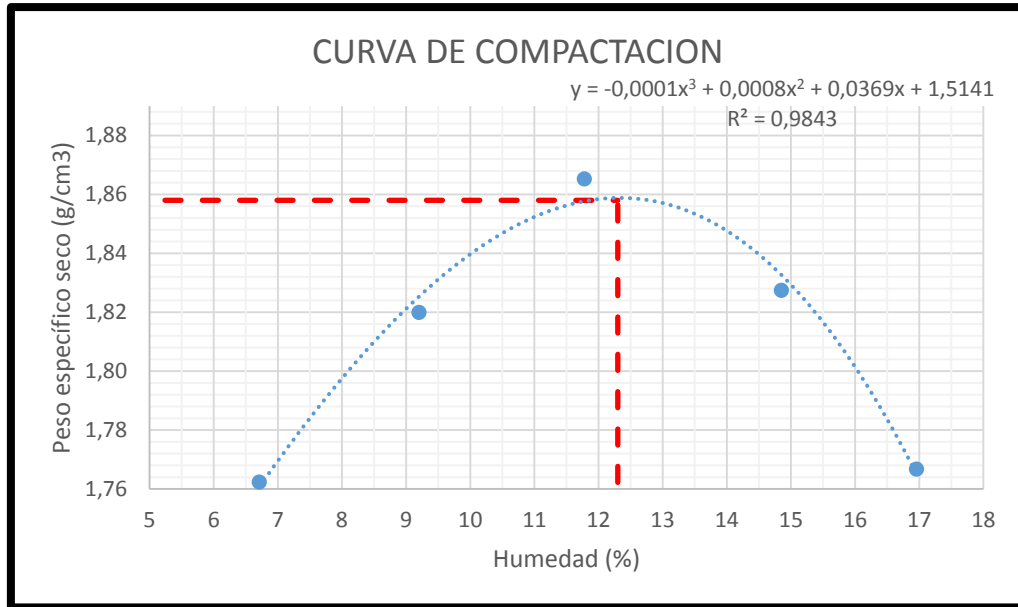


Fuente. Elaboración propia

## 8.2. Ensayos de Compactación

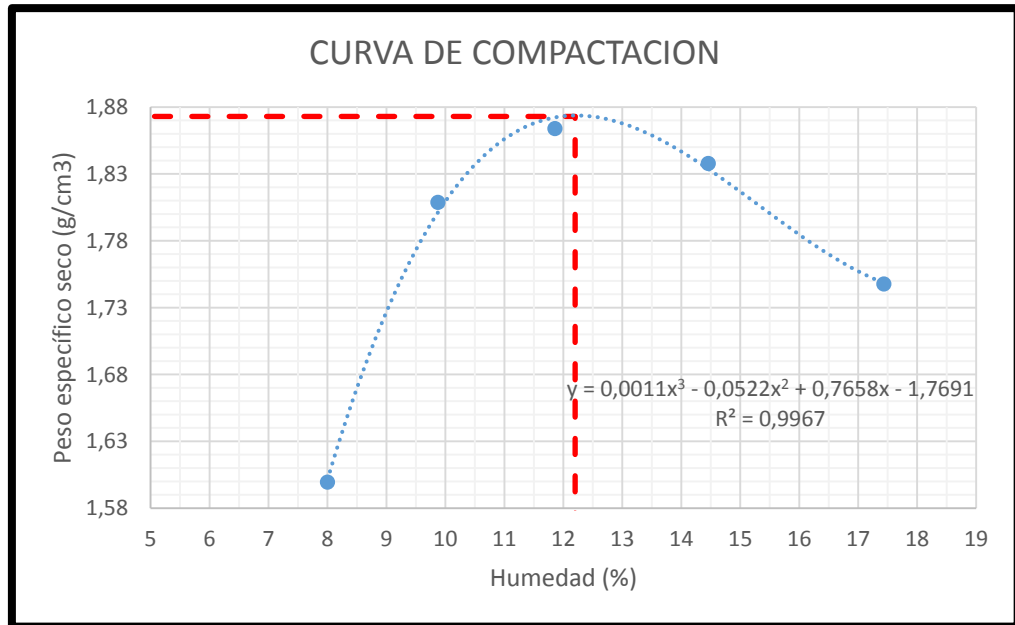
Para determinar la humedad óptima y el peso específico seco máximo del suelo estudiado se realizaron tres ensayos de compactación tipo Proctor (INV.E-142-13). Las curvas de compactación obtenidas en los tres ensayos realizados se muestran en las figuras 6, 7 y 8.

**Figura 6.** Curva de compactación muestra 1.



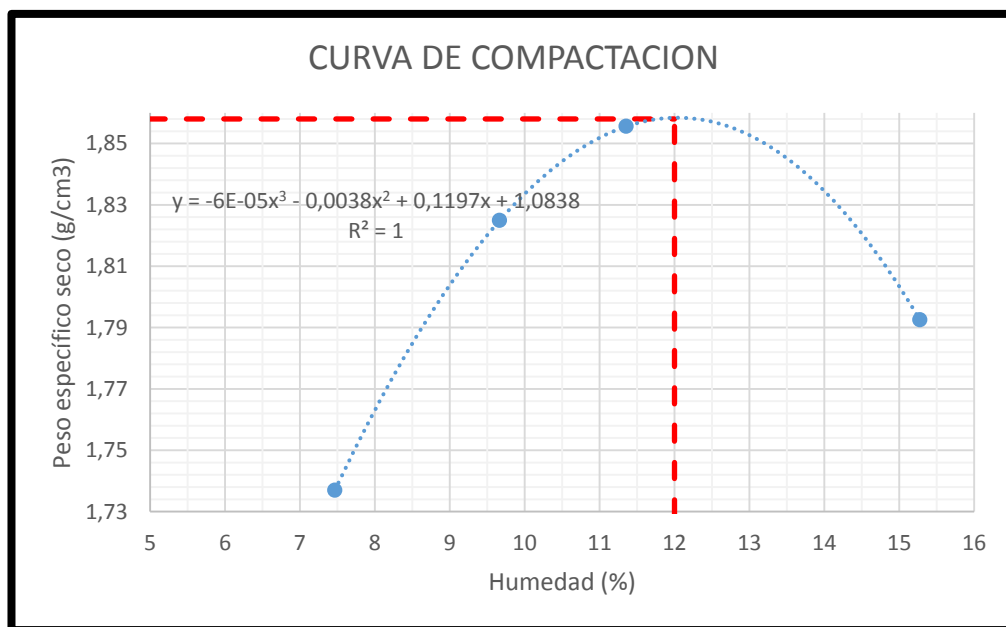
Fuente. Elaboración propia.

**Figura 7.** Curva de compactación muestra 2.



Fuente. Elaboración propia.

**Figura 8. Curva de compactación muestra 3**



Fuente. Elaboración propia

**Tabla 7. Promedio de humedad óptima y densidad máxima húmeda.**

ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
$W_{opt}$	12,3	12,2	12	12,17
$\gamma_{d_{max}}$	1,858	1,873	1,858	1,863

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 muestra la humedad óptima y el peso específico seco obtenido en cada uno de los tres ensayos realizados. También se presentan los valores promedios de dichos parámetros.

Una vez conocidos tanto la humedad óptima como el peso específico seco, se realizaron ensayos de corte directo para obtener los parámetros de resistencia al corte del suelo con el fin de dimensionar y diseñar el muro de contención.



La humedad óptima se utilizó para compactar el suelo de fundación y la arena tras el muro, los cuales corresponden al mismo material. El peso específico seco máximo se utilizó como punto de referencia para el control de la compactación.

### **8.3. Ensayos de corte directo consolidado drenado**

Se realizaron 6 ensayos de corte directo, de los cuales tres de ellos se hicieron antes de diseñar el muro de contención y cuyos resultados se utilizaron para dimensionar dicho muro de tal forma que este tuviese un factor de seguridad por volteo muy alto y la falla se produjera por deslizamiento. Los otros tres ensayos de corte directo se realizaron sobre muestras tomadas del suelo sobre el cual se desplató el muro a escala construido. La tabla 8 muestra los resultados de los últimos tres ensayos. En esta tabla se puede apreciar el esfuerzo normal utilizado en cada muestra, el esfuerzo cortante obtenido en la falla, el ángulo de fricción interna y la cohesión, así mismo se calculó el promedio de cada uno de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante.

Para la ejecución de los ensayos de corte directo se siguieron los lineamientos descritos en la norma INV.E-154-13.

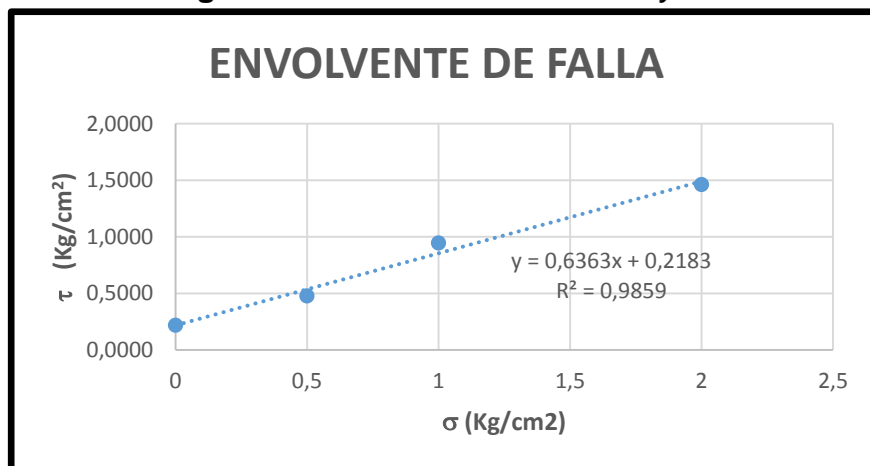
**Tabla 8.** Resultados de esfuerzos cortantes, ángulo de fricción interna y cohesión.

ENSAYO 1	$\sigma$ (Kg/ cm2)	$\tau$ (Kg/cm2)	$\Theta$ Angulo de fricción interna	C (Cohesión) Kg/cm2
1	0	0,2183	32,47	0,218
	0,5	0,4761		
	1	0,9449		
	2	1,4607		
2	0	0,2401	33,34	0,240
	0,5	0,5512		
	1	0,9248		
	2	1,5471		
3	0	0,2958	34,60	0,30
	0,5	0,6155		
	1	1,0237		
	2	1,6630		
PROMEDIO			33,47	0,251

Fuente. Elaboración propia

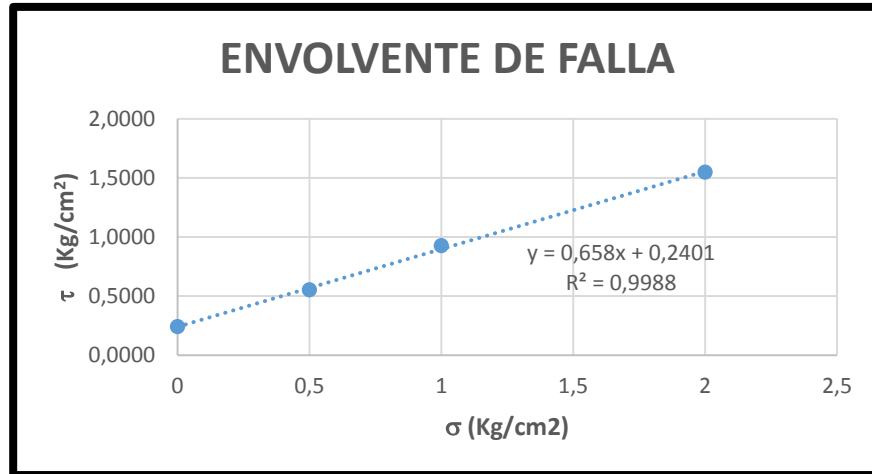
Las figuras 9, 10 y 11 muestran las envolventes de falla obtenidas en cada una de las tres pruebas de corte directo.

**Figura 9.** Envolvente de falla ensayo 1.



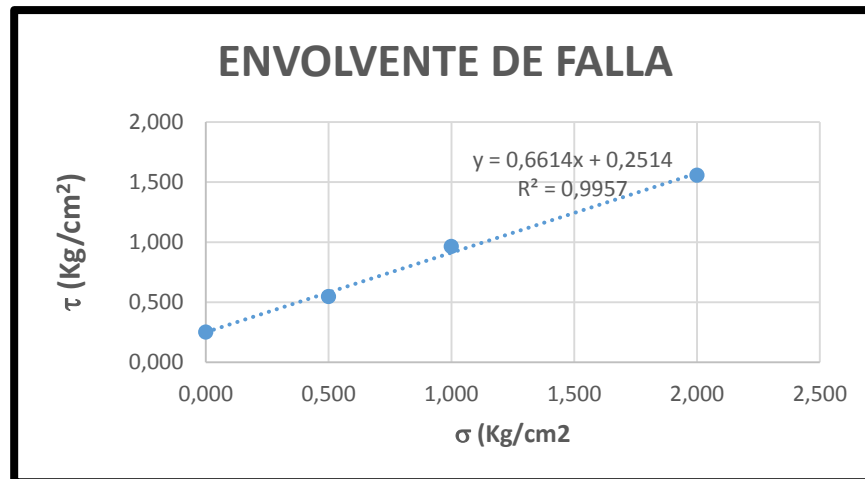
Fuente. Elaboración propia

**Figura 10. Envoltente de falla ensayo 2**



Fuente. Elaboración propia

**Figura 11. Envoltente de falla ensayo 3**



Fuente. Elaboración Propia

## 8.4. Diseño y construcción del muro a escala

### 8.4.1. Dimensionamiento del muro de contención a escala.

Una vez realizados los ensayos de granulometría por mallas con lavado por el tamiz No. 200, compactación y corte directo se procedió a realizar el dimensionamiento del muro de contención a escala de acuerdo con el siguiente procedimiento.

a. Para el cálculo de fuerzas y factores de seguridad se utilizaron los valores promedio del peso específico y el ángulo de fricción interna de la arena estudiada obtenidos en los ensayos de corte directo. Vale la pena aclarar que los resultados de los ensayos de corte directo utilizados en esta etapa corresponden al material llevado al laboratorio inicialmente y cuyos resultados se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados de esfuerzos cortantes, ángulo de fricción interna y densidad.

ENSAYO 1	$\sigma$ (Kg/ cm2)	$\tau$ (Kg/cm2)	$\phi$ Angulo de fricción interna	$\gamma$ (kN/m3)
1	0	0,32670	35,76	17,75
	0,5	0,60701		
	1	1,16672		
	2	1,72728		
2	0	0,18180	36,47	17,21
	0,5	0,54923		
	1	0,92397		
	2	1,65901		
3	0	0,11410	38,44	17,83
	0,5	0,51325		
	1	0,90414		
	2	1,70255		
PROMEDIO			36,89	17,59

Fuente. Elaboración propia

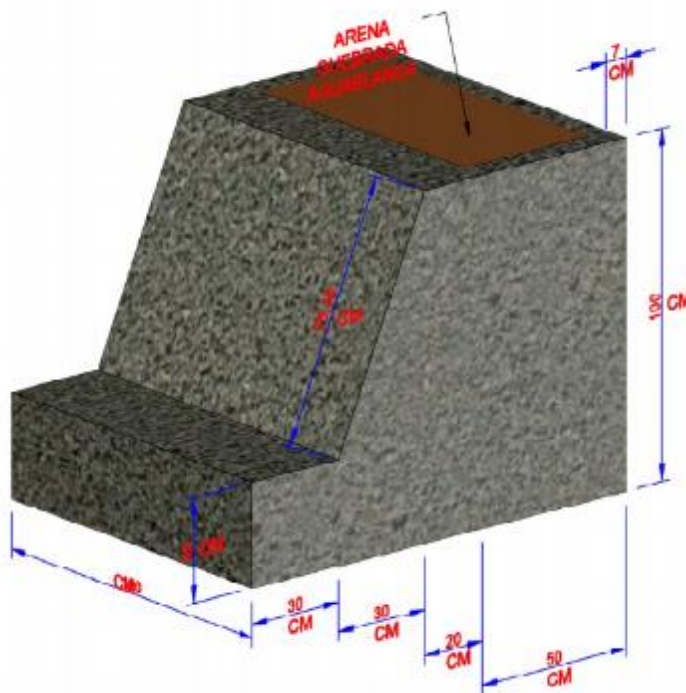
Tal como se expondrá más adelante, estos resultados fueron ajustados en sitio (ver análisis de resultados).

a. Una vez seleccionadas las propiedades del suelo de relleno y del suelo de fundación, se procedió a escoger las dimensiones del muro de contención, partiendo de la base que este debería tener un factor de seguridad por volteo mucho mayor que el factor de seguridad por deslizamiento, el empuje activo

se estimó usando el método de Rankine. Inicialmente se realizaron los cálculos utilizando un ángulo de fricción suelo - muro ( $\delta$ ) correspondiente a las dos terceras partes de ángulo de fricción interna de suelo, tal como lo sugiere Terzaghi.

- b. Con las propiedades físicas de la arena estudiada mencionadas anteriormente, un ángulo de fricción suelo muro correspondiente a las dos terceras partes del ángulo de fricción interna, el peso específico del concreto, se escogió el muro mostrado en la Figura 12.

**Figura 12.** Dimensiones del muro a escala.



**Fuente.** Elaboración propia

Para el muro seleccionado se estimó que este debería fallar por deslizamiento con una fuerza horizontal de 9.9 kN y en ese momento el factor de seguridad por volteo correspondiente es de 5.03.

#### 8.4.2. Diseño estructural del muro

Para el diseño estructural del muro de contención se estimó el momento aplicado sobre el muro calculado como:

$$M_u = P \times h$$

**Ecuación 4.** Momento aplicado.

Donde

P: fuerza teórica estimada que genera fallo al deslizamiento al muro

h: distancia de aplicación de la fuerza medida desde la base del muro

$$P = 11.56 \text{ kN}$$

$$h = 0.33 \text{ m}$$

$$M_u = 11.56 \times 0.33 = 3.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Seguido se procede a calcular la cuantía a partir del término k expresado como:

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

**Ecuación 5.** Término K.

Donde

$\phi$ : Factor de reducción de resistencia

b: ancho del muro

d: espesor o altura efectiva del muro medida en la base

$$\phi = 0.9$$

$$b = 1.0 \text{ m}$$

$$d = 0.415 \text{ m}$$

$$K = \frac{3.85}{0.9 \times 1.0 \times 0.415^2} = 24.83 \text{ Kpa}$$

Se halla la cuantía requerida

$$0.59 \frac{f_y^2}{f'_c} \rho^2 - f_y \rho + \frac{K}{1000} = 0$$

**Ecuación 6.** Cuantía requerida.

Dónde:

$f_y$ : resistencia nominal a la fluencia en el acero de refuerzo

$f'_c$ : resistencia nominal del concreto a la compresión

$\rho$ : Cuantía del refuerzo

Se resuelve la cuadrática.

