

DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO – MURO PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE SUELOS ARENOSOS DE  
LA QUEBRADA ZAPAMANGA

PRESENTADO POR:

JULIÁN CAMILO NAVARRO GARCÍA ID: 000242949

ARNOLD RICARDO HERNANDEZ AYALA ID: 000281352

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

BUCARAMANGA

2018

DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO – MURO PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE SUELOS ARENOSOS DE  
LA QUEBRADA ZAPAMANGA

JULIÁN CAMILO NAVARRO GARCÍA ID: 000242949  
ARNOLD RICARDO HERNANDEZ AYALA ID: 000281352

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

ING. MSC. GERARDO BAUTISTA GARCIA

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, Diciembre 2018

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a la Universidad Pontificia Bolivariana, por su apoyo incondicional y su ayuda en la organización y realización del proyecto a lo largo del último periodo académico, por otra parte, al master Gerardo Bautista García, por su apoyo y motivación para la finalización de nuestros estudios profesionales y por sus asesorías e importantes consejos para el correcto desarrollo de los laboratorios y entrega de resultados de manera adecuada.

Así mismo a nuestras familias, a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que somos, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo magníficamente sostenido a través del tiempo.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son; Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION.....	
2.	OBJETIVOS.....	
2.1.	Objetivo General.....	
2.2.	Objetivos Específicos.....	
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	
3.1.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	
4.	JUSTIFICACION.....	
5.	ALCANCE.....	
6.	ANTECEDENTES.....	
6.1	ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	
6.2	ANTECEDENTES NACIONALES.....	
6.3	ANTECEDENTES LOCALES.....	
7.	MARCO TEORICO.....	
7.1.	ARENAS.....	
7.2.	GRANULOMETRIA CON MALLAS.....	
7.3.	LIMITES DE PLASTICIDAD.....	
7.4.	CLASIFICACION DE SUELOS.....	
7.4.1	CLASIFICACION AASHTO.....	
7.4.2	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS	
7.5.	COMPACTACION.....	
7.5.2	PRUEBA PROCTOR MODIFICADO.....	
7.6.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	
7.7.	TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS ARENOSOS.....	
8.	METODOLOGIA.....	
8.1	RECOLECCION DE INFORMACION.....	
8.2	BUSQUEDA DE MATERIAL.....	
8.3	CLASIFICACION DEL SUELO.....	
8.4	DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE COMPACTACION...	
8.5	ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE....	
8.6	DIMENSIONAMIENTO DEL MURO DE CONTENCION A ESCALA....	
8.7	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO.....	
8.8	CONSTRUCCION DEL MURO A ESCALA.....	
8.9	COMPACTACION DEL SUELO DE FUNDACION.....	
8.10	PRUEBAS EN EL MURO DE REACCION.....	
9.	RESULTADOS.....	
9.1.	GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA MALLA N° 200.....	
9.2.	ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.....	
9.3.	ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	
9.4.	ENSAYOS EN EL MURO DE REACCION.....	
9.5.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MURO A ESCALA.....	
9.5.1.	Dimensionamiento del muro de contención a escala.....	
9.5.2.	Diseño estructural del muro de contención a escala.....	
9.5.3.	Proceso constructivo del muro de contención a escala.....	
9.6.	ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO...	

9.7.	ENSAYOS A LA TRACCION DEL ACERO.....	
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	
10.1.	CLASIFICACION DEL SUELO.....	
10.2.	ENSAYOS DE COMPATACIÓN.....	
10.3.	ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	
10.4.	ENSAYOS EN EL MURO A ESCALA.....	
10.5.	COMPARACION DEL EMPUJE ACTIVO TEORICO Y EXPERIMENTAL...	
	10.5.1 CALCULO DEL EMPUJE ACTIVO TEORICO.....	
	10.5.2 CALCULO DEL EMPUJE ACTIVO REAL.....	
11.	CONCLUSIONES.....	
12.	RECOMENDACIONES.....	
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	
14.	ANEXOS.....	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Curva granulométrica</i> .....	20
Figura 2 <i>Gráfica de plasticidad. Propiedades geotécnicas del suelo</i> .....	22
Figura 3 . <i>Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura Mohr – Coulomb</i> .....	25
Figura 4 <i>Presión pasiva</i> .....	26
Figura 5 <i>Presión activa</i> .....	27
Figura 6 <i>Estado Pasivo</i> .....	28
Figura 7 <i>Comparacion curvas granulométricas</i> .....	34
Figura 8 <i>Curva de compactación muestra 1</i> .....	35
Figura 9 <i>Curva de compactación muestra 2</i> .....	36
Figura 10 <i>Curva de compactación muestra 3</i> .....	36
Figura 11 <i>Envolvente de falla promedio muestras tomadas de moldes tipo proctor</i> . ...	38
Figura 12 <i>Envolvente de falla promedio para la máquina digital</i> .....	40
Figura 13 <i>Dimensiones</i> .....	42
Figura 14 <i>Modelo a escala</i> .....	48
Figura 15 <i>Vista superior del muro a escala</i> .....	49
Figura 16 <i>Armado acero estructural</i> .....	50
Figura 17 <i>Encofrado y fundición de la base del muro</i> .....	51
Figura 18 <i>Fundición y fraguado de base de muro</i> .....	51
Figura 19 <i>Encofrado y fundida de la escarpa del muro</i> .....	51
Figura 20 <i>Compactación de suelo de fundación</i> .....	52
Figura 21 <i>Esfuerzo vs deformación del acero A36</i> .....	53

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Fuerza de rozamiento</i> .....	16
Ecuación 2 <i>Morh</i> .....	24
Ecuación 3 <i>Morh - Coulomb</i> .....	24
Ecuación 4 <i>Presión horizontal efectiva en estado reposo</i> .....	25
Ecuación 5 <i>Presión horizontal efectiva en el estado activo</i> .....	26
Ecuación 6 <i>Coeficiente de presión activa de tierras, teoría de Rankine</i> .....	26
Ecuación 7 <i>Presión horizontal efectiva en el estado pasivo</i> .....	27
Ecuación 8 <i>Coeficiente de presión activa de tierras, teoría de Rankine</i> .....	27
Ecuación 13 <i>Momento aplicado</i> .....	43
Ecuación 14 <i>Cuantía</i> .....	43
Ecuación 15 <i>Cuantía requerida</i> .....	44
Ecuación 16 <i>Área de refuerzo</i> .....	45
Ecuación 17 <i>Refuerzo a flexión</i> .....	45
Ecuación 18 <i>Separación entre barras de acero</i> .....	45
Ecuación 19 <i>Angulo de fricción suelo-muro</i> .....	56