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 21 \text{ MPa}$$

$$0.59 \frac{420^2}{21} \rho^2 - 420 \rho + \frac{24.83}{1000} = 0$$

$$\rho = 0.000005$$

Debido a que la cuantía requerida es menor a la cuantía mínima de 0.0018 estipulada por la NSR-10 en el título c capítulo 7 incisos 12.2, se calcula el área de refuerzo requerida  $A_s$  a partir de la cuantía mínima:

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = \rho \min b d$$

**Ecuación 7.** Área de refuerzo.

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 41 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.0018 \times 100 \times 41 = 7.38 \text{ cm}^2$$

Para determinar la alternativa de refuerzo a flexión se calcula mediante la relación entre el área de refuerzo requerida y el área transversal de la barra, que en este caso se asumió como barras de acero de diámetro  $\frac{1}{2}$  de pulgada.

$$\text{Ref} = A_s / A_b$$

**Ecuación 8.** Alternativa de refuerzo.

$$A_b = 1.29 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ref} = \frac{7.38}{1.29} = 5.72 \approx 6 \text{ barras}$$

La separación entre varillas se realiza para la profundidad del cuerpo del muro, descontando el recubrimiento que en este caso se adoptó de 5 cm.

$$\text{Sep} = L / \text{Ref} - 1$$

**Ecuación 9.** Separación entre varillas.

L (cm): longitud de repartición

$$L = 90 \text{ cm}$$

$$\text{Sep} = \frac{90}{6-1} = 18 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la disposición final del refuerzo a flexión fue:

#4 @ 18 cm

De la misma manera se estimó el refuerzo de retracción de fraguado y temperatura.

También se utilizó cuantía mínima para la base del muro.

Se calculó el área de refuerzo requerida  $A_s$  como:

$$A_s (\text{cm}^2) = \rho_{\min} b d$$

b: ancho de la base del muro

d: altura de la base del muro

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$b = 130 \text{ cm}$$

$$d = 30 \text{ cm}$$



$$A_s = 0.0018 \times 130 \times 30 = 7.02 \text{ cm}^2$$

Para determinar la alternativa de refuerzo a flexión se calcula mediante la relación entre el área de refuerzo requerida y el área transversal de la barra, que en este caso se asumió como barras de hacer de diámetro  $\frac{1}{2}$  de pulgada.

$$\text{Ref} = A_s / A_b$$

$$A_b = 1.29 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ref} = \frac{7.02}{1.29} = 5.44 \approx 6 \text{ Varrilas}$$

La separación entre varillas se realiza para el ancho de la base del muro, descontando el recubrimiento que en este caso se adoptó de 5 cm.

$$\text{Sep} = L / \text{Ref} - 1$$

L (cm): longitud de repartición.

$$L = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Sep} = \frac{120}{6-1} = 24$$

Por lo tanto, el refuerzo queda de la siguiente disposición.

$$\#4 @ 24 \text{ cm}$$

Refuerzo de retracción y fraguado de la base del muro

Calculamos el área de refuerzo longitudinal  $A_s$  como:

$$A_s (\text{cm}^2) = \rho \min b d$$

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 30 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.0018 \times 100 \times 30 = 5.4 \text{ cm}^2$$

En este caso al igual que los anteriores se asumió como barras de hacer de diámetro ½ de pulgada.

$$\text{Ref} = A_s / A_b$$

$$A_b = 1.29 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ref} = \frac{5.4}{1.29} = 4.19 \approx 5 \text{ barras}$$

Separación entre varillas se realiza para la profundidad de la base del muro, descontando el recubrimiento que en nuestro caso es de 5 cm y debido a que la separación entre ellos

$$\text{Sep} = L / (\text{Ref} - 1)$$

L (cm): longitud de repartición.

$$L = 90 \text{ cm}$$

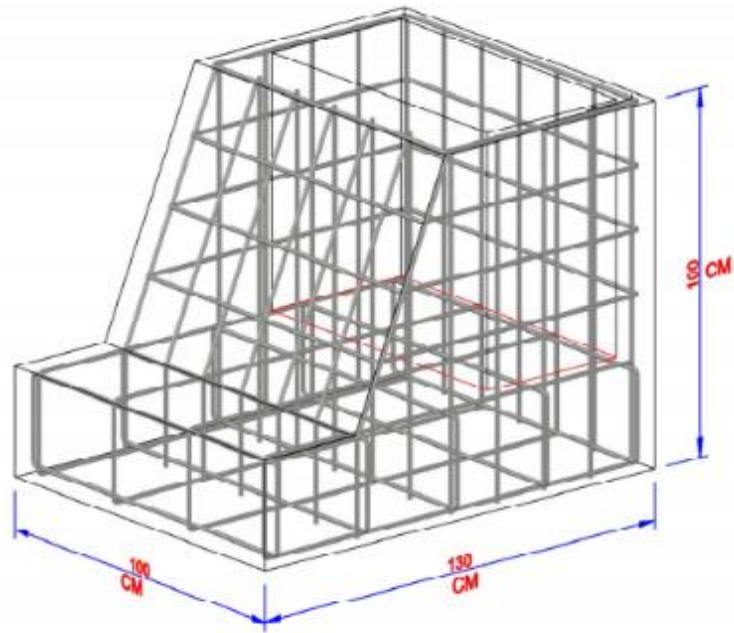
$$\text{Sep} = \frac{90}{5-1} = 22.5 \approx 23 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el refuerzo queda de la siguiente disposición.

$$\#4 @ 23 \text{ cm}$$

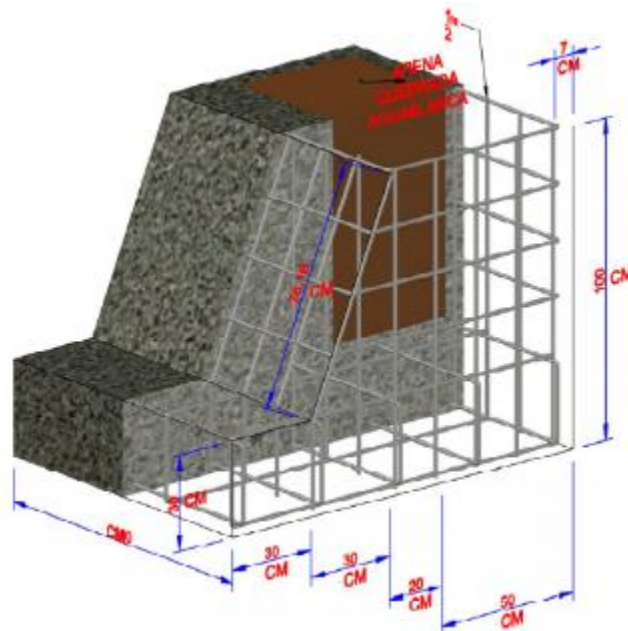
Adicionalmente se realizó una pantalla de concreto reforzado donde se consideró una cuantía mínima debido a que las cargas generadas sobre dicha pantalla eran muy bajas. La construcción de esta pantalla fue con el objetivo de almacenar el suelo y simular las condiciones reales de un muro. Dicha pantalla se extendió sobre el perímetro del talón del muro considerando un espesor de 7 cm como se muestra en las figuras 13 y 14.

**Figura 13.** Refuerzo estructura del muro a escala.



**Fuente.** Elaboración propia

**Figura 14.** Disposición final del muro de contención a escala.



**Fuente.** Elaboración propia

### **8.4.3. Construcción del muro a escala.**

La construcción del muro se realizó de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a. Modulación de formaleta

Para esta actividad se utilizó la formaleta disponible en el laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana. Primero se realizó un inventario de la formaleta existente, y con base en este se escogieron los elementos y la disposición de los mismos.

b. Figuración del acero de refuerzo.

De acuerdo con el diseño estructural mostrado en el numeral 8.4.2 se procedió a figurar el acero, esta actividad se realizó en el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana, el acero figurado corresponde al refuerzo a flexión y para evitar la retracción y fraguado del concreto. Del acero utilizado se tomó un testigo para corroborar su resistencia a la tensión.

c. Fundida.

La elaboración del concreto de 3000 PSI se realizó en el laboratorio de estructuras y una vez obtenida la mezcla, esta se vació dentro de la formaleta; parte de la mezcla se destinó para la preparación de muestras con el fin de realizar ensayos de resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días.

d. Compactación del suelo de fundación y relleno.

Aproximadamente 30 días después de fundido el muro, se compacto el suelo de fundación dentro de un cajón de 1.20 m X 1.80 m construido con la formaleta metálica y sobre el suelo compactado se desplantó el muro a escala y finalmente se compacto el relleno detrás del muro.

Vale la pena anotar que, una vez realizados los ensayos sobre el modelo a escala en el muro de reacción, se tomaron muestras para corte directo con el fin de

establecer las propiedades físicas del suelo en el preciso momento de dichos ensayos y con ellas re calcular factores de seguridad y determinar de la mejor manera posible el ángulo de fricción suelo muro objeto del presente trabajo de grado.

### 8.5. Ensayos sobre el muro a escala

**Tabla 10.** Resultados de fuerza horizontal máxima.

ENSAYOS	CARGA MAX (KN)
1	11,7
2	11,3
3	11,7
4	11,3
5	11,5
6	11,6
7	11,5
8	11,6
9	11,7
10	11,9
11	11,2
12	11,3
13	11,6
14	12
15	11,5
<b>PROMEDIO</b>	11,56
<b>DES. ESTANDAR</b>	0,23
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	1,96%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se presenta la fuerza horizontal máxima que desplazó al muro a escala en cada uno de los 15 ensayos realizados. Como se aprecia en dicha tabla estas fuerzas variaron entre 11.2 y 12.0 kN con un valor promedio de 11.56 kN, una desviación estándar de 0.23 kN y un coeficiente de variación del 1.96%.

## 8.6. Ensayos de resistencia a la compresión del concreto

En el momento de fundir el concreto del muro a escala, se prepararon nueve muestras para evaluar su resistencia a la compresión. Tres muestras se ensayaron a los 7 días, tres más a los 14 días y los tres restantes a los 28 días. Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Resistencia a la compresión del concreto obtenido a los 7, 14 y 28 días.

RESISTENCIA A LA COMPRESION				
DÍAS	MUESTRAS	RESISTENCIA		
		Mpa	PSI	%
7	1	12,18	1766,56	59%
	2	12,81	1857,94	
	3	11,34	1644,73	
14	1	17,85	2588,93	84%
	2	18,06	2619,39	
	3	16,38	2375,72	
28	1	19,11	2771,68	92%
	2	19,33	2803,58	
	3	18,9	2741,22	

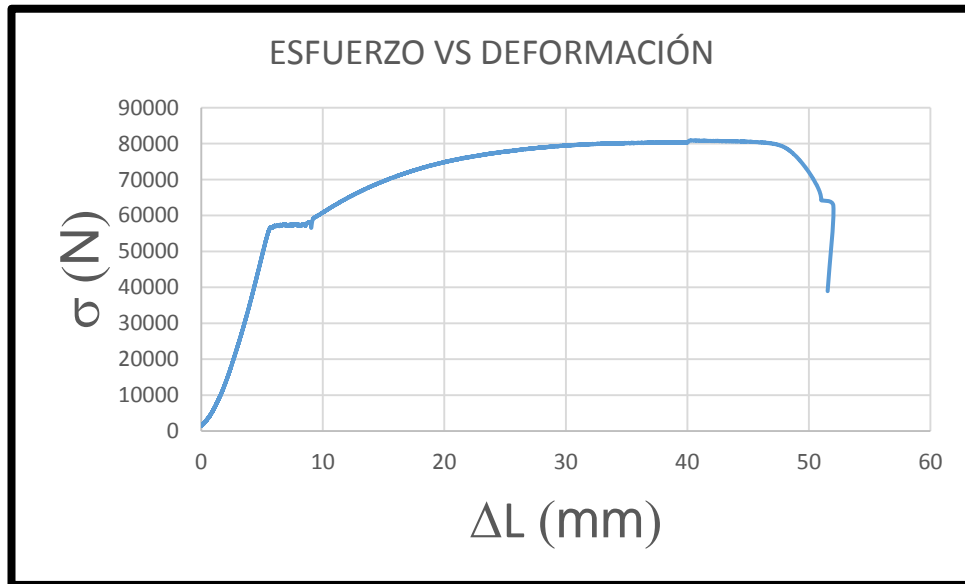
Fuente. Elaboración propia

## 8.7. Ensayo de resistencia a la tracción del acero

Para el refuerzo a la tracción del muro a escala se utilizó acero A36. Después de figurar la totalidad del refuerzo del muro construido, solamente se pudo rescatar una muestra del mismo que cumplía con las dimensiones adecuadas para ser ensayado en la maquina universal, con el fin de obtener su resistencia a la tracción. El

resultado del ensayo de resistencia a la tracción realizado sobre dicha muestra se muestra en la figura 15.

**Figura 15.** *Esfuerzo vs deformación del acero.*



Fuente: Elaboración propia

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 9.1. Clasificación del suelo

De acuerdo con los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200 se pudo determinar que el material estudiado en este trabajo corresponde a un suelo grueso, ya que más del 50% no pasó por la malla No. 200 (solamente pasó el 4.79% en promedio).

Siendo un suelo grueso se debe determinar si el material corresponde a una grava o a una arena, en este caso corresponde a una arena, ya que más del 50% de la fracción gruesa no pasa por el tamiz No. 4.

Como el contenido de finos es inferior al 5%, no fue necesario realizar los ensayos de límites de Atterberg, debido a que la arena podría ser bien o mal gradada y los límites no aportan nada a esta determinación.

Para que una arena se pueda considerar como bien gradada el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) debe ser superior a 6 y el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) debe estar entre 1 y 3. En el caso de la arena estudiada el coeficiente de uniformidad fue inferior a 6 (4.68) y el coeficiente de curvatura no está entre 1 y 3 (0.94). Es decir, el suelo estudiado es según el SUCS corresponde a una arena mal gradada (SP).

La Tabla 12 muestra un resumen de los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200 realizados.



**Tabla 12.** Promedio del coeficiente de uniformidad (Cu) y curvatura (cc).

ENSAYO	1	2	3	Promedio
% Gravas	0,19	1,78	0,44	0,80
% Arenas	94,98	93,26	94,98	94,41
% Finos	4,83	4,97	4,58	4,79
D10(mm)	0,15	0,16	0,16	0,16
D30(mm)	0,34	0,33	0,31	0,33
D60(mm)	0,68	0,78	0,74	0,73
Cu	4,53	4,88	4,63	4,68
Cc	1,13	0,87	0,81	0,94

Fuente: Elaboración propia

## 9.2. Ensayos de compactación

Posteriormente a la clasificación granulométrica del suelo, se realizaron ensayos de compactación Proctor modificado, con los cuales se determinaron la máxima densidad específica seca de  $1,66 \text{ g/cm}^3$  y la humedad óptima de 12,17%. Los ensayos de compactación fueron realizados bajo los lineamientos encontrados en la norma INV-E-142-13.

Los parámetros de compactación obtenidos en los ensayos realizados se utilizaron para preparar las muestras requeridas para el ensayo de corte directo, con el fin de dimensionar el muro a escala y después de finalizar las pruebas sobre dicho modelo a escala, hacer un control del material compactado usado como suelo de fundación.

## 9.3. Ensayos de corte directo

En total se realizaron seis ensayos de corte directo de los cuales se obtuvo la humedad, el peso específico y el ángulo de fricción interna. Tres de los ensayos se realizaron sobre muestras compactadas en los moldes del ensayo Proctor

modificado, con el fin de dimensionar el muro a escala (Ensayos Tipo 1) y los tres restantes (Ensayos Tipo 2) se realizaron sobre muestras tomadas del suelo de fundación del modelo a escala una vez finalizados los ensayos realizados sobre dicho modelo con el muro de reacción.

En la Tabla 13 se pueden observar los promedios del peso específico, el ángulo de fricción interna y la humedad para cada tipo de muestra.

**Tabla 13.** Resultado promedio de propiedades físicas del suelo estudiado.

PROPIEDADES	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	HUMEDAD (%)
Tipo 1	17,59	36,89	12,20
tipo 2	17,53	33,47	12,53

**Fuente.** Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 11 el ángulo de fricción interna obtenido en los ensayos de corte tipo 2 es algo menor que el obtenido en los ensayos tipo 1, esto se explica en el hecho que las muestras tipo 2 fueron compactada con un pisón de madera y las muestras tipo 1 fueron compactadas con el martillo de 10 lb, usando 5 capas y un numero de golpes por capa de 55, es decir que el suelo de fundación del muro a escala fue compactado con una menor energía de compactación.

#### 9.4. Ensayos sobre el muro a escala

En la tabla 14 se puede observar el ángulo de fricción entre suelo – muro para cada uno de los quince ensayos realizado sobre el modelo a escala, también se calculó el promedio de dichos ángulos, los cuales se estimaron por medio de la siguiente ecuación:

$$\delta = \text{TAN}^{-1} \left( \frac{\text{CARGA}}{N} \right)$$

**Ecuación 10.** Angulo de fricción.

Donde:

CARGA: Fuerza que produce el desplazamiento del muro.

N: Suma de fuerzas verticales.

**Ecuación 11.** Resultados obtenidos sobre el muro para determinar el parámetro  $k$ .  
(ensayos de Empuje).

ENSAYOS	CARGA MAX (KN)	$\delta$	$\theta$	K
1	11,7	28,38	33,47	0,85
2	11,3	27,55	33,47	0,82
3	11,7	28,38	33,47	0,85
4	11,3	27,55	33,47	0,82
5	11,5	27,97	33,47	0,84
6	11,6	28,17	33,47	0,84
7	11,5	27,97	33,47	0,84
8	11,6	28,17	33,47	0,84
9	11,7	28,38	33,47	0,85
10	11,9	28,78	33,47	0,86
11	11,2	27,34	33,47	0,82
12	11,3	27,55	33,47	0,82
13	11,6	28,17	33,47	0,84
14	12	28,99	33,47	0,87
15	11,5	27,97	33,47	0,84
<b>PROMEDIO</b>	11,56	28,09	33,47	0,84
<b>DES. ESTANDAR</b>	0,23	0,47	0,00	0,01
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	1,96%	1,66%	0,00%	1,66%

Fuente. Elaboración propia

Dado que el suelo de fundación utilizado es netamente friccionante, el ángulo de fricción suelo muro ( $\delta$ ) se calculó con la ecuación anterior, además no se usó un empuje pasivo.