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Sistema de clasificación de suelos de la AASTHO</i> .....	21
Tabla 3 Resultados muestra 1 .....	32
Tabla 4 Resultados muestra 2 .....	33
Tabla 5 Resultados muestra 3 .....	34
Tabla 6 Resumen de los ensayos de granulometría .....	35
Tabla 7 Resumen de los ensayos de Proctor.....	37
Tabla 8 <i>Resumen ensayos de corte Directo.</i> .....	37
Tabla 9 <i>Resumen ensayos de corte directo (muestras tomadas del suelo de fundación).</i> .....	39
Tabla 10 Ensayo muro de reacciones.....	41
Tabla 11 <i>Resultados para dimensionamiento del muro.</i> .....	42
Tabla 12 <i>Resistencia a la compresión del concreto</i> .....	53
Tabla 13 Promedio de resultados granulometrías.....	54
Tabla 14 Promedio de los resultados de ensayos cortes directos .....	55
Tabla 15 <i>Resultados obtenidos sobre el muro para determinar el parametro k. (ensayos de Empuje).</i> .....	57

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO – MURO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE SUELOS ARENOSOS DE LA QUEBRADA ZAPAMANGA

**AUTOR(ES):** JULIÁN CAMILO NAVARRO GARCÍA y ARNOLD RICARDO HERNANDEZ AYALA

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Ing. Msc. GERARDO BAUTISTA GARCÍA

### RESUMEN

El propósito de realizar este proyecto de grado fue el de estimar el ángulo de fricción suelo-muro generado entre la cimentación de un muro a escala construido en concreto reforzado y su suelo de fundación, el cual corresponde a una arena limosa bien gradada (SW-SM) proveniente de la quebrada Zapamanga del municipio de Floridablanca. Los trabajos comenzaron tomando muestras representativas de la arena con el fin de clasificarla y obtener los parámetros de compactación y resistencia al corte requeridos para dimensionar el muro de contención a escala. Una vez estimados la humedad óptima, el peso específico y el ángulo de fricción interna del material estudiado se seleccionaron las dimensiones requeridas para que el muro a construir tuviera un factor de seguridad por volteo alto en el momento de su falla por deslizamiento, con el fin de garantizar su integridad estructural y poderlo utilizar en varias pruebas en el muro de reacción. Después de seleccionar las dimensiones apropiadas del muro, se realizó el diseño estructural del mismo y se procedió a construirlo en el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Sobre el modelo construido se aplicaron fuerzas horizontales con la ayuda del muro de reacción hasta producir la falla por deslizamiento. Por último se estimó el ángulo de fricción suelo-muro correspondiente al suelo estudiado y además se analizaron y compararon los resultados con lo previamente calculado.

### PALABRAS CLAVE:

Deslizamiento, ángulo de fricción, factor de seguridad, muro contención, arena.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DETERMINATION OF THE SOIL FRICTION ANGLE - WALL FOR THE DIMENSIONING OF CONTAINMENT WALLS ON SANDY SOILS OF THE ZAPAMANGA RIVER

**AUTHOR(S):** JULIÁN CAMILO NAVARRO GARCÍA y ARNOLD RICARDO HERNANDEZ AYALA

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

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

### ABSTRACT

The purpose of this degree project was to estimate the soil-wall friction angle generated between the foundation of a scaled wall built in reinforced concrete and its foundation soil, which corresponds to a well-graded silty sand (SW-). SM) from the Zapamanga stream of the municipality of Floridablanca. The work began by taking representative samples of the sand in order to classify it and obtain the parameters of compaction and resistance to the cut required to size the retaining wall to scale. Once the optimum humidity, the specific weight and the internal friction angle of the studied material were estimated, the required dimensions were selected so that the wall to be built had a safety factor by high turnover at the time of its slip failure, in order to to guarantee its structural integrity and be able to use it in several tests in the reaction wall. After selecting the appropriate dimensions of the wall, the structural design of the wall was made and it was proceeded to be built in the structures laboratory of the Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. On the built model, horizontal forces were applied with the help of the reaction wall to produce the slip failure. Finally, the ground-wall friction angle corresponding to the soil studied was estimated and, in addition, the results were analyzed and compared with the previously calculated.

### KEYWORDS:

Sliding, friction angle, safety factor, retaining wall, sand.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. INTRODUCCIÓN

Las dimensiones de un muro de contención deben escogerse de tal forma que estos sean estables al volteo y al deslizamiento y además el suelo de fundación sobre el cual se desplantan, debe tener una capacidad de soporte tal que sea capaz de soportar las presiones verticales transmitidas por el cimiento del muro. El presente trabajo de grado se realizó con el fin de obtener el ángulo de fricción suelo-muro para un modelo a escala cimentado sobre una arena limosa bien gradada proveniente de la quebrada Zapamanga. Para clasificar el suelo estudiado y conocer las propiedades físicas requeridas para el diseño del modelo a escala se realizaron algunos ensayos tales como granulometría, compactación y corte directo, una vez estimadas dichas propiedades se diseñó el muro de contención a escala de tal forma que este fallara por deslizamiento y siempre fuera estable al volteo con el fin de garantizar su integridad estructural y poder realizar varias pruebas con él.

La construcción del muro de contención se realizó en el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y tanto en el proceso de fundida, así como también durante el figurado del acero de refuerzo, se tomaron muestras para llevar a cabo un control de la calidad de los materiales usados

Con la ayuda del muro de reacción que se encuentra en el laboratorio de estructuras, se realizaron catorce ensayos, en los cuales se sometió el modelo a escala a fuerzas horizontales hasta que se registrara el desplazamiento del mismo. Durante estos ensayos fue necesario tomar muestras para pruebas de corte directo con el fin de ajustar los parámetros geotécnicos de diseño inicialmente estimados

Finalmente, con los resultados de los ensayos realizados sobre el modelo a escala y los parámetros geotécnicos ajustados, se obtuvo el valor promedio del ángulo de fricción suelo-muro para la arena estudiada, lo cual permitió concluir acerca de comportamientos observados y elaborar una serie de recomendaciones para ser tenidas en cuenta en futuros trabajos similares.

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Determinar el ángulo de fricción entre la base de un muro de contención en concreto reforzado y el suelo de fundación arenoso proveniente de la quebrada Zapamanga.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Hallar las propiedades geo mecánicas del suelo de fundación, así como también los parámetros requeridos del concreto y el acero empleados para la construcción de un muro de contención que se apoyará sobre dicho suelo.
- Estimar las dimensiones de un muro de contención cuya falla ha de producirse por deslizamiento.
- Diseñar un muro de contención de tal forma que no se produzca una falla estructural del mismo.
- Analizar la diferencia entre el empuje requerido para desplazar el muro de contención y la fuerza de rozamiento que se opone a él, para determinar el FS más apropiado.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

#### 3.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

En la ingeniería geotécnica una de las principales obras corresponde a los muros de contención. Uno de los factores a tener en cuenta en su dimensionamiento es el factor de seguridad por deslizamiento, el cual se calcula como la suma de las fuerzas horizontales resistentes sobre las fuerzas horizontales actuantes. Dentro de las fuerzas horizontales resistentes, se destaca la fuerza de rozamiento que corresponde a la normal multiplicada por la tangente del ángulo de fricción suelo-muro ( $\delta$ ).