El parámetro K corresponde a la relación entre el ángulo de fricción suelo – muro y el ángulo de fricción interna del suelo. Vale la pena anotar que para la arena estudiada en el presente trabajo de grado y el muro de contención construido el valor de  $\delta$  varía entre el 82% y el 86% de  $\phi$ .

Tradicionalmente se han usado los valores de K sugeridos por Terzaghi comprendidos entre la mitad y las dos terceras partes del ángulo de fricción interna. Los valores de K obtenidos en el presente trabajo de grado están por fuera del rango sugerido por Terzaghi, sin embargo, son similares a los obtenidos en otras investigaciones parecidas.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No 200, se obtuvo que el suelo estudiado en el presente trabajo de grado corresponde a una arena mal gradada con un porcentaje de finos inferior al 5%. Desde un principio se buscó que el suelo escogido correspondiera a un material grueso con un contenido muy bajo de finos, de esta forma se logra que la única fuerza que contrarreste los empujes horizontales sea aportada por la fricción. Además, no se aplicó ningún empuje pasivo
2. Para dimensionar un muro de contención se requiere conocer las propiedades físicas tanto del suelo de fundación como del relleno (en este caso se trata del mismo suelo). Por medio de ensayos de compactación Proctor modificado se obtuvo que la humedad óptima del material usado es de 12.17% y el peso específico seco máximo de  $1.863 \text{ g/cm}^3$ , con estos valores se prepararon muestras compactadas en el laboratorio y de allí se tomaron testigos para realizar ensayos de corte directo y de esta forma obtener el peso específico ( $17.59 \text{ kN/m}^3$ ) y el ángulo de fricción interna ( $36.89^\circ$ ) requeridos para dimensionar el muro. Finalmente se dimensionó un muro de contención estable al volteo en el momento de la falla por deslizamiento, de tal forma que no se produjera daño estructura en él.
3. Los testigos usados para la obtención del ángulo de fricción interna (requerido para dimensionar el muro), se tomaron del interior de moldes tipo Proctor en los cuales se compactó el suelo aplicando la energía de compactación correspondiente a la prueba modificada, sin embargo la compactación del suelo de fundación del muro se realizó con pisón, aplicando una energía de compactación menor, es por esta razón que el ángulo de fricción interna promedio estimado sobre testigos recuperados de dicho suelo de fundación fue

menor ( $33.47^\circ$ ). Con este valor se estimó nuevamente el ángulo de fricción suelo – muro ( $\delta$ ) y se recalculó el empuje activo teórico con el cual debería haber fallado el muro y establecer diferencias con el empuje que realmente produjo la falla.

4. Para estimar la fuerza horizontal con la cual debería haber fallado el modelo a escala por deslizamiento se utilizó la teoría de Rankine y además se usó un ángulo de fricción suelo muro ( $\delta$ ) correspondiente a dos tercios del ángulo de fricción interna de suelo usado; con estos valores se estableció que el modelo a escala debió fallar por deslizamiento con una fuerza horizontal de 8.93 kN, sin embargo al realizar los ensayos sobre el modelo con la ayuda del muro de reacción y el actuador, esta falla se obtuvo con una fuerza horizontal máxima promedio de 11.56 kN, es decir 2.63 kN superior a la inicialmente calculada. La razón por la cual la fuerza horizontal máxima calculada es menor que la fuerza horizontal que realmente produjo la falla por deslizamiento se debe a que los valores de ángulo de fricción suelo – muro sugeridos por Terzaghi son un poco conservadores.
5. Como criterio de falla se estableció que esta se da cuando la fuerza horizontal aplicada se hace constante ya que en ese momento se ha superado la fuerza de rozamiento que existía en oposición al movimiento.
6. El parámetro K corresponde a la relación entre el ángulo de fricción suelo – muro y el ángulo de fricción interna del suelo y tradicionalmente se han usado valores comprendidos entre 0.5 y 0.66 (valores sugeridos por Terzaghi). En el presente trabajo de grado se obtuvo un rango de variación de K entre 0.82 y 0.83, de lo anterior se puede concluir una vez más que el rango de K comprendido entre 0.5 y 0.6 es conservador. A pesar de haberse obtenido valores de K superiores a los de Terzaghi, estos están dentro de un rango similar a los de investigaciones similares.

7. Con el fin de garantizar que el muro a escala no fallara estructuralmente, este se diseñó de tal manera que en el momento de la falla por deslizamiento el factor de seguridad por volteo tuviese un valor alto (4.52). Con las propiedades físicas del suelo recalculadas a partir de testigos tomados del suelo de fundación se estableció que en el momento de la falla el factor de seguridad por volteo era 3.51 en promedio, valor suficientemente alto que garantiza la estabilidad al volteo y por consiguiente la integridad estructural del muro.
  
8. De acuerdo con los resultados obtenidos tanto en el laboratorio como en campo, se puede concluir que entre mayor sea la energía con la cual se compacte el suelo de fundación, mayor será la fuerza de rozamiento que se oponga al desplazamiento del muro.

## RECOMENDACIONES

1. Para futuros trabajos de grado similares, se recomienda construir muros con espalda inclinada y relleno inclinado y así mismo utilizar otro tipo de suelo de fundación diferente al del presente trabajo (por ejemplo, suelos gruesos con una matriz limosa o arcillosa), de esta manera podrá tenerse en cuenta el parámetro de cohesión en el cálculo del ángulo de fricción suelo – muro.
2. Con el fin de obtener un mayor grado de compactación en el suelo de fundación, se recomienda que este sea compactado con equipos de compactación mecánicos y no con un pisón. En este trabajo la compactación se realizó con un pisón y por esta razón los parámetros geo mecánicos obtenidos previamente sobre muestras recuperadas de moldes de ensayos Proctor modificado difieren levemente de los obtenidos directamente del suelo de fundación.
3. Para futuros trabajos de grados se recomienda obtener la densidad del concreto con la cual es construido el muro a escala para hacer la comparación con la densidad que se toma teóricamente con las cuales se diseña el muro y poder recalcular las fuerzas con la cual el muro fallara al deslizamiento.
4. Se recomienda adquirir actuadores de diferentes capacidades y de esta forma podrían realizarse trabajos en los cuales los muros a escala tuviesen diferentes dimensiones, además de estar cimentados en diferentes tipos de suelo.
5. Cuando se van a obtener los parámetros de resistencia al corte de suelos granulares sobre muestras compactadas en moldes del ensayo Proctor modificado es recomendable realizar los ensayos inmediatamente se realice la compactación o si esto no es posible las muestras deben almacenarse en un cuarto húmedo o en neveras de icopor, en ambos casos recubiertas por papel



celofán. Esta recomendación se hace debido a que los suelos granulares tienen una permeabilidad alta y rápidamente se produce una pérdida de húmeda

## BIBLIOGRAFÍA

- Bowles, J. (1996). *Foundation Analysis and Design*. Mc Graw Hill.
- Braja M, D. (2012). En *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (págs. 19-24). México: Cengage Learning.
- Castillo, M., & C, R. (2008). *Mecanica de suelos 2*.
- Crespo Villalaz, C. (1980). *MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES*. Monterrey: Limusa Noriega Editores.
- Estupiñan, E., & Sánchez, M. (2016). *INFLUENCIA DE LA COHESION EN EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN CIMENTADOS SOBRE ARENA ARCILLOSA*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- Ghanbari, A., & Ahmadabadi, M. (2010). Ective Earth Pressure on Inclined Retaining Walls in Static and Pseudo-Static Conditions. *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 8, Non 2.
- H, G. (2013). *METODOLOGIA DE DISEÑO Y CALCULOS ESTRUCTURALES PARA MUROS DE CONTENCIÓN CON CONTRAFUERTE EN EL TRASDÓS, BASADO EN UN PROGRAMA DE CÓMPUTO*. Escuela de Ingeniería Civil.
- Joseph E, B. (1981). *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL*. México: McGRAW-HILL.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecanica de suelos* . México: Limusa.
- Montoya, G. (2013). *PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN LA INTERFAZ SUELO-CEMENTO*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Pineda, J., & Colmenares, J. (2011). *PEAK AND RESIDUAL SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF SOFT CLAY-CONCRETE INTERFACES*. Bogotá: La Salle University.
- Solano Soto, C. T. (2014). *INFLUENCIA DE LA COHESIÓN EN EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN CIMENTADOS SOBRE LIMOS INORGANICOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- INV-E-123 – 2013.
- INV-E-142 – 2013.
- INV-E-154 – 2013.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO.**

## Ensayos de clasificación y propiedades físicas de la arena de la Quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca



Granulometría por tamizado con lavado por la Malla No. 200



Ensayos de compactación tipo Proctor



Ensayos de corte directo consolidado drenado



## Construcción del muro a escala



Figurado y modulación de la base del muro.



Preparación de mezcla



Fundida de la base del muro





Figuración y modulación de la espalda del muro



Fundida de la espalda del muro



Muro a escala

## Montaje del Ensayo en muro de reacción



Speedy para humedad del material



Modulación para cajón de suelo de fundación





Compacción por capas de suelo de fundación



Montaje de muro a escala



Relleno y compactación de relleno activo



Ensayos sobre muro de reacción



Ensayos de corte directo de muestras tomadas en sitio



Ensayo de compresión al concreto



Ensayo a la tracción del acero

**ANEXO B**  
**ENSAYOS GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA**  
**MALLA No. 200**

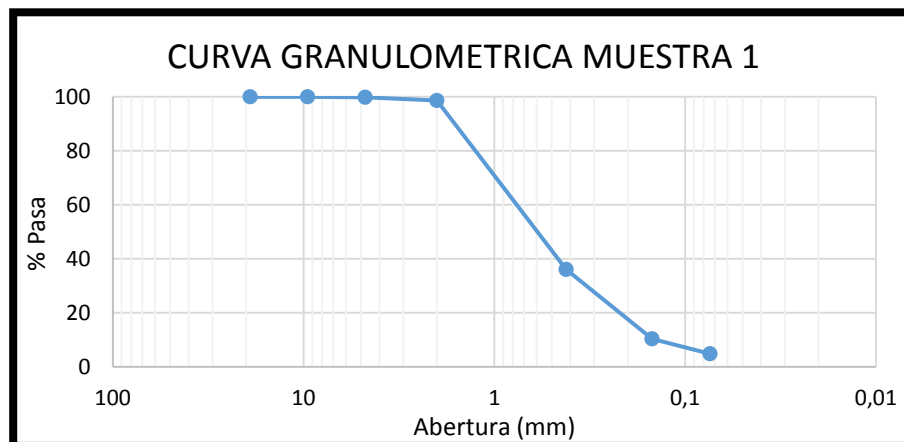
### Muestra 1

Peso seco antes del lavado (g)=		2050,8		
Peso seco después del lavado (g)=		1967,66		
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%
No	(mm)	(g)	PARCIAL	PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	0	0,00	100,00
No 4	4,75	3,9	0,19	99,81
10	2	24,22	1,18	98,63
40	0,42	1283,8	62,60	36,03
100	0,149	527,2	25,71	10,32
200	0,074	112,65	5,49	4,83
FONDO	-----	99,03	4,83	0,00
		<b>Σ=</b>	<b>2050,8</b>	

GRAVAS:	<b>0,19</b>	%
ARENAS:	94,98	%
FINOS:	4,83	%

D60=	<b>0,68</b>	mm
D30=	0,34	mm
D10=	0,15	mm

Cu=	<b>4,53</b>
Cc=	1,13



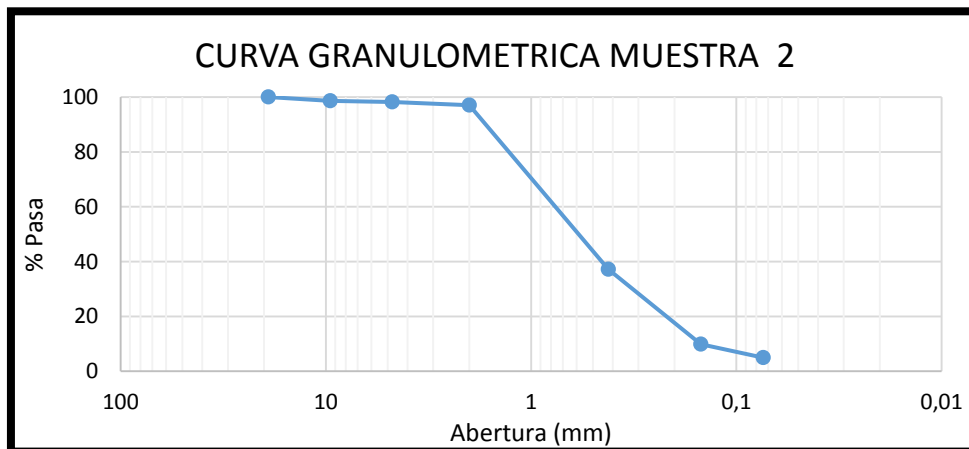
## Muestra 2

Peso seco antes del lavado (g)=		1945,35		
Peso seco después del lavado (g)=		<b>1864,62</b>		
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%
No	(mm)	(g)	PARCIAL	PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	27,36	1,41	98,59
No 4	4,75	7,17	0,37	98,22
10	2	22,67	1,17	97,06
40	0,42	1165,44	59,91	37,15
100	0,149	530,66	27,28	9,87
200	0,074	95,45	4,91	4,97
FONDO	-----	96,6	4,97	0,00
<b>Σ=</b>		<b>1945,35</b>		

GRAVAS:	<b>1,78</b>	%
ARENAS:	93,26	%
FINOS:	4,97	%

D60=	<b>0,78</b>	mm
D30=	0,33	mm
D10=	0,16	mm

Cu=	<b>4,88</b>
Cc=	0,87



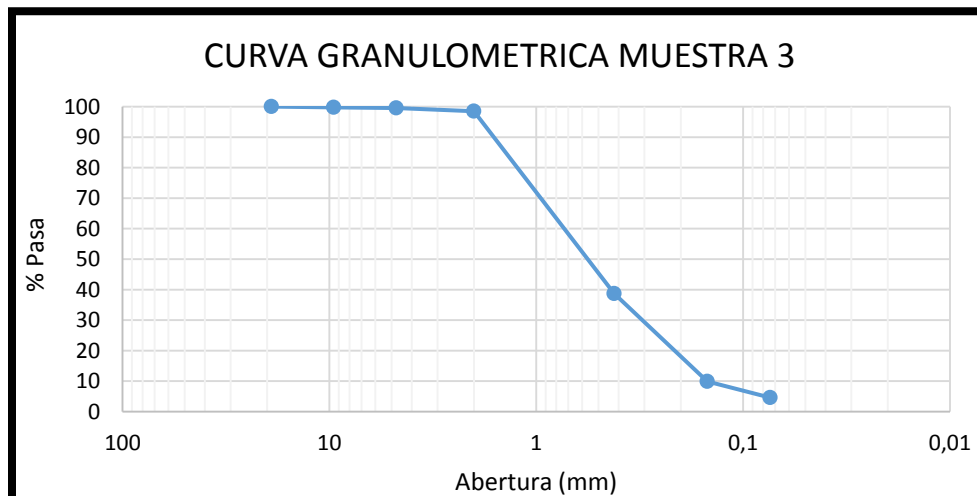
### Muestra 3

Peso seco antes del lavado (g)=		1974,14		
Peso seco después del lavado (g)=		1888,38		
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%
No	(mm)	(g)	PARCIAL	PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	4,63	0,23	99,77
No 4	4,75	4,09	0,21	99,56
10	2	20,83	1,06	98,50
40	0,42	1180,58	59,80	38,70
100	0,149	568,34	28,79	9,91
200	0,074	105,25	5,33	4,58
FONDO	-----	90,42	4,58	0,00
		Σ=	1974,14	

GRAVAS:	<b>0,44</b>	%
ARENAS:	94,98	%
FINOS:	4,58	%

D60=	<b>0,74</b>	mm
D30=	0,31	mm
D10=	0,16	mm

Cu=	<b>4,63</b>
Cc=	0,81



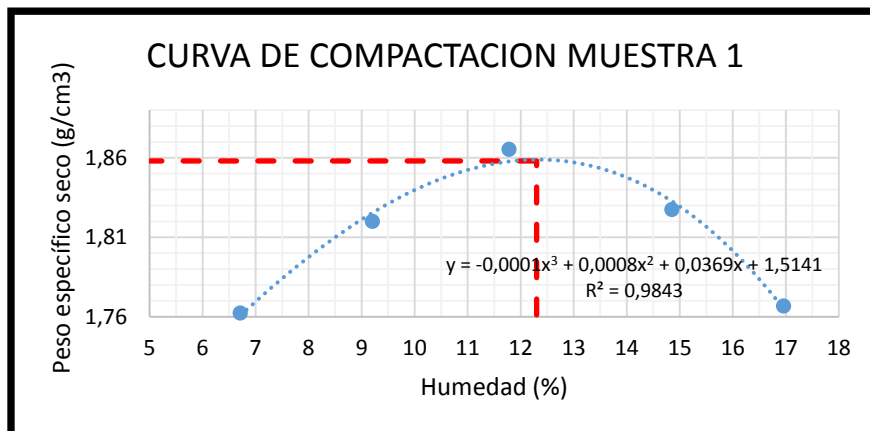
**ANEXO C**  
**ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.**



## Muestra 1

DIMENSIONES DEL MOLDE	
Diámetro molde (cm)=	15,26
Altura molde (cm)=	11,77
Peso molde (g)=	5720
Volumen molde (cm <sup>3</sup> )=	2153,60

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	9770	10000	10210	10240	10170
Peso molde (g)	5720	5720	5720	5720	5720
Peso suelo húmedo (g)	4050	4280	4490	4520	4450
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1,88	1,99	2,08	2,1	2,07
HUMEDAD					
Capsula No	10	20	141	301	4
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	99,14	135,01	124,32	138,77	169,03
Peso cápsula + suelo seco (g)	94,6	125,9	113,43	124,29	148,43
Peso cápsula (g)	26,97	26,92	20,99	26,81	26,97
Peso agua (g)	4,54	9,11	10,89	14,48	20,6
Peso suelo seco (g)	67,63	98,98	92,44	97,48	121,46
Humedad (%)	6,71	9,2	11,78	14,85	16,96
PESO ESPECÍFICO SECO					
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,76	1,82	1,87	1,83	1,77

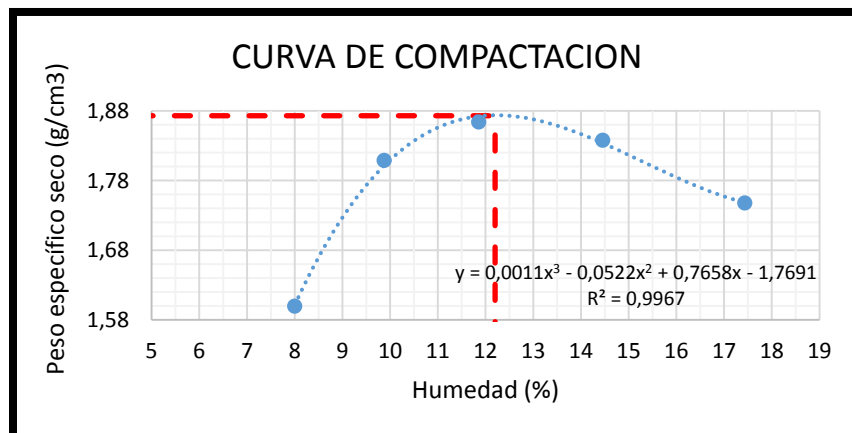


$W_{opt} =$	<b>12,3</b>	<b>%</b>
$\gamma_{d_{max}} =$	1,858	g/cm <sup>3</sup>

## Muestra 2

DIMENSIONES DEL MOLDE	
Diámetro molde (cm)=	15,26
Altura molde (cm)=	11,77
Peso molde (g)=	5720
Volumen molde (cm <sup>3</sup> )=	2153,60

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	9440	10000	10210	10250	10140
Peso molde (g)	5720	5720	5720	5720	5720
Peso suelo húmedo (g)	3720	4280	4490	4530	4420
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1,73	1,99	2,08	2,10	2,05
HUMEDAD					
Capsula No	10	20	141	301	4
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	163,51	125,5	136,36	136,67	155,55
Peso cápsula + suelo seco (g)	153,4	116,11	124,76	122,06	136,48
Peso cápsula (g)	27,06	21,04	26,95	21,02	27,12
Peso agua (g)	10,11	9,39	11,6	14,61	19,07
Peso suelo seco (g)	126,34	95,07	97,81	101,04	109,36
Humedad (%)	8,00	9,88	11,86	14,46	17,44
PESO ESPECÍFICO SECO					
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,60	1,81	1,86	1,84	1,75

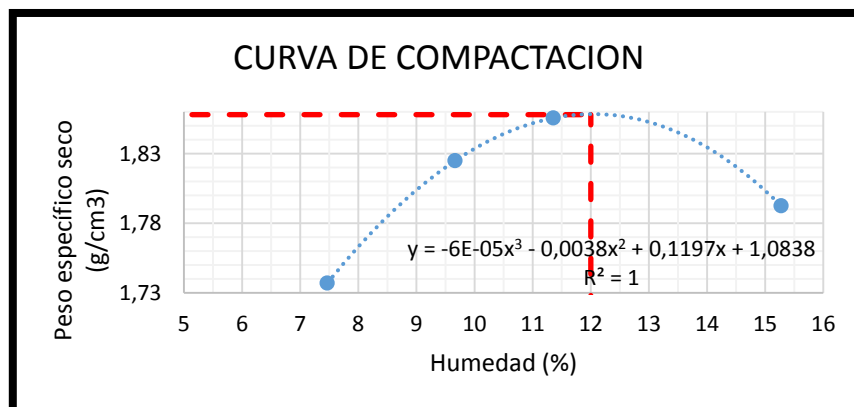


$w_{opt} =$	<b>12,2</b>	<b>%</b>
$\gamma_{d_{max}} =$	<b>1,873</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

### Muestra 3

DIMENSIONES DEL MOLDE	
Diámetro molde (cm)=	15,26
Altura molde (cm)=	11,77
Peso molde (g)=	5720
Volumen molde (cm <sup>3</sup> )=	2153,60

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Peso molde + suelo húmedo (g)	9740	10030	10170	10170
Peso molde (g)	5720	5720	5720	5720
Peso suelo húmedo (g)	4020	4310	4450	4450
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1,87	2,00	2,07	2,07
HUMEDAD				
Capsula No	10	20	141	301
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	133,35	166,09	123,76	137,81
Peso cápsula + suelo seco (g)	125,98	153,84	113,28	122,32
Peso cápsula (g)	27,28	27,11	21	20,92
Peso agua (g)	7,37	12,25	10,48	15,49
Peso suelo seco (g)	98,7	126,73	92,28	101,4
Humedad (%)	7,47	9,67	11,36	15,28
PESO ESPECÍFICO SECO				
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,74	1,82	1,86	1,79



$w_{opt} =$	<b>12</b>	<b>%</b>
$\gamma_{dmax} =$	1,858	g/cm <sup>3</sup>

**ANEXO D**  
**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.**

## Ensayos de corte directo de muestras tomadas de molde tipo Proctor modificado

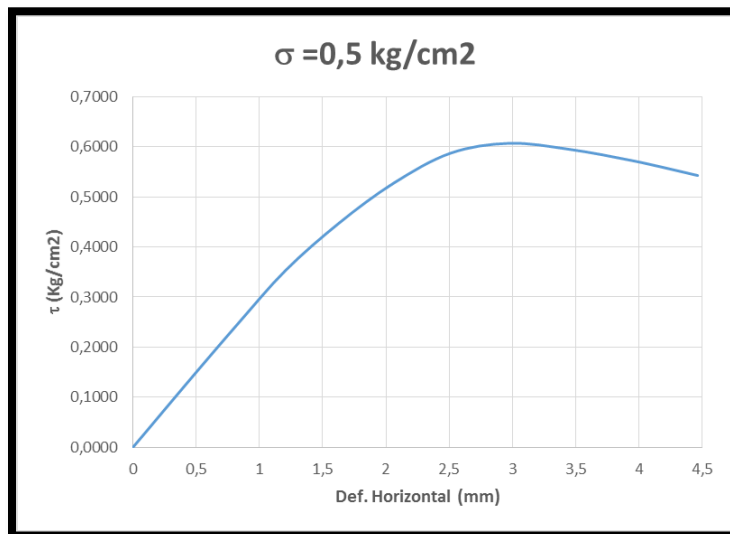
### Corte 1

#### Datos iniciales muestra 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>264,61</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	135,58
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,92
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5

#### Contenido de humedad muestra 1

<b>Capsula No.</b>	<b>20</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	26,93
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	147,86
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	131,79
<b>Peso agua (g)</b>	16,07
<b>Peso suelo seco (g)</b>	104,86
<b>Humedad (%)</b>	15,33



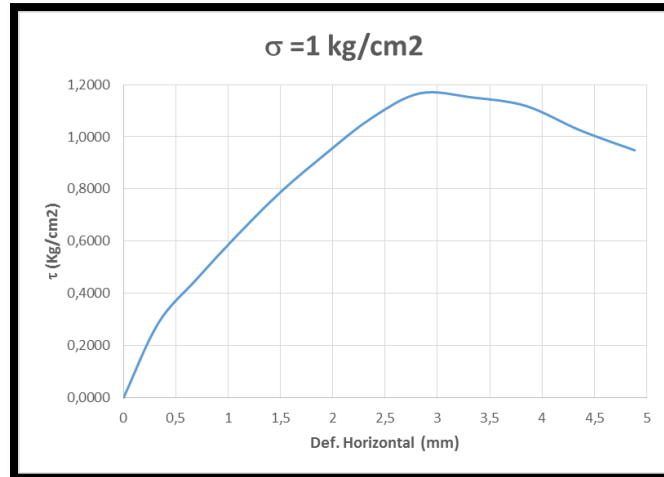
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	48,9	0,462	0,1385	4,9864
1	86,7	0,826	0,2456	8,8409
1,5	124,8	1,208	0,3535	12,7260
2	158,1	1,63	0,4478	16,1216
2,5	186,2	2,061	0,5274	18,9870
3	207,3	2,51	0,5872	21,1386
3,5	214,3	2,974	0,6070	21,8524
4	210	3,453	0,5948	21,4139
4,5	201,9	3,958	0,5719	20,5880
5	191,6	4,464	0,5427	19,5377

#### Datos iniciales muestra 2

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	268,88
Profundidad		Peso del molde (g)	148,31
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,93
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	1

#### Contenido de humedad muestra 2

Capsula No.	7
Peso capsula (g)	27,07
Peso suelo húmedo + Capsula (g)	150,86
Peso suelo seco + Capsula (g)	134,02
Peso agua (g)	16,84
Peso suelo seco (g)	106,95
Humedad (%)	15,75



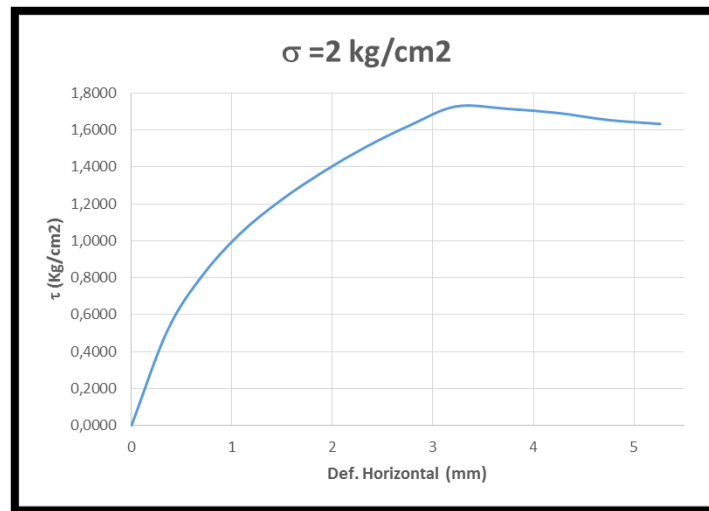
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	100,8	0,332	0,2855	10,2787
1	160,1	0,696	0,4535	16,3256
1,5	219,7	1,085	0,6223	22,4031
2	278,3	1,501	0,7883	28,3786
2,5	330,5	1,935	0,9362	33,7014
3	378,1	2,367	1,0710	38,5553
3,5	411,9	2,832	1,1667	42,0019
4	406,2	3,34	1,1506	41,4207
4,5	394,8	3,846	1,1183	40,2582
5	361,7	4,366	1,0245	36,8829
5,5	334,9	4,884	0,9486	34,1501

### Datos iniciales muestra 3

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	266,79
Profundidad		Peso del molde (g)	140,62
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,92
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	2

### Contenido de humedad muestra 3

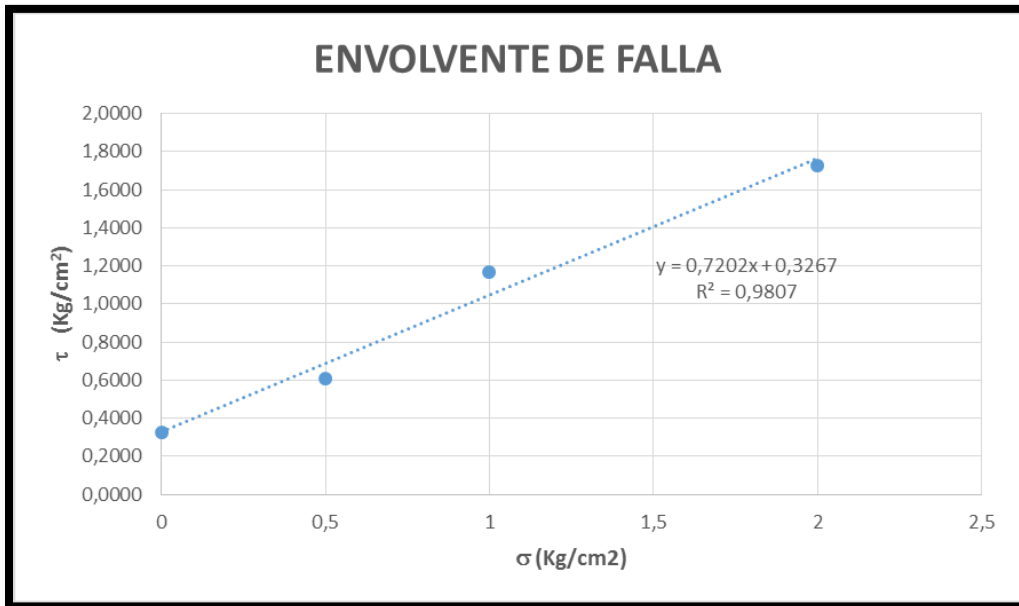
<b>Capsula No.</b>	<b>301</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	26,82
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	149,02
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	134,97
<b>Peso agua (g)</b>	14,05
<b>Peso suelo seco (g)</b>	108,15
<b>Humedad (%)</b>	12,99



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	τ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	181,2	0,357	0,5133	18,4772
1	285	0,699	0,8073	29,0618
1,5	366	1,077	1,0367	37,3214
2	430	1,483	1,2180	43,8476
2,5	484,9	1,907	1,3735	49,4458
3	532,5	2,333	1,5083	54,2996
3,5	575	2,785	1,6287	58,6334
4	609,8	3,232	1,7273	62,1820
4,5	605,2	3,743	1,7142	61,7129
5	597,1	4,252	1,6913	60,8869
5,5	584,1	4,739	1,6545	59,5613
6	576,4	5,262	1,6327	58,7761



## Envolvente de falla corte 1



<b>Pendiente</b>	<b>0,7202</b>
<b><math>\Theta</math> Angulo de fricción interna</b>	<b>35,76</b>
<b>C (Cohesión)</b>	<b>0,3267</b>

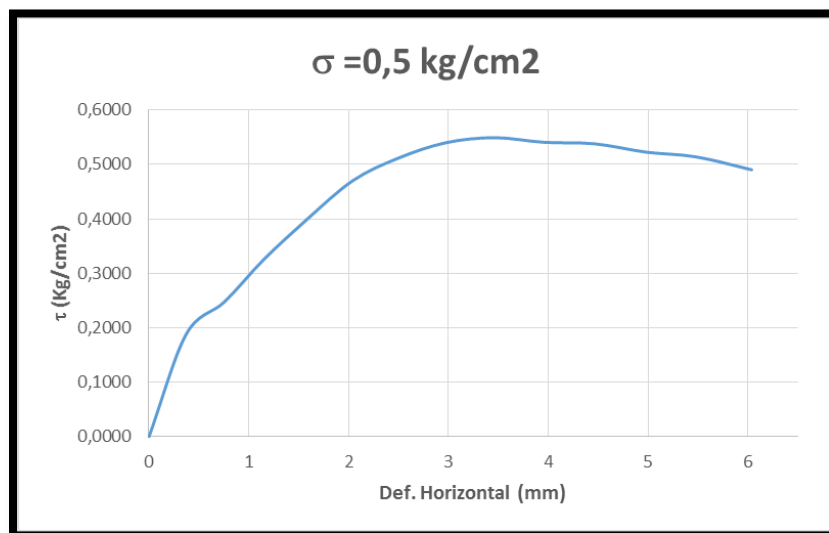
## Corte 2

### Datos iniciales muestra 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>257,62</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	135,03
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,92
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5

### Contenido de humedad muestra 1

<b>Capsula No.</b>	<b>141</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	21,02
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	135,75
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	122,75
<b>Peso agua (g)</b>	13
<b>Peso suelo seco (g)</b>	101,73
<b>Humedad (%)</b>	12,78



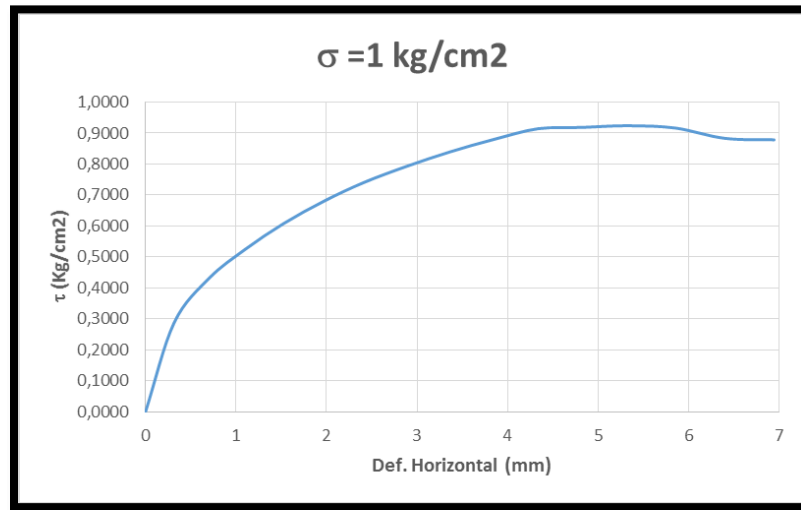
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	66,6	0,374	0,1886	6,7913
1	87,4	0,755	0,2476	8,9123
1,5	115,2	1,154	0,3263	11,7471
2	141,7	1,596	0,4014	14,4493
2,5	166,1	2,043	0,4705	16,9374
3	180,5	2,492	0,5113	18,4058
3,5	190,6	2,973	0,5399	19,4357
4	193,9	3,46	0,5492	19,7722
4,5	190,9	3,955	0,5407	19,4663
5	189,9	4,467	0,5379	19,3643
5,5	184,5	4,979	0,5226	18,8137
6	181,5	5,476	0,5141	18,5078
6,5	173,1	6,036	0,4903	17,6512

#### Datos iniciales muestra 2

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	262,19
Profundidad		Peso del molde (g)	139,82
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,95
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	1

#### Contenido de humedad muestra 2

Capsula No.	53
Peso capsula (g)	27,08
Peso suelo húmedo + Capsula (g)	147,94
Peso suelo seco + Capsula (g)	134,15
Peso agua (g)	13,79
Peso suelo seco (g)	107,07
Humedad (%)	12,88