El valor del ángulo de fricción suelo-muro que normalmente se utiliza, corresponde a un porcentaje del ángulo de fricción interna del suelo en contacto con el muro, este porcentaje según varios autores está comprendido entre el 50% y 67%. En las ciencias e ingenierías, siempre será bueno cuestionarse acerca de parámetros de diseño sugeridos por diferentes autores ya que dichos parámetros son obtenidos bajo diferentes condiciones.

En el caso particular del presente trabajo de grado no solamente verificó si el ángulo de fricción suelo-muro corresponde a los porcentajes sugeridos del ángulo de fricción interna en la literatura técnica existente, sino también se calculó su valor exacto para un muro de concreto reforzado de espalda vertical y relleno horizontal apoyado sobre una arena limosa bien gradada proveniente de la quebrada Zapamanga.

#### 4. JUSTIFICACIÓN.

Este trabajo de grado pretende determinar el ángulo de fricción que se forma entre el suelo de fundación y un muro de contención y verificar si se encuentra entre los valores sugeridos por Terzaghi (1925), los cuales varían entre un  $0,5 \phi$  y  $0.67 \phi$ , donde  $(\phi)$  es el ángulo de fricción interna del suelo de fundación. El material a utilizar es un suelo arenoso extraído de la quebrada Zapamanga en el municipio de Floridablanca.

En la ingeniería civil, es importante determinar el ángulo de fricción suelo-muro para no caer en errores de diseño del muro, como el sobredimensionamiento y mucho menos el subdimensionamiento. Estimando un valor cercano al real de dicho ángulo se puede tener un dimensionamiento seguro del muro.

Una vez hallado el ángulo de fricción suelo - muro, se hará un análisis de los valores obtenidos y se compararan con los disponibles en la literatura técnica.

Para el desarrollo del presente proyecto de grado se utilizará el muro de reacción que posee la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, con el cual se aplicaran los empujes que provoquen la falla por deslizamiento del muro a escala que se va a utilizar.

## 5. ALCANCE.

El presente trabajo de grado pretende determinar los valores particulares del ángulo de fricción suelo – muro para la arena de la quebrada Zapamanga sobre la cual se va a cimentar un muro de contención de concreto reforzado.

El muro de contención se diseñó buscando el fallo por deslizamiento y no por volteo. El empuje estimado para ocasionar la falla por deslizamiento debía estar en los rangos de fuerzas que maneja el muro de reacción del laboratorio de estructuras de la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. El muro se construyó con su espalda vertical y el relleno detrás de él es de superficie horizontal.

Una de las fuerzas que se oponen al deslizamiento de un muro es la fuerza debida a la cohesión, pero en este caso dicha fuerza es despreciable ya que el suelo de fundación corresponde a una arena predominantemente friccionante.

Debido a que el suelo de fundación corresponde a un suelo friccionante y a que no se colocó un relleno pasivo frente al muro, la única fuerza horizontal resistente es la fuerza de rozamiento, la cual puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1 *Fuerza de rozamiento*

La fuerza de rozamiento será igual a la sumatoria de fuerzas verticales por la tangente del producto entre el ángulo de fricción interna del suelo por la constante K, la cual tradicionalmente se ha tomado entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{2}{3}$ .



## **6. ANTECEDENTES**

### **6.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

En el ámbito internacional se tiene que, el estudiante Rubén Rodrigo Zavala Rosell presentó una tesis de grado titulada “ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD DE LOS PARAMETROS GEOTECNICOS EN EL DISEÑO GEOTECNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN, UTILIZANDO EL METODO DE MONTE CARLO” y realizado en la Pontificia Universidad Católica Del Perú en el año 2013. Su trabajo se enfocó contribuir al cálculo de la incertidumbre de los factores de seguridad (volteo y desplazamiento) en función de los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna, peso específico, cohesión) para muros en voladizo con relleno granular cimentados sobre suelos cohesivos. Con las simulaciones probabilísticas que se hicieron se puede concluir que las variabilidades de los factores de seguridad se ven afectados mayormente por la variación en el coeficiente de cohesión y el ángulo de fricción, en ese orden de importancia.

### **6.2 ANTECEDENTES NACIONALES**

A nivel nacional se encontró el proyecto de grado de Ginna Ivonne Montoya Suarez (2013), titulado “PARAMENTROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN LA INTERFAZ SUELO – CONCRETO” y realizado en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá D.C. El objetivo principal fue determinar los parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo – concreto. Con los resultados obtenidos se puede concluir que el ángulo de fricción suelo – concreto varía entre 0,75 y 0,89 veces el ángulo de fricción interna del suelo.

En una investigación realizada por Pineda y Colmenares (2011) se analizaron los parámetros de resistencia al corte en las interfaces arcilla – concreto en estructuras geotécnicas en medio lacustre de Bogotá. Los parámetros anteriormente mencionados fueron determinados mediante ensayos de corte directo. Los resultados de este trabajo permiten establecer que el ángulo de fricción en la interfaz varía entre 0,85 y 1,0  $\phi$ .

### **6.3 ANTECEDENTES LOCALES**

Un antecedente local corresponde al trabajo de grado realizado por la estudiante Caroll Tatiana Solano Soto (2014), en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, denominado “INFLUENCIA DE LA COHESION EN EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN CIMENTADOS SOBRE LIMOS INORGANICOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD”. El objetivo principal de ese trabajo fue

determinar la influencia de la cohesión en el diseño de los muros de contención apoyados sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad. El suelo estudiado tenía una cohesión promedio de  $0,67 \text{ Kg/cm}^2$  y un ángulo de fricción interna de  $27,31^\circ$ . Con los resultados obtenidos se concluye que al despreciar la cohesión del suelo de fundación en el cálculo de los factores de seguridad, se obtienen muros inestables y por lo tanto se hace necesario modificar las dimensiones.