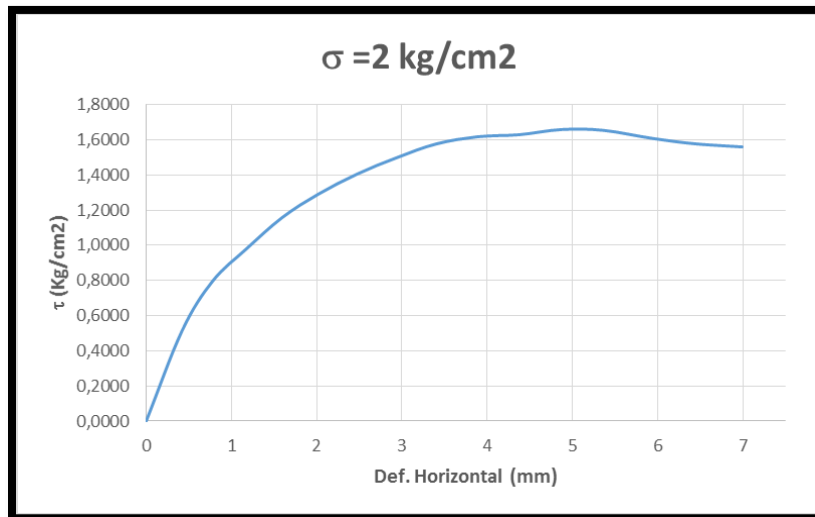
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	101,5	0,316	0,2875	10,3501
1	152,4	0,704	0,4317	15,5404
1,5	185,2	1,1	0,5246	18,8850
2	214,7	1,526	0,6081	21,8932
2,5	240,5	1,977	0,6812	24,5240
3	261,6	2,415	0,7410	26,6756
3,5	280,3	2,896	0,7940	28,5825
4	296,4	3,365	0,8396	30,2242
4,5	310,4	3,843	0,8792	31,6518
5	322,8	4,338	0,9143	32,9163
5,5	324,2	4,826	0,9183	33,0590
6	326,2	5,336	0,9240	33,2630
6,5	323,5	5,857	0,9163	32,9877
7	311,8	6,4	0,8832	31,7946
7,5	310,1	6,944	0,8784	31,6212

### Datos iniciales muestra 3

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>261,61</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	140,32
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,93
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	2

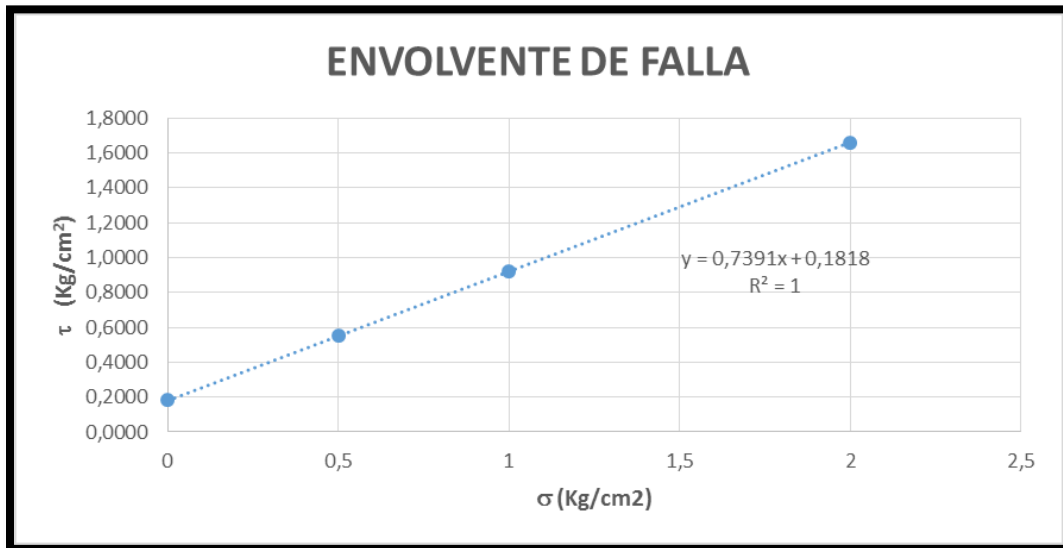
### Contenido de humedad muestra 3

<b>Capsula No.</b>	<b>15</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	26,97
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	142,89
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	129,8
<b>Peso agua (g)</b>	13,09
<b>Peso suelo seco (g)</b>	102,83
<b>Humedad (%)</b>	12,73



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	181,5	0,421	0,5141	18,5078
1	281	0,778	0,7959	28,6539
1,5	345,9	1,174	0,9798	35,2718
2	408,9	1,595	1,1582	41,6960
2,5	456,1	2,02	1,2919	46,5090
3	496,3	2,474	1,4058	50,6083
3,5	529,1	2,937	1,4987	53,9529
4	556,9	3,403	1,5774	56,7877
4,5	571,3	3,889	1,6182	58,2561
5	575,4	4,375	1,6298	58,6742
5,5	585,7	4,872	1,6590	59,7245
6	584,1	5,364	1,6545	59,5613
6,5	567,6	5,95	1,6077	57,8788
7	556,9	6,456	1,5774	56,7877
7,5	550,9	6,99	1,5604	56,1759

### Envolvente de falla corte 2



<b>Pendiente</b>	<b>0,7391</b>
<b>Θ Angulo de fricción interna</b>	<b>36,47</b>
<b>C (Cohesión)</b>	<b>0,1818</b>

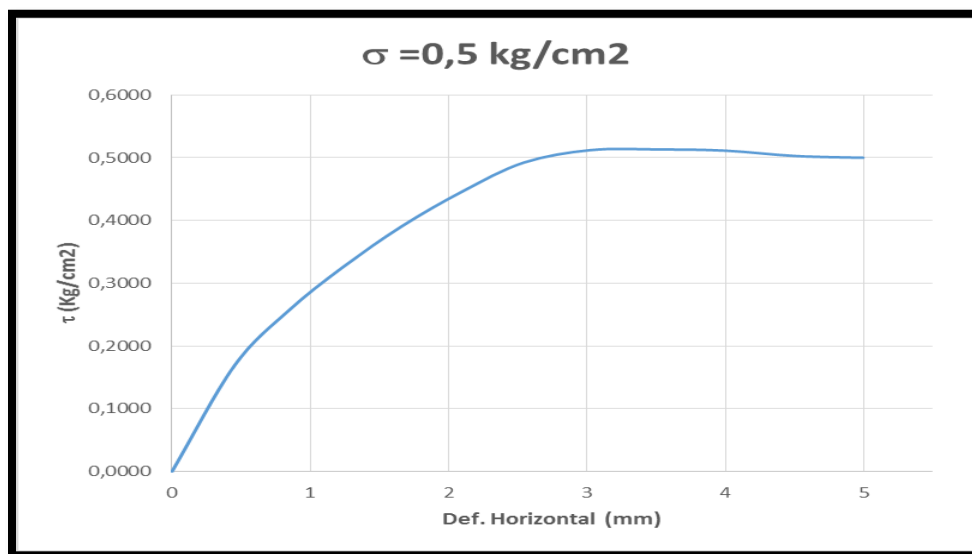
### Corte 3

#### Datos iniciales muestra 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>273,77</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	141,36
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,94
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5

#### Contenido de humedad muestra 3

<b>Capsula No.</b>	<b>5</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	27,16
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	156,76
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	141,19
<b>Peso agua (g)</b>	15,57
<b>Peso suelo seco (g)</b>	114,03
<b>Humedad (%)</b>	13,65



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	59,3	0,449	0,1680	6,0469
1	90,1	0,837	0,2552	9,1876
1,5	114,9	1,234	0,3255	11,7165
2	138	1,662	0,3909	14,0720
2,5	157,7	2,103	0,4467	16,0808
3	173,8	2,544	0,4923	17,7226
3,5	180,8	3,023	0,5121	18,4364
4	181,2	3,506	0,5133	18,4772
4,5	180,5	4,003	0,5113	18,4058
5	177,5	4,507	0,5028	18,0999
5,5	176,5	4,995	0,4999	17,9979

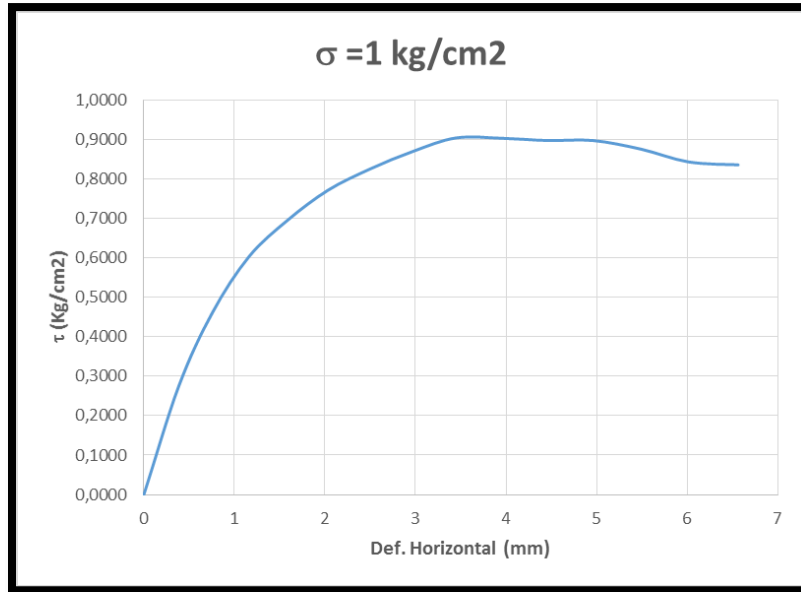
#### Datos iniciales muestra 2

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	257,38
Profundidad		Peso del molde (g)	135,74
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,9
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	1

#### Contenido de humedad muestra 2

Capsula No.	732
Peso capsula (g)	21,03
Peso suelo húmedo + Capsula (g)	139,49
Peso suelo seco + Capsula (g)	125,67
Peso agua (g)	13,82
Peso suelo seco (g)	104,64
Humedad (%)	13,21





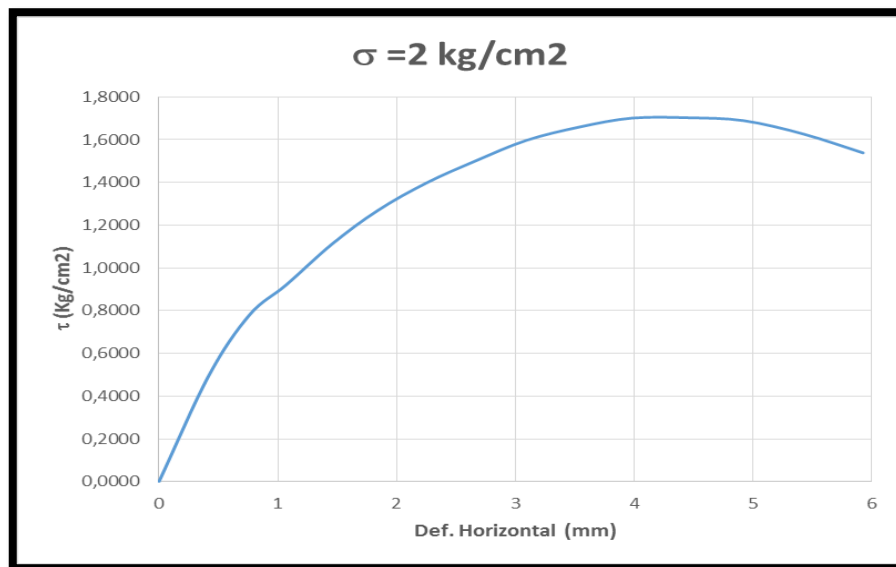
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	97,1	0,386	0,2750	9,9014
1	162,8	0,757	0,4611	16,6009
1,5	213	1,162	0,6033	21,7198
2	245,8	1,592	0,6962	25,0645
2,5	272,3	2,033	0,7713	27,7667
3	291,4	2,499	0,8254	29,7144
3,5	307,1	2,973	0,8699	31,3153
4	319,2	3,45	0,9041	32,5492
4,5	318,8	3,963	0,9030	32,5084
5	316,8	4,463	0,8973	32,3044
5,5	316,8	4,959	0,8973	32,3044
6	309,1	5,491	0,8755	31,5193
6,5	297,7	6,013	0,8432	30,3568
7	295	6,563	0,8356	30,0815

### Datos iniciales muestra 3

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>270,16</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	144,77
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,96
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	2

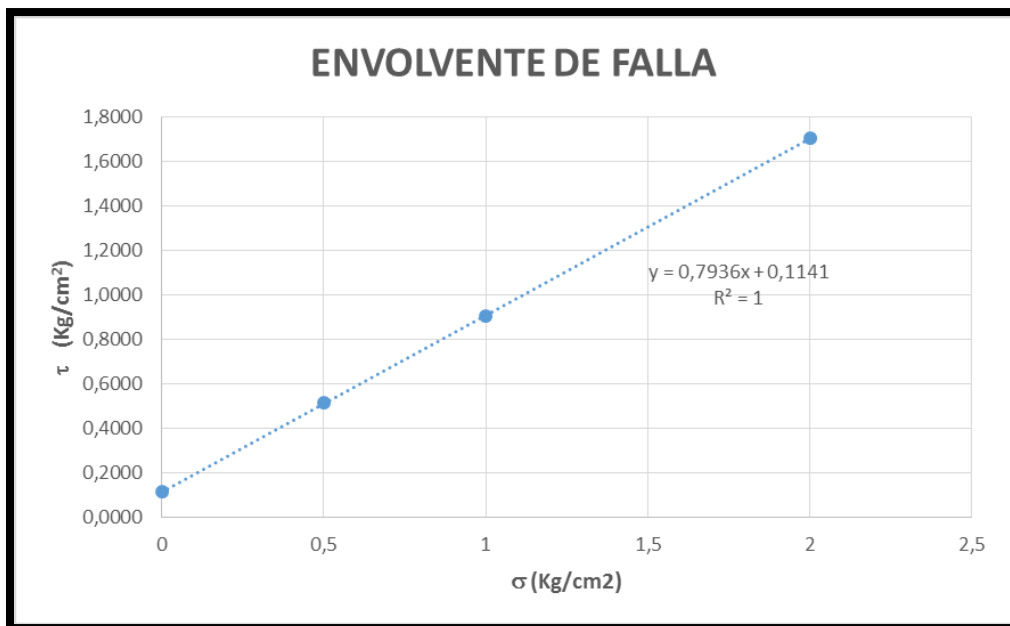
### Contenido de humedad muestra 3

<b>Capsula No.</b>	<b>17</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	27,17
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	150,12
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	136,32
<b>Peso agua (g)</b>	13,8
<b>Peso suelo seco (g)</b>	109,15
<b>Humedad (%)</b>	12,64



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	174,4	0,417	0,4940	17,7838
1	275,2	0,761	0,7795	28,0624
1,5	325,2093023	1,072093023	0,9212	33,1620
2	392,372093	1,45627907	1,1114	40,0106
2,5	447,6744186	1,84	1,2681	45,6499
3	493,3023256	2,250232558	1,3973	50,3026
3,5	530,372093	2,671627907	1,5023	54,0826
4	563,8604651	3,095813953	1,5972	57,4975
4,5	585,8139535	3,540930233	1,6593	59,7361
5	600,5116279	3,982790698	1,7010	61,2348
5,5	601,0697674	4,454418605	1,7025	61,2917
6	596,2790698	4,922325581	1,6890	60,8032
6,5	573,8139535	5,43255814	1,6253	58,5124
7	542,9767442	5,927906977	1,5380	55,3679

### Envolvente de falla corte 3



<b>Pendiente</b>	<b>0,7936</b>
<b><math>\Theta</math> Angulo de fricción interna</b>	<b>38,44</b>
<b>C (Cohesión)</b>	<b>0,1141</b>

## Ensayos de corte directo de muestras tomadas del suelo de fundación

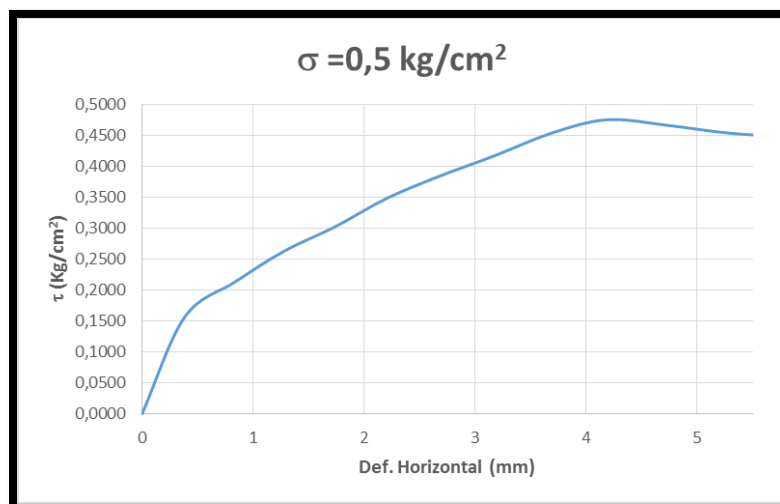
### Corte 1

#### Datos iniciales muestra 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>269,38</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	140,56
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,92
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5

#### Contenido de humedad muestra 1

<b>Capsula No.</b>	<b>0</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	21,3
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	87,77
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	80,08
<b>Peso agua (g)</b>	7,69
<b>Peso suelo seco (g)</b>	58,78
<b>Humedad (%)</b>	13,08



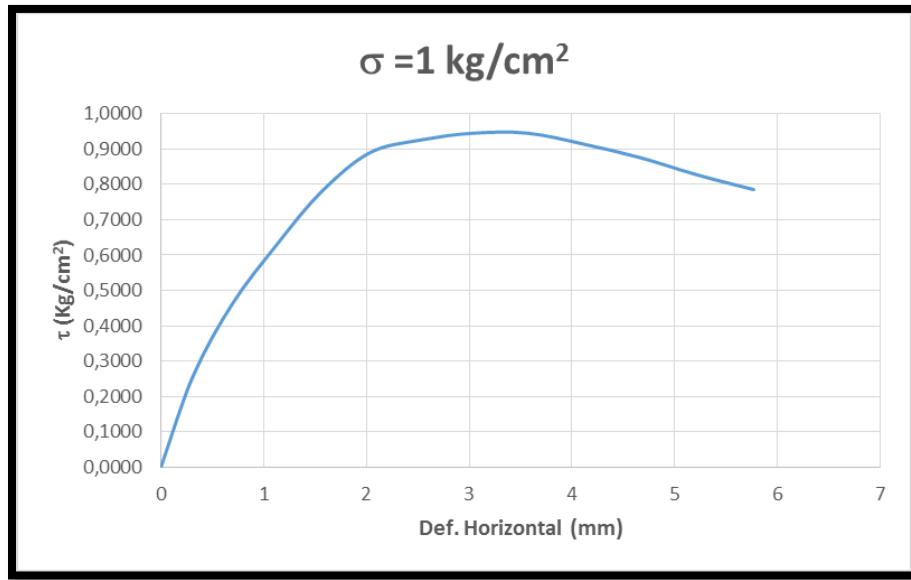
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	55,3	0,384	0,1566	5,6390
1	75,4	0,837	0,2136	7,6886
1,5	93,1	1,282	0,2637	9,4935
2	106,8	1,734	0,3025	10,8905
2,5	123,2	2,206	0,3490	12,5628
3	135,6	2,67	0,3841	13,8273
3,5	147,7	3,184	0,4184	15,0611
4	160,4	3,687	0,4543	16,3562
4,5	168,1	4,191	0,4761	17,1413
5	164,8	4,747	0,4668	16,8048
5,5	160,4	5,293	0,4543	16,3562
6	158,4	5,842	0,4487	16,1522
6,5	157,1	6,4	0,4450	16,0197