Otro antecedente local corresponde al proyecto de grado realizado en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga por parte de las estudiantes Erika Lizeth Estupiñan y María Del Pilar Sánchez (2016), titulado "INFLUENCIA DE LA COHESION EN LE DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN CIMENTADOS SOBRE ARENA ARCILLOSA". El objetivo principal de ese trabajo era establecer la influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre arenas arcillosas. El material estudiado tenía un ángulo de fricción interno promedio de  $35.9^\circ$ , una cohesión promedio fue de  $0.243 \text{ kg/cm}^2$  y un peso específico promedio de  $1.93 \text{ g/cm}^3$ . De ese trabajo se concluye que si se tiene en cuenta la cohesión del suelo de fundación, los muros de contención dimensionados cumplen con los valores mínimos de los factores de seguridad por volteo, deslizamiento, y capacidad portante, mientras que si esta se desprecia, dichos factores no cumplen, existiendo la necesidad de aumentar las dimensiones iniciales. También se puede concluir que el aumento en los volúmenes de concreto es mayor en muros de espalda recta que en aquellos de espalda inclinada

## **7. MARCO TEÓRICO.**

### **7.1 ARENAS**

Es el conjunto de partículas resultantes de la desintegración de rocas o de su trituración artificial. Las arenas con poco contenido de finos o libres de ellos no son compresibles ni plásticas y al ser sometidos a cargas externas su deformación se da casi de manera instantánea. (Crespo, 2004)

Los suelos se dividen en dos grandes grupos: los gruesos y los finos. Los suelos gruesos son aquellos en los cuales más de la mitad de una muestra representativa no pasa por la malla No 200.

Los suelos gruesos se subdividen a su vez en gravas y arenas, siendo la frontera entre ellos la abertura del tamiz No 4 (4.75 mm). Las arenas se representan por la letra S. De acuerdo con su contenido de finos, gradación y plasticidad de su fracción fina, las arenas se agrupan de la siguiente manera (Juarez, 2005):

- Arenas bien gradadas (SW) y arenas mal gradadas (SP) si el contenido de finos es inferior al 5%.
- Arenas limosas (SM) y arenas arcillosas (SC) si el contenido de finos es superior al 12%.
- Arenas limosas bien gradadas (SW-SM), arenas limosas mal gradadas (SP-SM), arenas arcillosas bien gradadas (SW-SC) y arenas arcillosas mal gradadas (SP-SC) si el contenido de finos esta entre 5 y 12%

### **7.2 GRANULOMETRÍA CON MALLAS**

En una prueba de granulometría por mallas se toma una muestra seca representativa del material, al cual previamente se le ha realizado un lavado por la malla No 200 para desintegrar grumos y facilitar el cribado. Este material seco se hace pasar por una serie de tamices dispuestos de mayor a menor tamaño. Posteriormente debe tomarse el peso del material retenido en cada uno de los tamices (incluyendo el fondo); a partir de estos pesos se debe calcular el porcentaje de material que pasa por cada tamiz. (Das, 2012)

La curva granulométrica se construye tomando como abscisas las aberturas de cada uno de los tamices y como ordenadas el porcentaje de material que pasa por cada uno de ellos. La forma de la curva granulométrica da información cualitativa de la gradación del material. (Bowles, 1981)

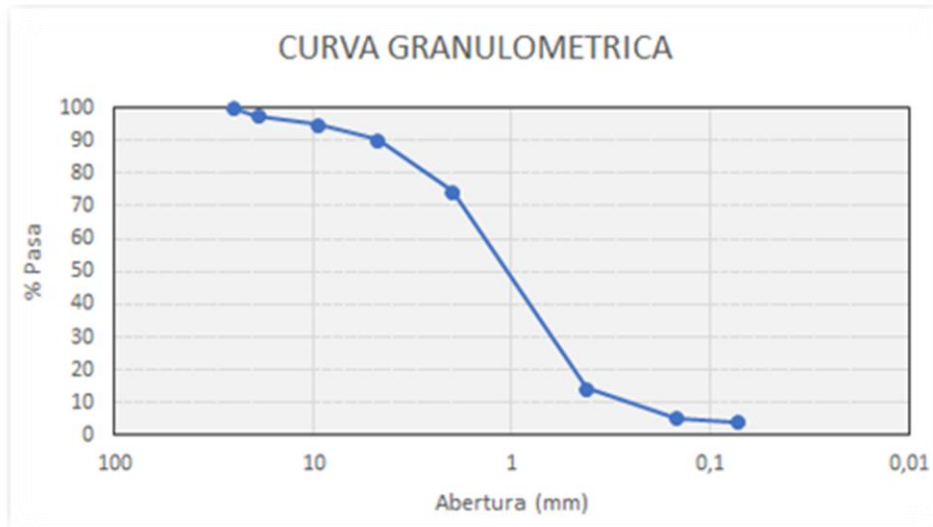


Figura 1 Curva granulométrica

*Fuente. Propia*

### 7.3 LÍMITES DE PLASTICIDAD

Una forma común de definir la plasticidad de un suelo es a partir de su límite líquido y su índice de plasticidad, este último corresponde a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

El límite líquido corresponde a la frontera entre los estados semilíquido y plástico. En el laboratorio se obtiene con la ayuda de la copa de Casagrande. Sobre la copa se coloca material que pasa por la malla No 40 hasta una altura de 1 cm, para posteriormente hacer una ranura y finalmente se cuenta el número de golpes requerido para que esta se cierre en una longitud aproximada de media pulgada. El límite líquido corresponde a la humedad para la cual la ranura se cierra a los 25 golpes. (Bowles, 1981)

El límite plástico corresponde a la frontera entre los estados plástico y semisólido. En el laboratorio se obtiene haciendo rollos de 1/8" con material que pasa por la malla No 200. La prueba arranca con una humedad cercana al límite líquido y si los rollos de 1/8" no se desmoronan o agrietan, estos se deshacen y se vuelven a hacer. El límite plástico corresponde a la humedad para la cual los rollos se agrietan o desmoronan (Bowles, 1981)

## 7.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los sistemas de clasificación dividen el suelo en grupos y subgrupos con propiedades, características mecánicas y comportamiento similares, utilizando como interés primordial para el ingeniero la distribución granulométrica y la plasticidad de la muestra. Los dos sistemas de clasificación principales de uso actual son el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (Das, 2015)

### 7.4.1 CLASIFICACIÓN AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO divide a los suelos en siete grupos principales de acuerdo con su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Este sistema considera como materiales granulares aquellos en los cuales el 35% o menos del total de una muestra representativa pasa por el tamiz No 200 (grupos A-1, A-2 y A-3). Aquellos materiales que tienen más de un 35% de finos se consideran limo-arcillosos (grupos A-4, A-5, A-6 y A-7). (Bowles, 1981)

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 No10 No 40 No 200	50 max 30 max 15 max	50 max 25 max	51 min 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 Límite Líquido, $w_L$ 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 11 min	41 min 11 min
Índice de Grupo	0		0	0			4 max	8 max	12 max	16 max	20 max

Tabla 1 Sistema de clasificación de suelos de la AASTHO

**Fuente.** (Bowles, 1981)

## 7.4.2 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Este sistema fue propuesto por A. Casagrande (1942), este sistema divide a los suelos en dos grandes grupos: los gruesos y los finos. Se considera que un suelo es grueso si más del 50% en peso de una muestra representativa no pasa por el tamiz No 200, mientras que un material se considera fino si más del 50% en peso de una muestra representativa pasa por el tamiz No 200.