#### Datos iniciales muestra 2

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	272,43
Profundidad		Peso del molde (g)	148,18
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	2
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	1

#### Contenido de humedad muestra 2

Capsula No.	17
Peso capsula (g)	21,24
Peso suelo húmedo + Capsula (g)	126,18
Peso suelo seco + Capsula (g)	114,93
Peso agua (g)	11,25
Peso suelo seco (g)	93,69
Humedad (%)	12,01



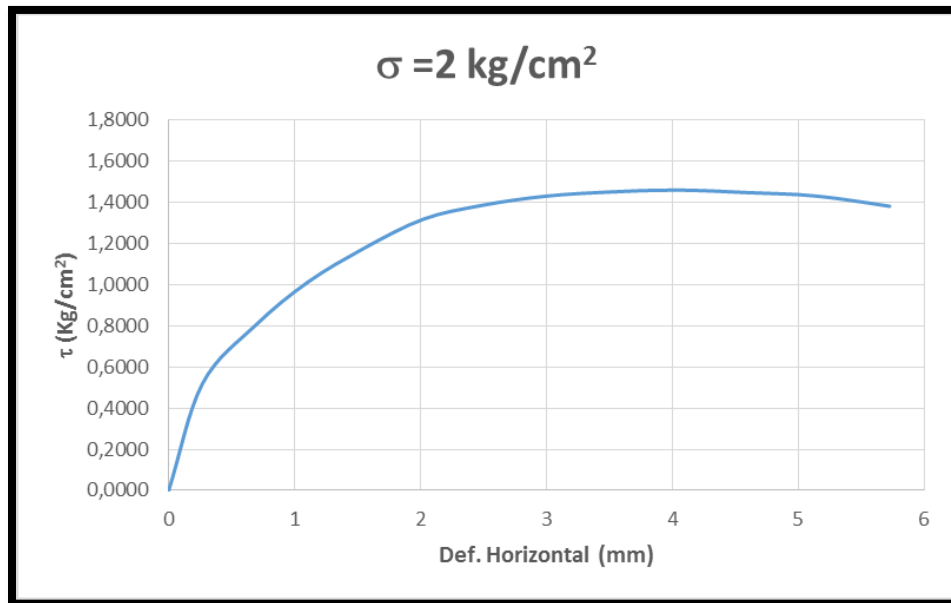
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	91,1	0,313	0,2580	9,2896
1	163,4	0,697	0,4628	16,6621
1,5	223	1,133	0,6317	22,7396
2	275,3	1,563	0,7798	28,0726
2,5	314,1	2,033	0,8897	32,0291
3	326,8	2,526	0,9257	33,3242
3,5	333,6	3,037	0,9449	34,0176
4	333,6	3,573	0,9449	34,0176
4,5	322,5	4,124	0,9135	32,8857
5	309,1	4,667	0,8755	31,5193
5,5	292	5,219	0,8271	29,7756
6	277,3	5,769	0,7855	28,2766

### Datos iniciales muestra 3

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	258,19
Profundidad		Peso del molde (g)	133,78
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,98
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	2

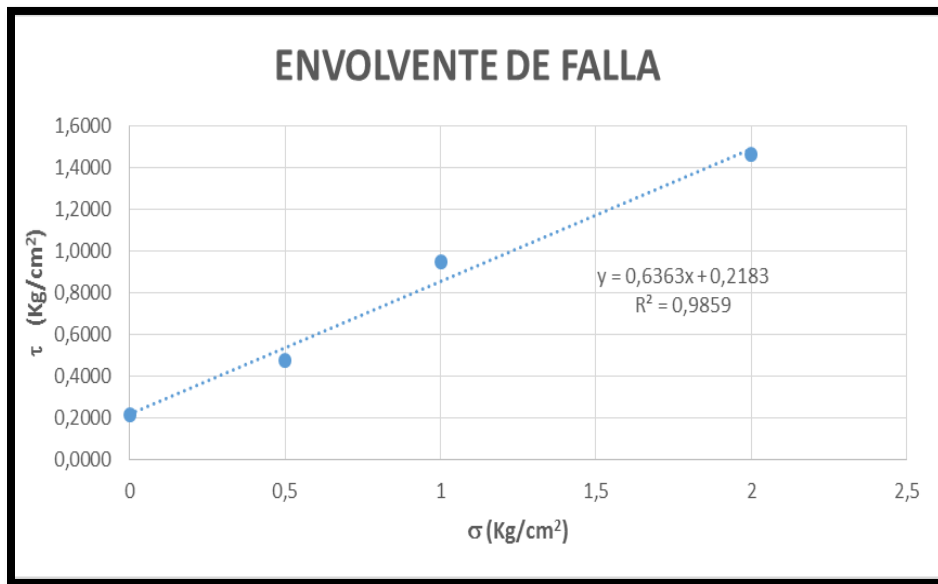
### Contenido de humedad muestra 3

Capsula No.	726
Peso capsula (g)	21,05
Peso suelo húmedo + Capsula (g)	113,3
Peso suelo seco + Capsula (g)	103,25
Peso agua (g)	10,05
Peso suelo seco (g)	82,2
Humedad (%)	12,23



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	183,2	0,267	0,5189	18,6811
1	283,3	0,688	0,8025	28,8884
1,5	357	1,101	1,0112	36,4037
2	415,9	1,552	1,1780	42,4098
2,5	465,8	2,024	1,3194	47,4981
3	489,3	2,486	1,3860	49,8945
3,5	505,4	3,004	1,4316	51,5362
4	512,4	3,506	1,4514	52,2500
4,5	515,7	4,035	1,4607	52,5865
5	511,4	4,589	1,4486	52,1480
5,5	505,4	5,143	1,4316	51,5362
6	487,9	5,727	1,3820	49,7517

### Envolvente de falla corte 1



<b>Pendiente</b>	<b>0,6363</b>
<b><math>\Theta</math> Angulo de fricción interna</b>	<b>32,47</b>
<b>C (Cohesión)</b>	<b>0,2183</b>



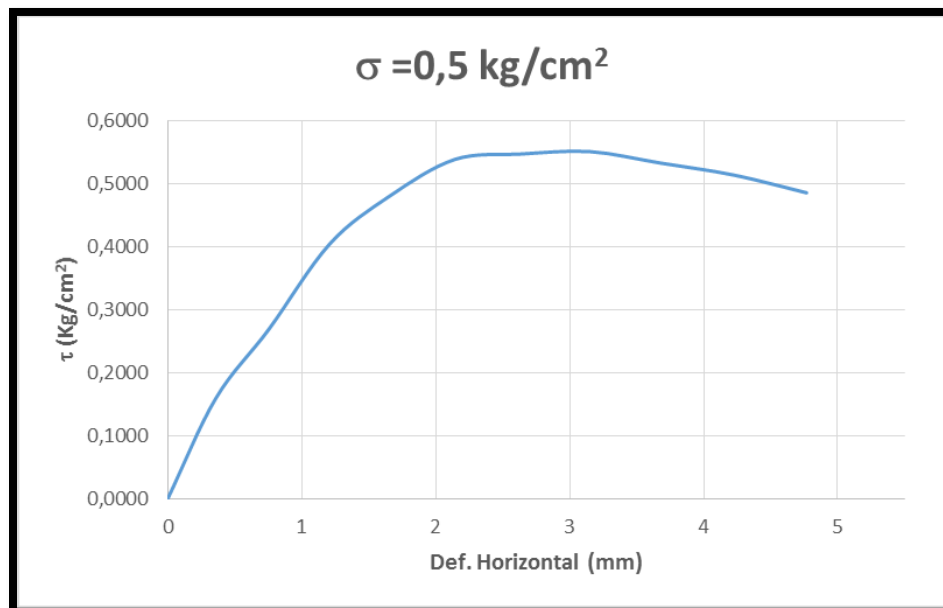
## Corte 2

### Datos iniciales muestra 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>273,1</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	141,01
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,97
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5

### Contenido de humedad muestra 1

<b>Capsula No.</b>	<b>15</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	40,79
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	138,76
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	127,52
<b>Peso agua (g)</b>	11,24
<b>Peso suelo seco (g)</b>	86,73
<b>Humedad (%)</b>	12,96



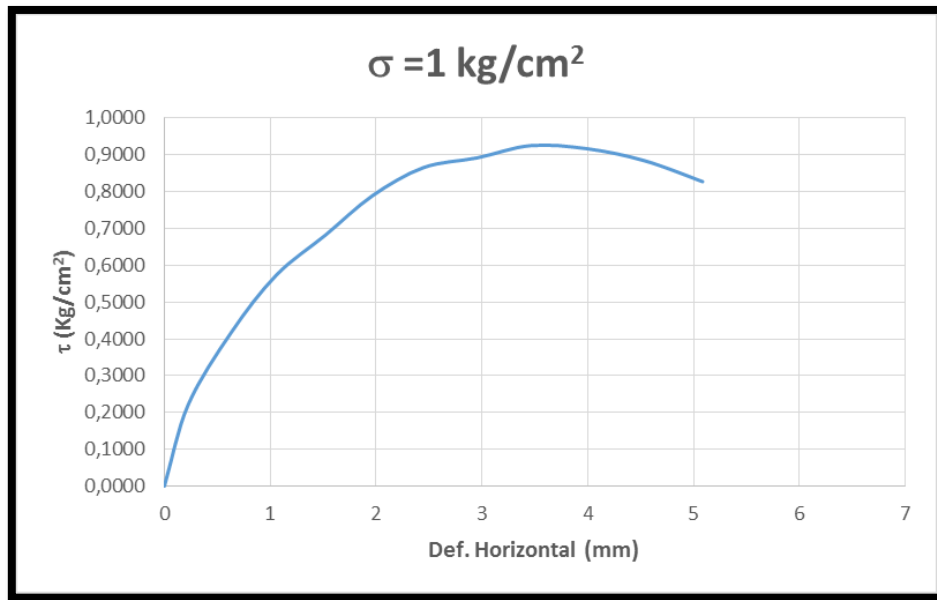
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	56,3	0,359	0,1595	5,7410
1	95,1	0,756	0,2694	9,6975
1,5	142,7	1,207	0,4042	14,5513
2	169,5	1,653	0,4801	17,2841
2,5	190,2	2,142	0,5387	19,3949
3	193,2	2,626	0,5472	19,7008
3,5	194,6	3,15	0,5512	19,8436
4	188,2	3,676	0,5331	19,1910
4,5	181,5	4,222	0,5141	18,5078
5	171,5	4,768	0,4858	17,4880

#### Datos iniciales muestra 2

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>270,64</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	145,32
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,94
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	1

#### Contenido de humedad muestra 2

<b>Capsula No.</b>	<b>23</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	21,1
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	114,25
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	103,15
<b>Peso agua (g)</b>	11,1
<b>Peso suelo seco (g)</b>	82,05
<b>Humedad (%)</b>	13,53



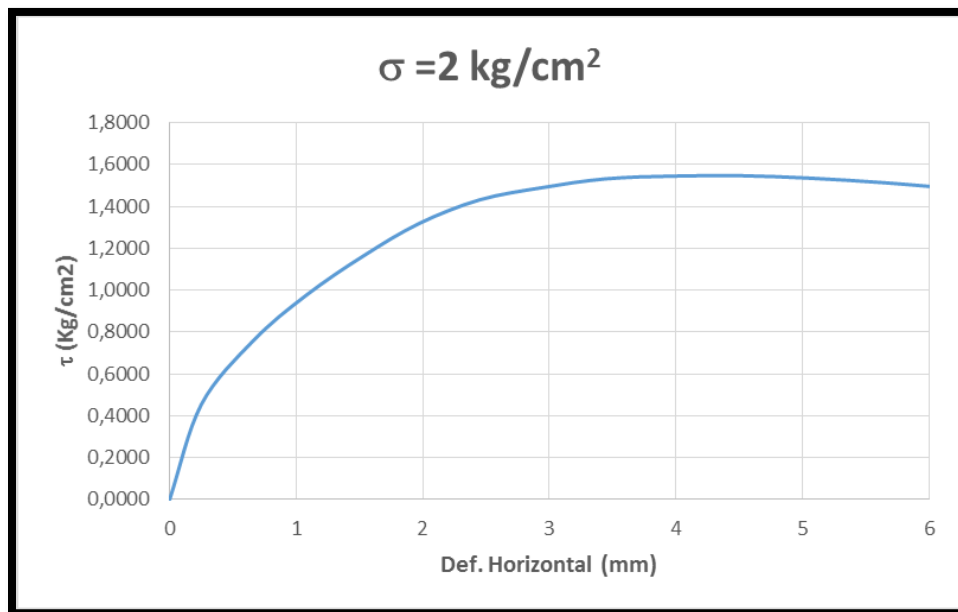
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	78	0,225	0,2209	7,9537
1	147,4	0,632	0,4175	15,0305
1,5	202,3	1,057	0,5730	20,6288
2	240,8	1,522	0,6821	24,5546
2,5	278,3	1,963	0,7883	28,3786
3	305,4	2,447	0,8651	31,1420
3,5	314,8	2,954	0,8917	32,1005
4	326,5	3,462	0,9248	33,2936
4,5	323,5	3,997	0,9163	32,9877
5	312,1	4,534	0,8840	31,8252
5,5	292	5,084	0,8271	29,7756

### Datos iniciales muestra 3

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>263,22</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	141,34
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,97
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	2

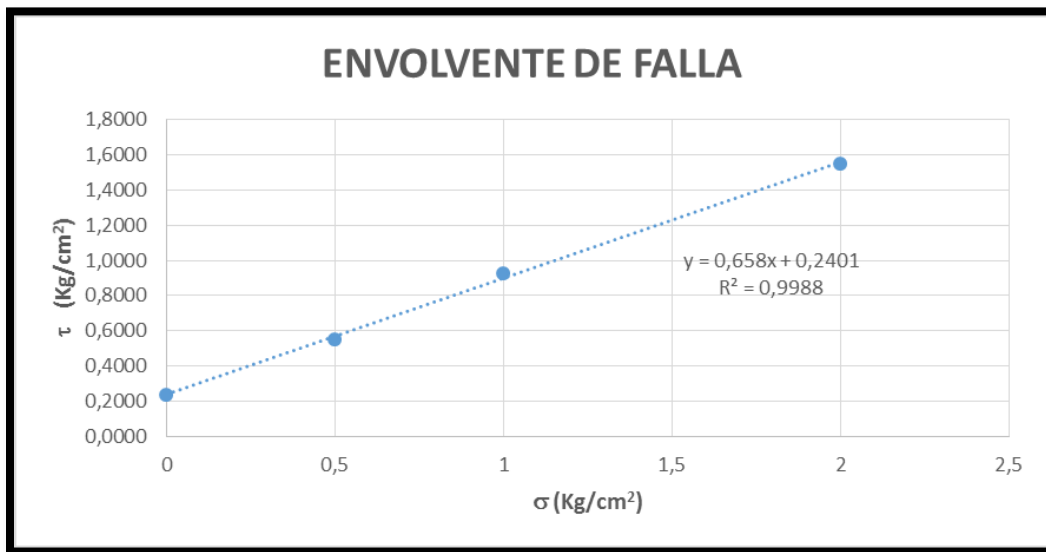
### Contenido de humedad muestra 3

<b>Capsula No.</b>	<b>1</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	21,36
<b>Peso suelo húmedo + Capsula (g)</b>	119,47
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	109,65
<b>Peso agua (g)</b>	9,82
<b>Peso suelo seco (g)</b>	88,29
<b>Humedad (%)</b>	11,12



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	160,1	0,25	0,4535	16,3256
1	267,9	0,661	0,7588	27,3181
1,5	344,6	1,079	0,9761	35,1392
2	411,3	1,534	1,1650	41,9407
2,5	465,5	1,97	1,3185	47,4675
3	505,4	2,448	1,4316	51,5362
3,5	526,1	2,943	1,4902	53,6470
4	540,9	3,446	1,5321	55,1562
4,5	545,5	3,973	1,5451	55,6252
5	546,2	4,509	1,5471	55,6966
5,5	541,9	5,063	1,5349	55,2581
6	534,5	5,64	1,5140	54,5036
6,5	524,1	6,222	1,4845	53,4431

### Envolvente de falla corte 2



<b>Pendiente</b>	0,658
<b>Θ Angulo de fricción interna</b>	33,34
<b>C (Cohesión)</b>	0,2401

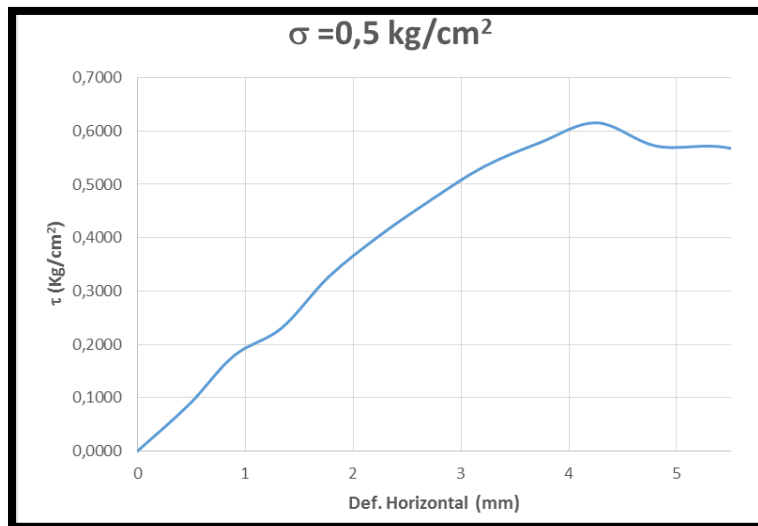
### Corte 3

#### Datos iniciales muestra 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>273,58</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	144,47
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,95
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5

#### Contenido de humedad muestra 1

<b>Capsula No.</b>	<b>30</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	20,83
<b>Peso suelo húmeda + Capsula (g)</b>	106,1
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	96,16
<b>Peso agua (g)</b>	9,94
<b>Peso suelo seco (g)</b>	75,33
<b>Humedad (%)</b>	13,20