Los suelos gruesos se subdividen en gravas y arenas, siendo la frontera entre ellos el tamiz No 200, cuya abertura es de 4,75 mm. Las gravas se representan con la letra G mientras que las arenas se representan con la letra S, tanto gravas y arenas se subdividen en grupos adicionales de acuerdo con la distribución del tamaño de sus partículas, contenido de finos y plasticidad de estos; resultando los grupos GW, GP, GM, GC, GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC, SW, SP, SM, SC, SW-SM, SW-SC, SP-SM y SP-SC.

Los suelos finos se subdividen en arcillas inorgánicas (C), limos inorgánicos (M) y suelos finos orgánicos (O). Así mismo, de acuerdo con su compresibilidad (la cual es proporcional al límite líquido) estos grupos se subdividen en suelos finos de alta y baja compresibilidad, resultando los siguientes grupos: CL, CH, ML, MH, OL y OH. Además existe un grupo de suelos pantanosos (turba) con un alto contenido de materia orgánica, un índice de plasticidad superior al 100% y un límite líquido superior al 300%, este grupo se representa por las letras Pt. (Juarez, 2005)

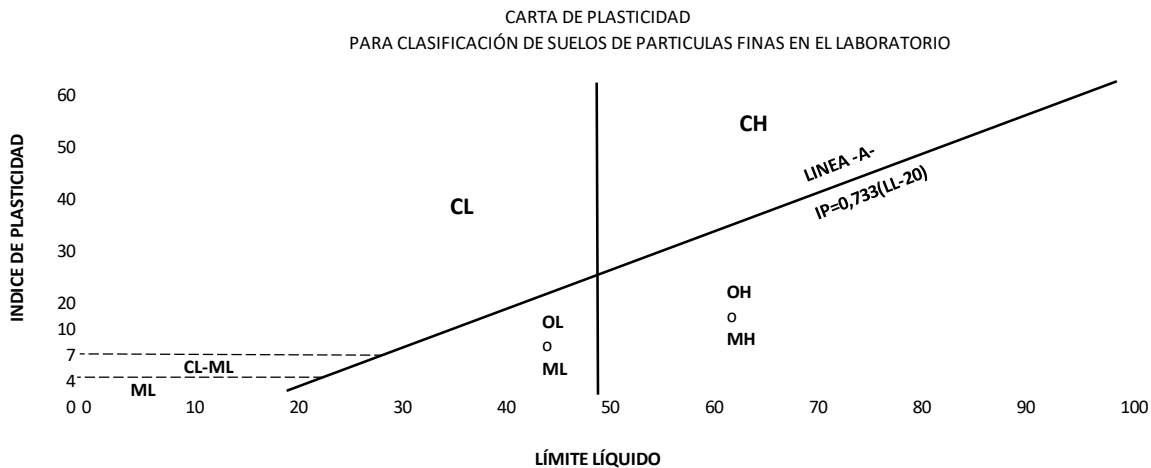


Figura 2 Gráfica de plasticidad. Propiedades geotécnicas del suelo

Fuente. (Crespo, 2004)

## 7.5 COMPACTACIÓN

Cuando se somete al suelo a un proceso de compactación se busca disminuir sus vacíos, aumentar su densidad y resistencia y disminuir deformaciones cuando dicho suelo se someta a cargas externas. Cuando se va a compactar un material en campo deben conocerse de antemano los parámetros físicos con los cuales se obtiene una mayor densidad, estos parámetros son: la humedad óptima y el peso específico seco, en la actualidad estos parámetros se obtienen por medio de pruebas de laboratorio tipo Proctor.

R. R. Proctor (1933) diseñó un ensayo de laboratorio que reproducía la energía suministrada en campo por los equipos de compactación de la época, esta energía era de aproximadamente  $600 \text{ kJ/m}^3$ . Una década después aparecieron nuevos equipos de compactación, con los cuales se obtenían mayores energías (aproximadamente  $2700 \text{ kJ/m}^3$ ), por lo tanto se modificaron las dimensiones y pesos de las herramientas para realizar la prueba (Proctor modificado).

Un ensayo de compactación tipo Proctor se realiza compactando el suelo (con diferentes humedades) en un molde de dimensiones conocidas, con un martillo con un peso establecido usando un determinado número de capas y golpes por capa. A partir de los resultados obtenidos se construye la denominada curva de compactación en la cual en el eje de las ordenadas se ubican los pesos específicos secos y en el eje de las abscisas las humedades, esta curva normalmente corresponde a un polinomio de grado dos y las coordenadas de su punto más alto corresponden al peso específico seco máximo y la humedad óptima. (Bowles, 1981)

### 7.5.1 PRUEBA PROCTOR MODIFICADO

Como se mencionó atrás, en la prueba modificada se usa una energía de compactación de aproximadamente  $2600 \text{ kJ/m}^3$ , Para ello existen tres métodos. (INVIAS, 2013)

El método A se usa para materiales en los cuales menos del 25 por ciento queda retenido en el tamiz No 4. Se usa un molde de 4" de diámetro, en el cual el material se compacta en 5 capas, dándole 25 golpes a cada una de ellas.

El método B se usa para materiales en los cuales menos del 25 por ciento queda retenido en el tamiz 3/8". Se usa un molde de 4" de diámetro, en el cual el material se compacta en 5 capas, dándole 25 golpes a cada una de ellas.

El método C se usa para materiales en los cuales menos del 30 por ciento queda retenido en el tamiz 3/4". Se usa un molde de 6" de diámetro, en el cual el material se compacta en 5 capas, dándole 56 golpes a cada una de ellas.

Durante el ensayo la humedad se incrementa gradualmente observándose que el peso específico seco aumenta progresivamente hasta que después de alcanzar cierto contenido de agua este disminuye (Das M. B., 2012)

## 7.6 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Existen varios ensayos de laboratorio para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo (ángulo de fricción y cohesión), entre ellos se encuentran el ensayo triaxial, el ensayo de corte directo y el ensayo de compresión incofinada.

El ensayo de corte directo es muy usado en los estudios de suelos por su practicidad y fácil uso. Los parámetros geotécnicos obtenidos a partir de este ensayo se usan para calcular presiones laterales de tierras sobre estructuras de contención, capacidad de carga en cimentaciones superficiales y profundidad, realizar análisis de estabilidad de taludes, diseño de estructuras en tierra reforzada, etc.

La resistencia al corte está dada en función de la cohesión del suelo, la humedad y la resistencia a la fricción entre las partículas.

Mohr (1900) propuso una teoría, la cual sostiene que un material falla a la combinación del esfuerzo normal y el esfuerzo cortante lo cual expreso con la siguiente ecuación: (Das, 2015)

$$T_f = f(\sigma)$$

Ecuación 2 *Mohr*

Dónde:

$T_f$  = *esfuerzo cortante en el plano de falla*

$\sigma$  = *esfuerzo normal en el plano de falla*

En un ensayo de corte directo generalmente se utilizan tres muestras, cada una de las cuales se falla con un esfuerzo normal diferente, el cual se mantiene constante para cada muestra mientras se aumenta el esfuerzo cortante hasta producir la falla a lo largo de un plano horizontal.

Al dibujar los esfuerzos cortantes máximos (ordenadas) vs los esfuerzos normales (abscisas) se obtiene la envolvente de falla, cuya pendiente corresponde al ángulo de fricción interna y la distancia desde su intersección con el eje de las ordenadas hasta el origen del sistema de coordenadas corresponde a la cohesión.

La ecuación de la envolvente de falla es la siguiente:

$$T_f = c + \sigma \tan \phi$$

Ecuación 3 *Mohr - Coulomb*.

$c$  = *cohesion*

$\phi$  = *angulo de friccion interna*



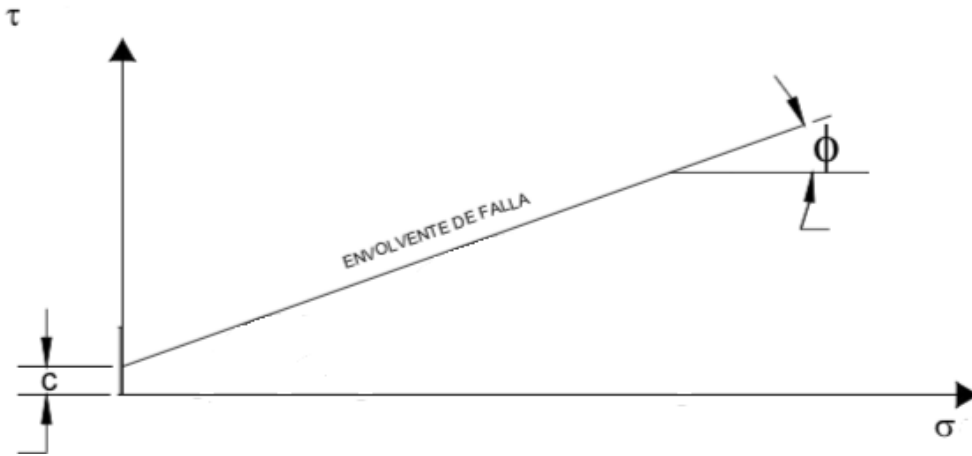


Figura 3 . *Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura Mohr – Coulomb*

Fuente. (Crespo, 2004)

### 7.7 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS ARENOSOS

Si se considera un elemento de suelo situado a una profundidad  $z$  en un estrato arenoso, este estará sometido a una presión vertical efectiva  $\sigma'_v$ . Si este elemento se encuentra en reposo, la presión horizontal efectiva será (Juarez, 2005):

$$\sigma'_h = K_0 \times \sigma'_v$$

Ecuación 4 Presión horizontal efectiva en estado reposo

Donde  $K_0$  es el coeficiente de presión de tierras en reposo.

La siguiente figura 4 muestra el círculo de Mohr correspondiente al estado de reposo del elemento mencionado.

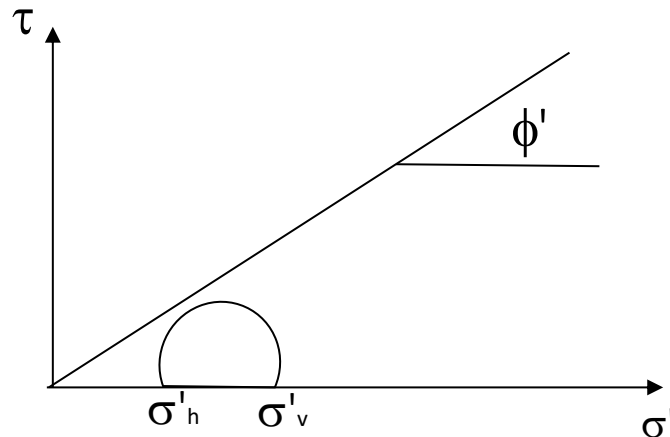


Figura 4 Presión pasiva.

Fuente: (Berry Peter L. 1993).

A partir del estado de reposo se puede llegar a la falla de dos maneras:

- a) Disminuyendo la presión horizontal hasta que esta alcanza su valor mínimo posible cuando el círculo de Mohr toca a la envolvente de falla, en este caso se habrá llegado al estado activo. Esto se manifiesta en el caso de los muros de contención mediante un giro hacia su frente. En el estado activo la presión horizontal efectiva se calcula así (Juarez, 2005):

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v \times K_a$$

Ecuación 5 Presión horizontal efectiva en el estado activo

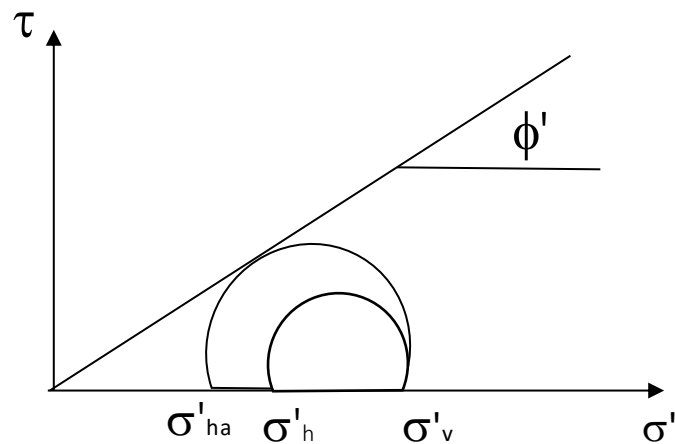
Donde  $K_a$  es el coeficiente de presión activa de tierras, el cual se puede calcular por medio de la siguiente ecuación según la teoría de Rankine:

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

Ecuación 6 Coeficiente de presión activa de tierras, teoría de Rankine

Siendo  $\phi$  el ángulo de fricción interna del suelo.

La siguiente figura muestra los círculos de Mohr correspondientes al reposo y al estado activo (tangente a la envolvente de falla):



**Figura 5** Presión activa.

Fuente: Berry Peter L. (1993).