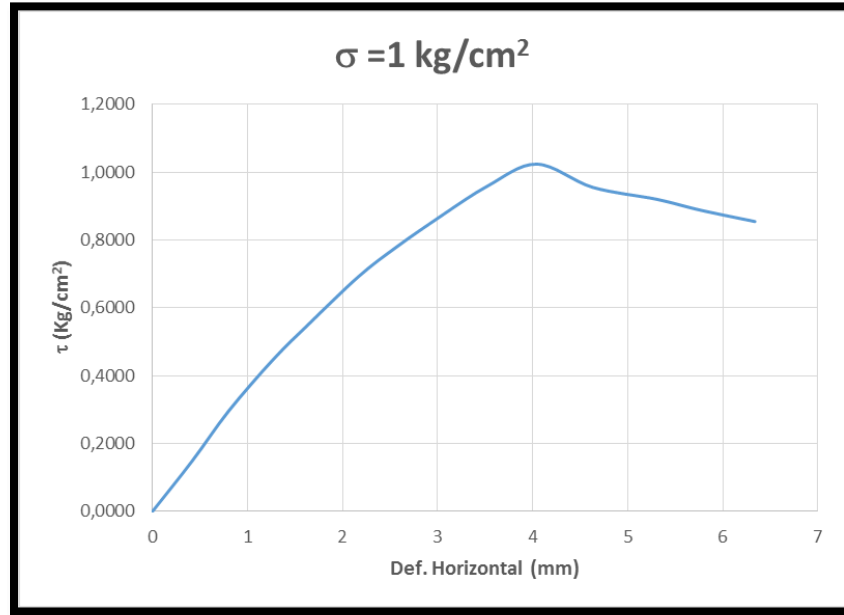
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	30,8	0,478	0,0872	3,1407
1	63	0,893	0,1784	6,4242
1,5	81,4	1,336	0,2306	8,3004
2	115,2	1,771	0,3263	11,7471
2,5	142,7	2,247	0,4042	14,5513
3	166,1	2,719	0,4705	16,9374
3,5	188,2	3,211	0,5331	19,1910
4	204	3,728	0,5778	20,8021
4,5	217,3	4,257	0,6155	22,1583
5	201,9	4,806	0,5719	20,5880
5,5	201,6	5,376	0,5710	20,5574
6	194,6	5,934	0,5512	19,8436
6,5	194,2	6,462	0,5501	19,8028

#### Datos iniciales muestra 2

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	265,73
Profundidad		Peso del molde (g)	138,06
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,98
Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	1

#### Contenido de humedad muestra 2

Capsula No.	19
Peso capsula (g)	21,12
Peso suelo húmeda + Capsula (g)	116,94
Peso suelo seco + Capsula (g)	106,47
Peso agua (g)	10,47
Peso suelo seco (g)	85,35
Humedad (%)	12,27



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	52,6	0,419	0,1490	5,3637
1	104,5	0,802	0,2960	10,6560
1,5	157,4	1,264	0,4458	16,0503
2	195,9	1,654	0,5549	19,9761
2,5	244,5	2,169	0,6926	24,9319
3	275,3	2,569	0,7798	28,0726
3,5	308,8	3,057	0,8747	31,4887
4	338,9	3,53	0,9599	34,5580
4,5	361,4	4,041	1,0237	36,8524
5	337,2	4,632	0,9551	34,3847
5,5	324,8	5,303	0,9200	33,1202
6	313,5	5,765	0,8880	31,9679
6,5	301,7	6,336	0,8546	30,7647

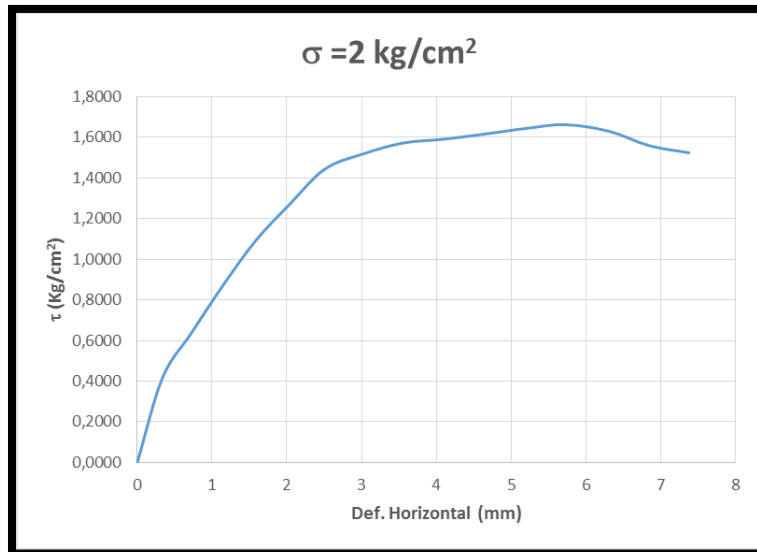


### Datos iniciales muestra 3

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	<b>263,47</b>
<b>Profundidad</b>		Peso del molde (g)	139,93
<b># Muestra</b>		Altura de la muestra (cm)	1,97
<b>Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	Vel. Ensayo (mm/min)	1
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	2

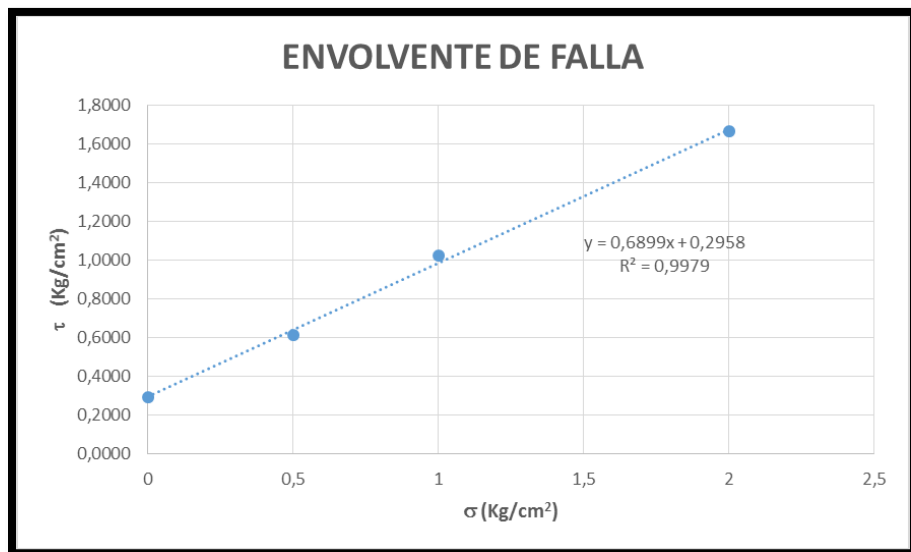
### Contenido de humedad muestra 3

<b>Capsula No.</b>	<b>6</b>
<b>Peso capsula (g)</b>	21,01
<b>Peso suelo húmeda + Capsula (g)</b>	121,71
<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	110,65
<b>Peso agua (g)</b>	11,06
<b>Peso suelo seco (g)</b>	89,64
<b>Humedad (%)</b>	12,34



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	147,4	0,339	0,4175	15,0305
1	225,7	0,728	0,6393	23,0149
1,5	309,4	1,155	0,8764	31,5499
2	386,1	1,587	1,0936	39,3710
2,5	448,4	2,036	1,2701	45,7238
3	510	2,51	1,4446	52,0053
3,5	536,5	3,027	1,5197	54,7075
4	555,3	3,557	1,5729	56,6246
4,5	562	4,108	1,5919	57,3078
5	570,7	4,642	1,6165	58,1949
5,5	580,7	5,202	1,6449	59,2146
6	587,1	5,73	1,6630	59,8672
6,5	575,4	6,314	1,6298	58,6742
7	550,6	6,846	1,5596	56,1453
7,5	538,2	7,377	1,5245	54,8808

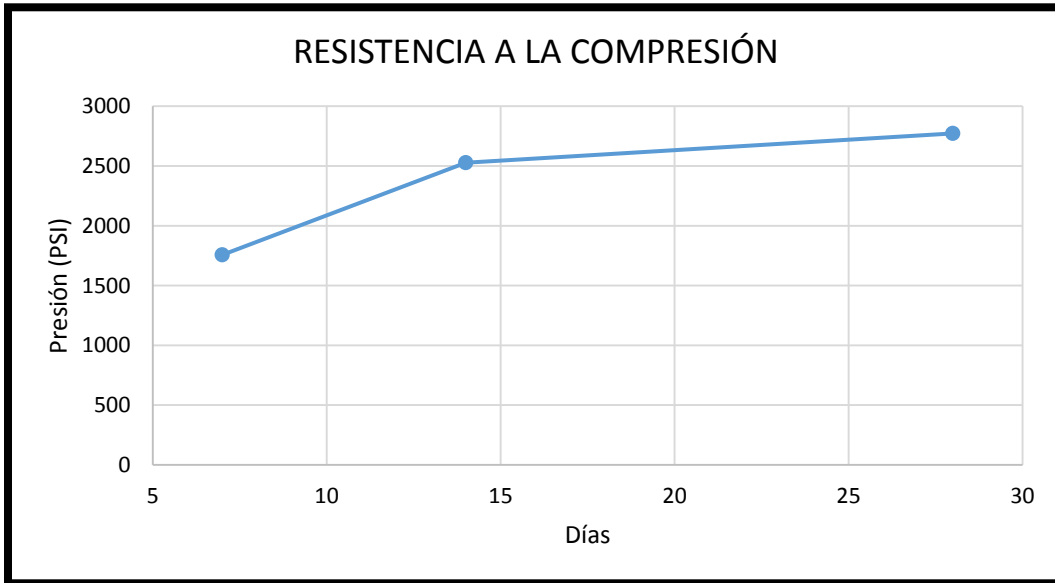
### Envolvente de falla corte 3



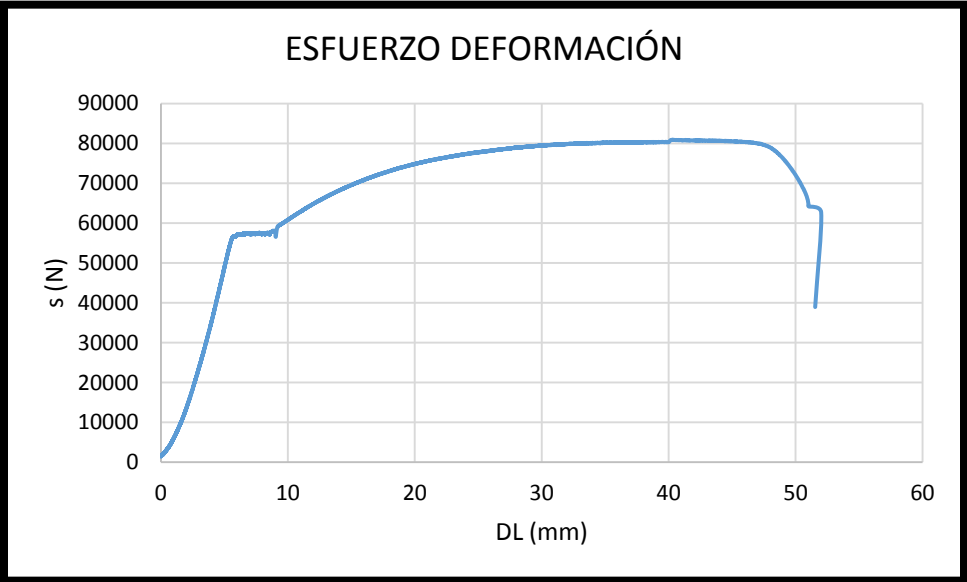
<b>Pendiente</b>	<b>0,6899</b>
<b><math>\Theta</math> Angulo de fricción interna</b>	<b>34,60</b>
<b>C (Cohesión)</b>	<b>0,2958</b>

**ANEXO E**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.**

<b>DÍAS</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
Muestra 1 (PSI)	1766,56	2588,93	2771,68
Muestra 2 (PSI)	1857,94	2619,39	2803,58
Muestra 3 (PSI)	1644,73	2375,72	2741,22
Promedio	1756,41	2528,01	2772,16
%	59%	84%	92%