- b) Aumentando la presión horizontal hasta que esta alcanza su valor máximo posible cuando el círculo de Mohr toca a la envolvente de falla, en este caso se habrá llegado al estado pasivo. En el estado pasivo la presión horizontal efectiva se calcula así (Juarez, 2005):

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v \times K_p$$

**Ecuación 7** Presión horizontal efectiva en el estado pasivo

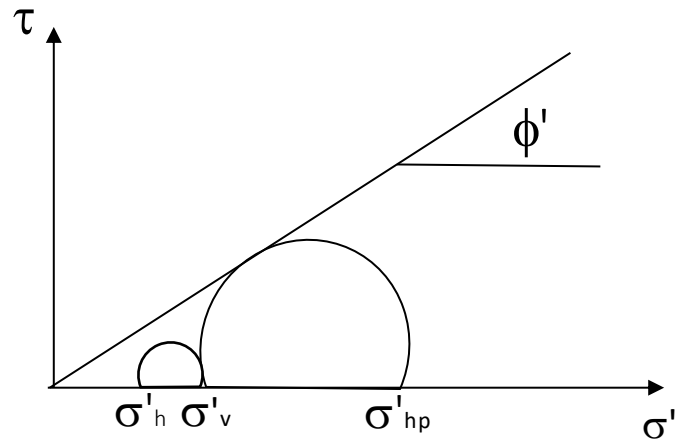
Donde  $K_p$  es el coeficiente de presión pasiva de tierras, el cual se puede calcular por medio de la siguiente ecuación según la teoría de Rankine:

$$K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

**Ecuación 8** Coeficiente de presión activa de tierras, teoría de Rankine

Siendo  $\phi$  el ángulo de fricción interna del suelo.

La siguiente figura muestra los círculos de Mohr correspondientes al reposo y al estado pasivo (tangente a la envolvente de falla):



**Figura 6** Estado Pasivo.

Fuente: (Berry Peter L. 1993).

## **8 METODOLOGIA**

### **8.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Se compilaron conocimientos previos o experiencias anteriores a este proyecto como teorías, libros, tesis entre otras, que sirvieron de guía para realizar ensayos de laboratorio, dimensionamiento y diseño del muro a escala, así como también para su construcción.

### **8.2. BÚSQUEDA DEL MATERIAL**

Para el desarrollo de esta tesis se buscó un material arenoso con poco contenido de finos, el cual se encontró en la quebrada Zapamanga del municipio de Floridablanca. De este material se tomaron muestras para su clasificación y caracterización.

### **8.3. CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

Para clasificar el suelo se realizaron tres ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No 200, adicionalmente se intentó realizar ensayos de límites de Atterberg pero debido a su plasticidad nula, esto no fue posible. Los tres ensayos de granulometría se realizaron de acuerdo a lo establecido en la norma INV-E-123-13.

### **8.4. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPACTACIÓN**

La humedad óptima y el peso específico seco máximo se estimaron a partir de los resultados ensayos de compactación Proctor modificado según lo establecido en la norma INV-142-13.

### **8.5. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE**

Para dimensionar un muro de contención es necesario conocer los parámetros de resistencia al corte tanto del suelo de fundación, así como también del relleno detrás de él. Estos parámetros se obtuvieron mediante ensayos de corte directo, realizados siguiendo los lineamientos de la norma INV-E-154-13.

## **8.6. DIMENSIONAMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN A ESCALA**

Una vez determinados los parámetros geotécnicos requeridos, se procedió a suponer diferentes dimensiones de muros de contención de 1 m de altura y finalmente se escogió uno de espalda vertical con relleno granular horizontal estable al volteo en el momento de la falla por deslizamiento. Para el cálculo del empuje activo se utilizó la teoría de Rankine y vale la pena aclarar que el material usado como suelo de fundación es el mismo del relleno

## **8.7. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO**

Con las dimensiones escogidas para el modelo a escala, se elaboró un diseño estructural que asegurará la integridad del muro de contención para que este no se viera afectado por las cargas a las cuales sería sometido en repetidas ocasiones por el actuador.

## **8.8. CONSTRUCCIÓN DEL MURO A ESCALA**

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

El proceso constructivo del modelo se hizo de la siguiente manera:

- a. Modulación de la zapata del muro en formaleta metálica.
- b. Figuración del acero de refuerzo para la zapata del muro.
- c. Fundida de la zapata del muro.
- d. Ensayos de control de calidad del concreto y acero.
- e. Figuración del acero de refuerzo para el cuerpo del muro.
- f. Modulación del cuerpo del muro en formaleta metálica y madera.
- g. Fundida del cuerpo del muro.
- h. Desencofrado del muro.
- i.

## **8.9. COMPACTACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN**

La compactación del suelo de fundación se realizó de forma manual con un pisón de madera, para ello se utilizó la humedad optima obtenida en las pruebas Proctor modificado. En total se compactaron 4 capas con espesores entre 12 y 15 cm, hasta alcanzar una altura total de 50 cm.

Debido a que la energía de compactación suministrada por el pisón es menor que la de las pruebas Proctor modificado, se tomaron muestras para nuevamente realizar ensayos de corte directo y recalculer tanto los parámetros geotécnicos así como también los factores de seguridad por volteo y deslizamiento.

## **8.10. PRUEBAS EN EL MURO DE REACCIÓN**

Sobre el modelo a escala construido se aplicaron fuerzas horizontales por medio de un actuador a una distancia correspondiente a la tercera parte de su altura. En total se realizaron catorce pruebas, en cada una de ellas la fuerza horizontal aplicada se incrementó gradualmente hasta que superara la fuerza de rozamiento y se registrara su desplazamiento.

## 9 RESULTADOS

### 9.1 GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA MALLA N° 200.

Para el desarrollo del presente trabajo, se buscó un material granular, para ello inicialmente se contemplaron algunas fuentes de materiales, sin embargo, se decidió trabajar con arenas provenientes de la quebrada Zapamanga del municipio de Floridablanca-Santander.

Del material seleccionado se tomaron muestras representativas y se llevaron al laboratorio de geotecnia y pavimentos de la Universidad Pontificia Bolivariana. Por cuarteos se seleccionó la cantidad adecuada para realizar los ensayos de granulometría y límites.

En total se realizaron tres pruebas de granulometría por tamizado con lavado por la malla No 200. Con una fracción de suelo que pasó por la malla No 40, se intentó realizar los ensayos de límite líquido y límite plástico, lo cual no fue posible debido a la plasticidad nula de la arena estudiada.

Las tablas 3, 4 y 5 Muestran los resultados de los ensayos de granulometría que se hicieron.

Peso seco antes del lavado (g): 1888,4

Peso seco después del lavado (g): 1712,7

Malla No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	3	0,16	99,84
No 4	4,75	12,8	0,68	99,16
10	2	48,1	2,55	96,62
40	0,42	832,1	44,06	52,55
100	0,149	687,8	36,42	16,13
200	0,074	123,8	6,56	9,57
FONDO	-----	180,8	9,57	0,00
		$\Sigma=$ 1888,4		

Tabla 2 Resultados muestra 1

Fuente: Propia



Peso seco antes del lavado (g): 1877,6

Peso seco después del lavado (g): 1714,1

Malla No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	2,2	0,12	99,88
No 4	4,75	11,9	0,63	99,25
10	2	53,5	2,85	96,40
40	0,42	892,7	47,54	48,85
100	0,149	644,8	34,34	14,51
200	0,074	106,9	5,69	8,82
FONDO	-----	165,6	8,82	0,00
	$\Sigma=$	1877,6		

Tabla 3 Resultados muestra 2

Fuente: Propia

Peso seco antes del lavado (g): 1879,8

Peso seco después del lavado (g): 1732,8

Malla No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	2,8	0,15	99,85
No 4	4,75	7,2	0,38	99,47
10	2	47,4	2,52	96,95
40	0,42	914,1	48,63	48,32
100	0,149	659,3	35,07	13,25
200	0,074	100,9	5,37	7,88
FONDO	-----	148,1	7,88	0,00
	$\Sigma=$	1879,8		

Tabla 4 Resultados muestra 3

Fuente: Propia

La Figura 7 muestra las curvas granulométricas de los tres ensayos realizados.