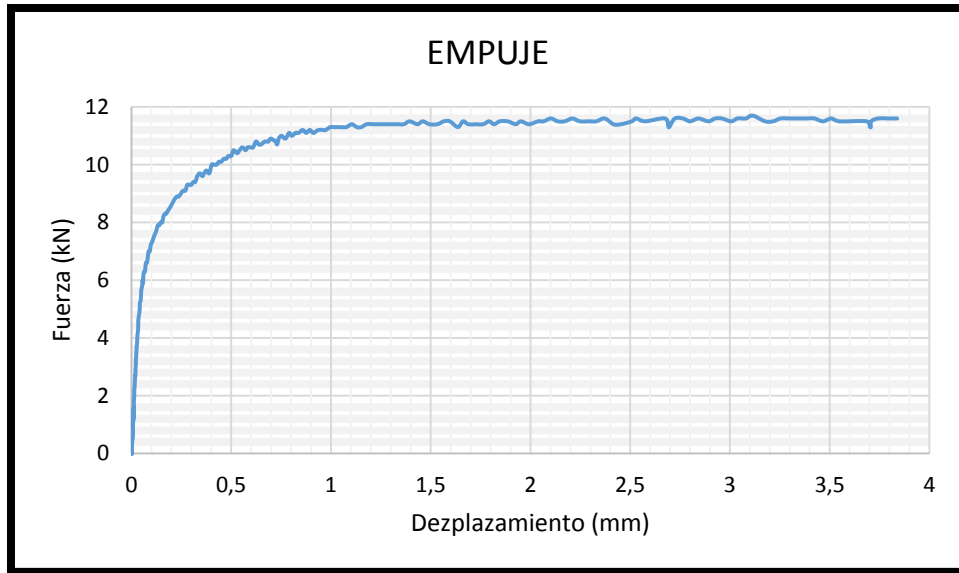


**ANEXO F**  
**RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL ACERO.**

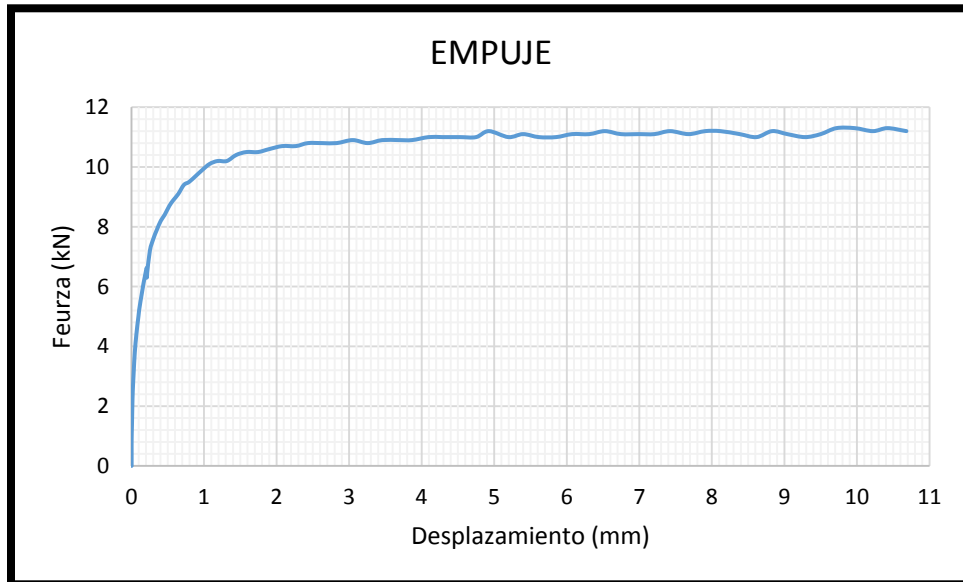


**Anexo G**  
**Ensayos de muro de reacción.**

### Ensayo 1

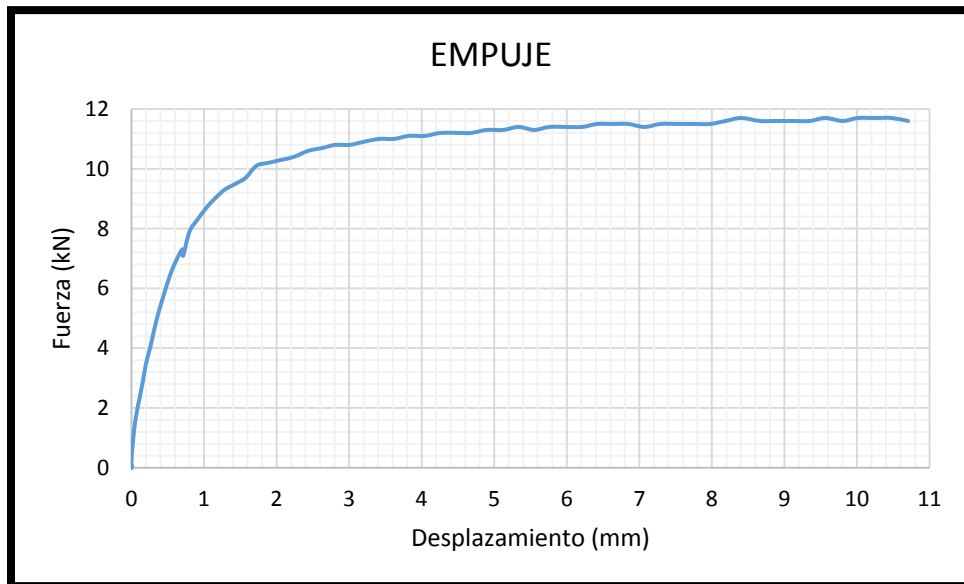


### Ensayo 2

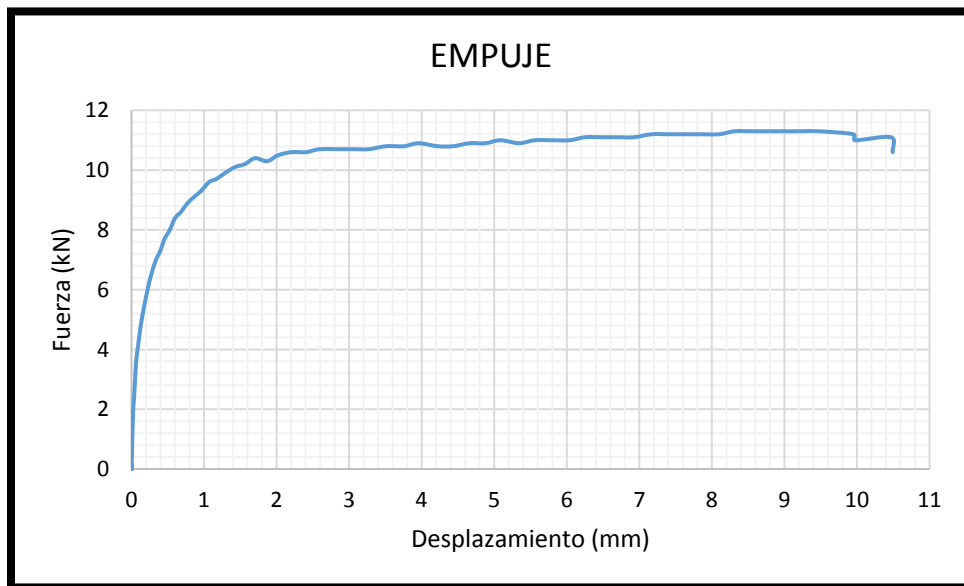




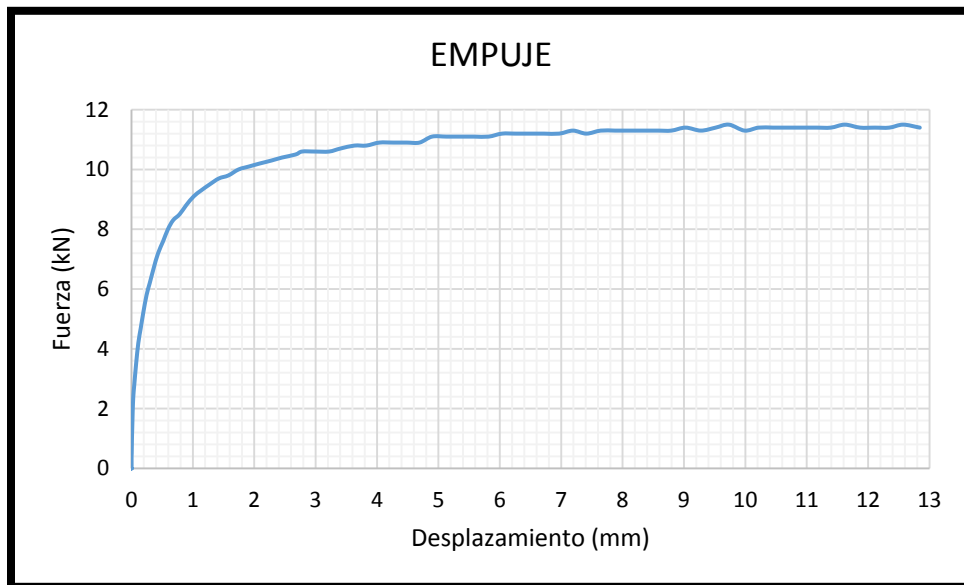
### Ensayo 3



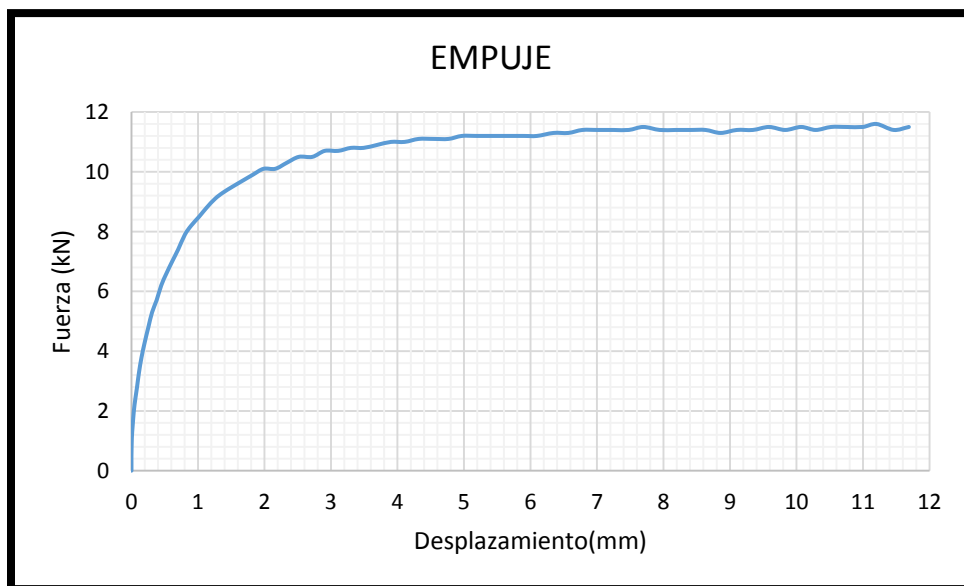
### Ensayo 4



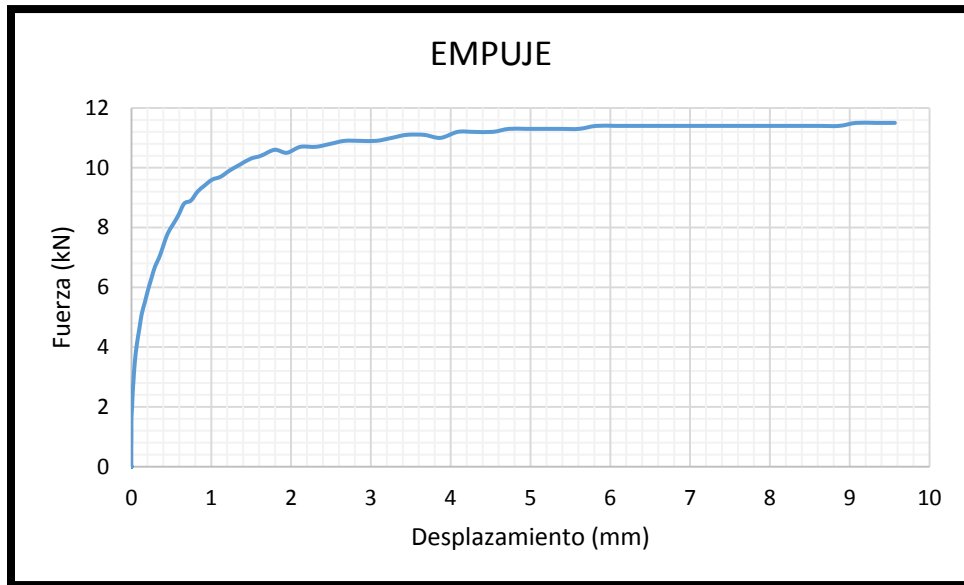
### Ensayo 5



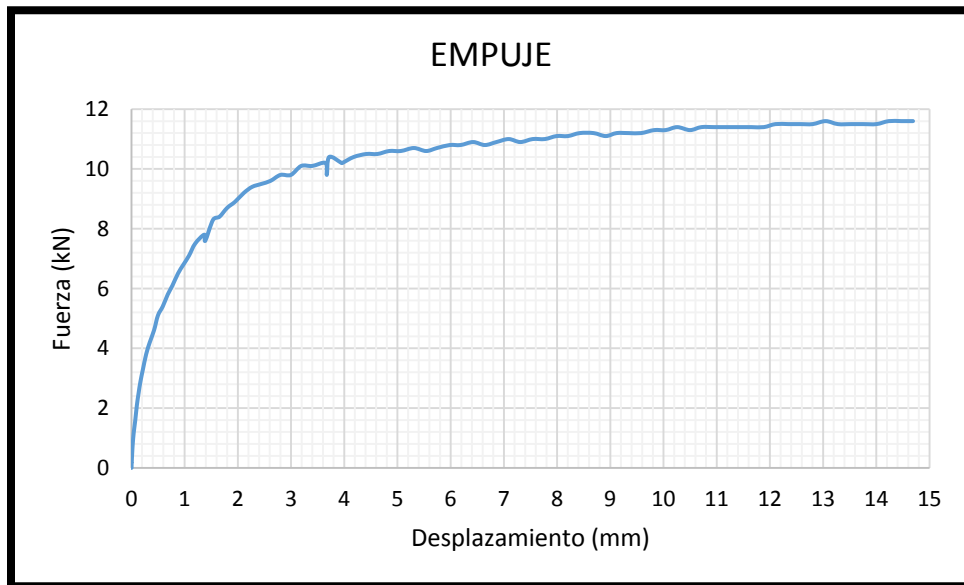
### Ensayo 6



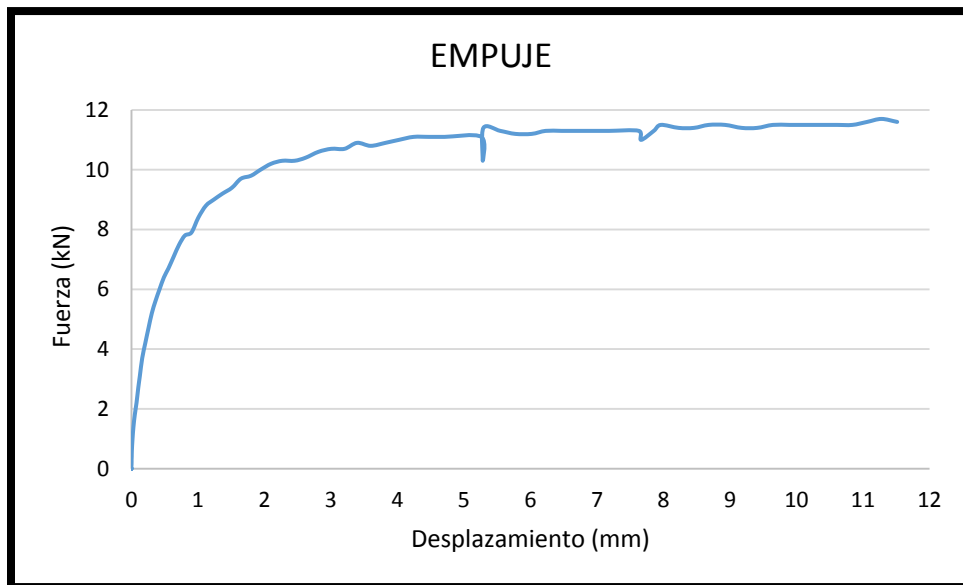
### Ensayo 7



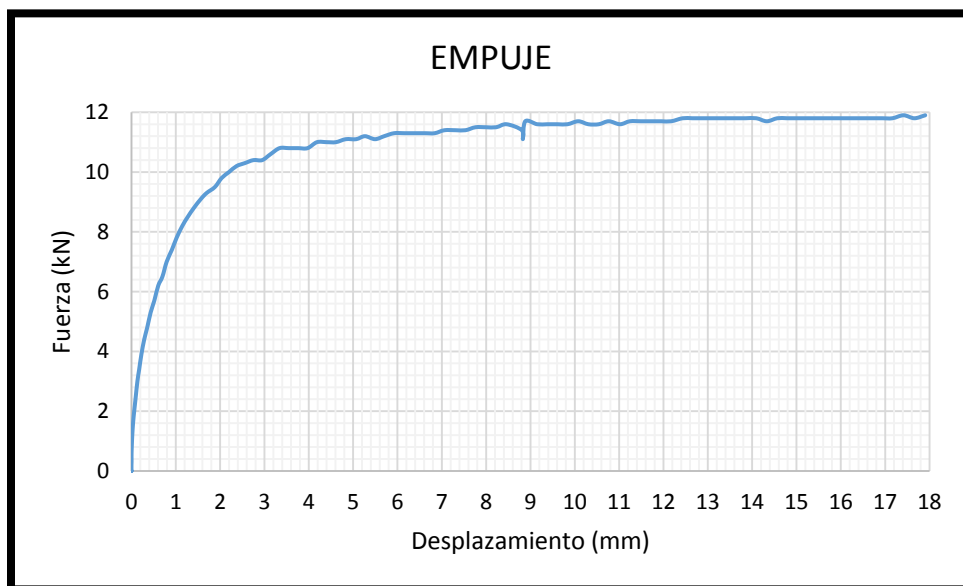
### Ensayo 8



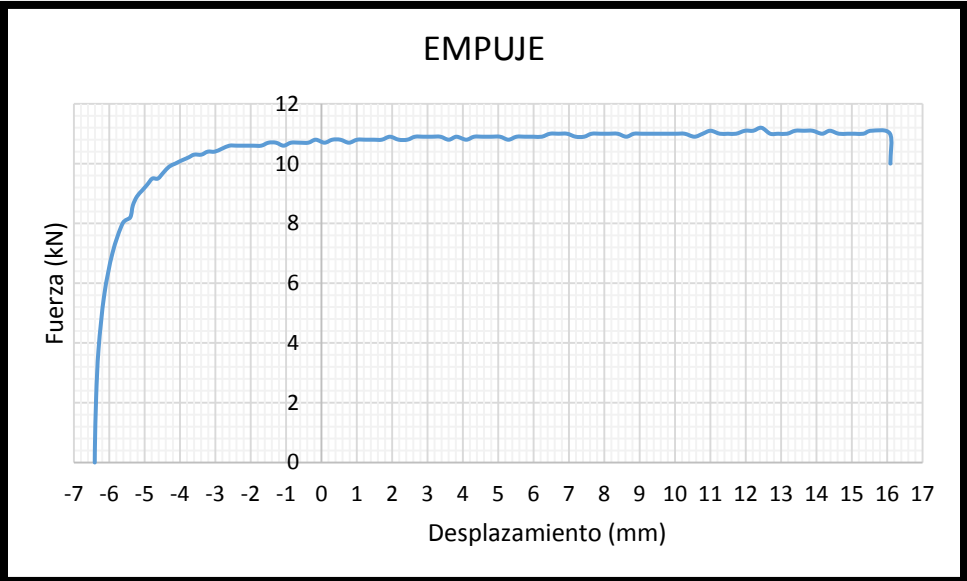
### Ensayo 9



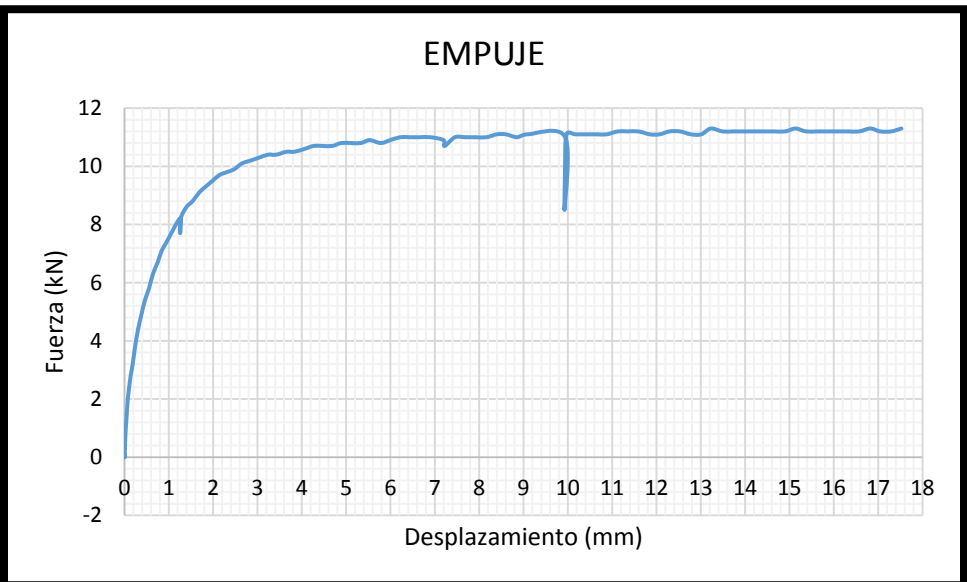
### Ensayo 10



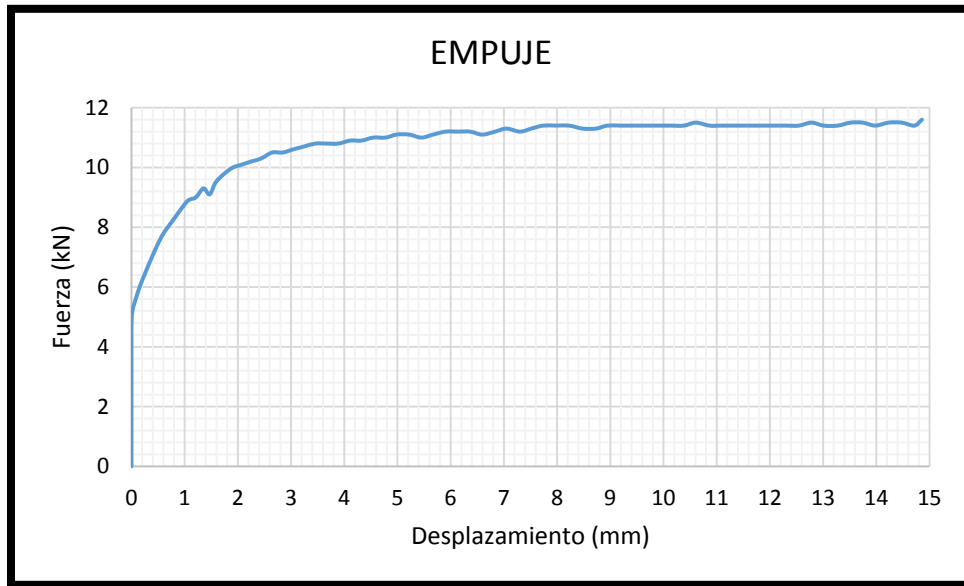
**Ensayo 11**



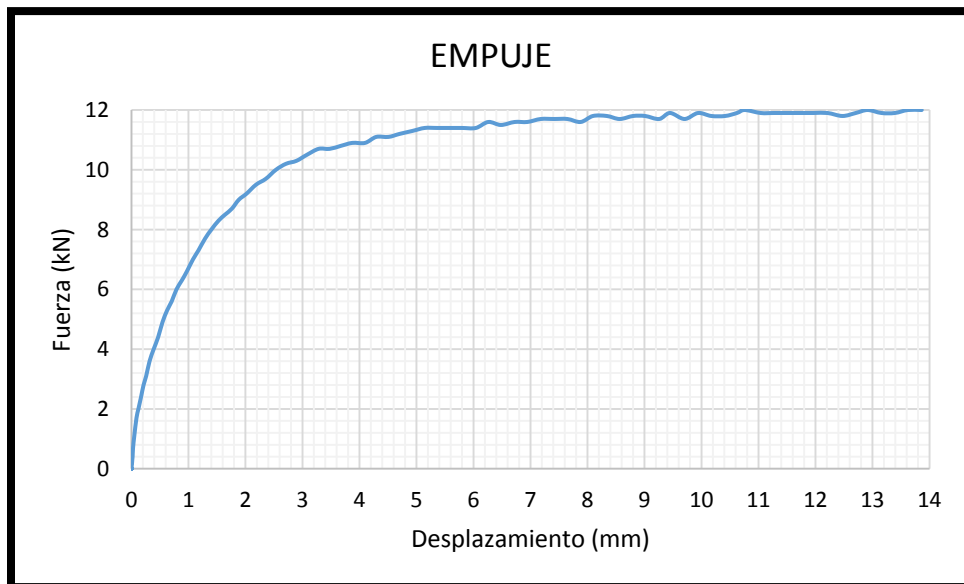
**Ensayo 12**



### Ensayo 13



### Ensayo 14



Ensayo 15