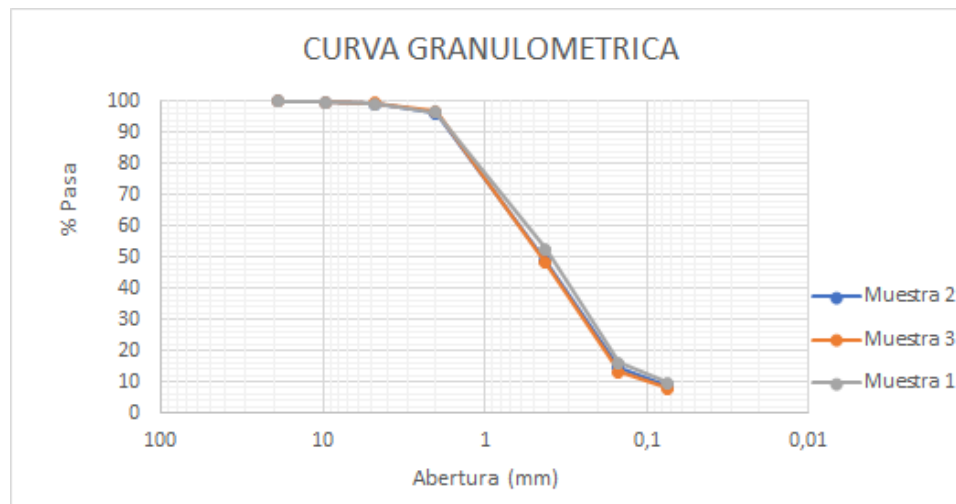


Figura 7 Comparación curvas granulométricas

Fuente: Propia

En la tabla 6 se presentan los porcentajes de gravas, arenas y finos de las muestras tomadas de la quebrada Zapamanga, así como también los promedios.

Ensayo #	% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS
1	0,84	89,59	9,57
2	0,75	90,43	8,82
3	0,53	91,59	7,88
PROMEDIO	0,71	90,54	8,76

Tabla 5 Resumen de los ensayos de granulometría

Fuente: Propia

## 9.2 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

Para este ensayo se tomaron muestras de la quebrada Zapamanga y se realizaron pruebas tipo Proctor modificado según la norma INV.E-142-13, los ensayos comenzaron con una humedad del 6% y progresivamente se aumentaba en 2% hasta finalizar el proceso. A continuación se observan las curvas de compactación para cada muestra.

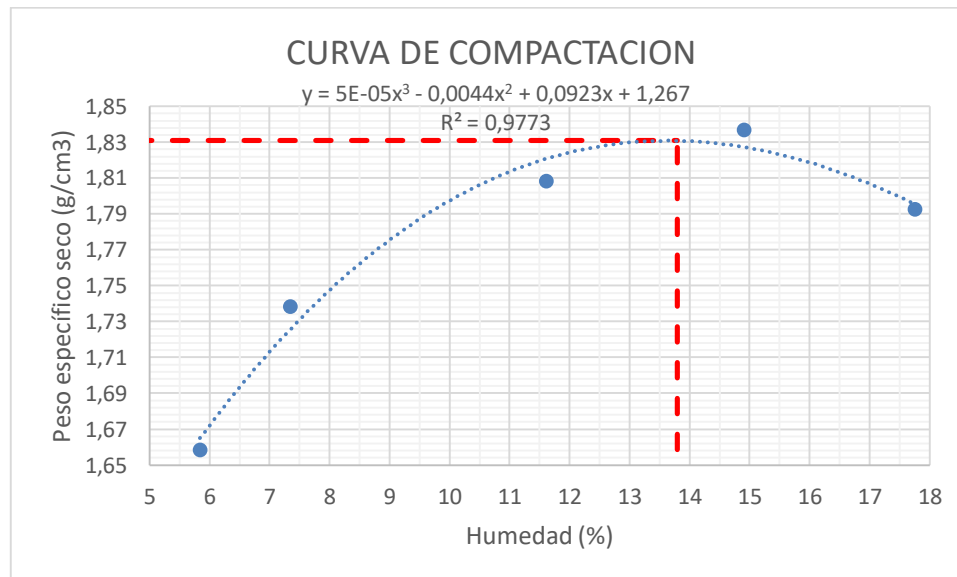


Figura 8 Curva de compactación muestra 1

Fuente: Propia

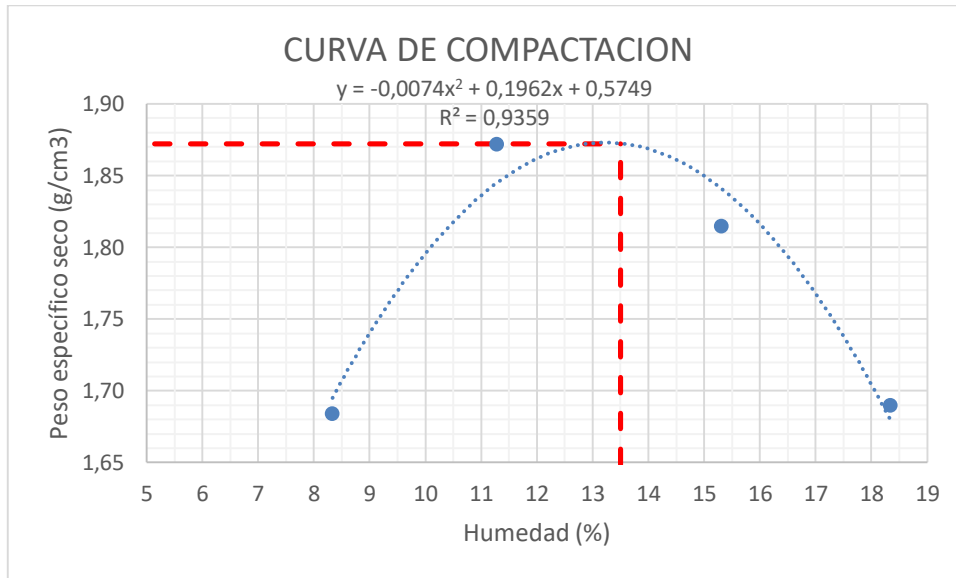


Figura 9 Curva de compactación muestra 2

Fuente: Propia

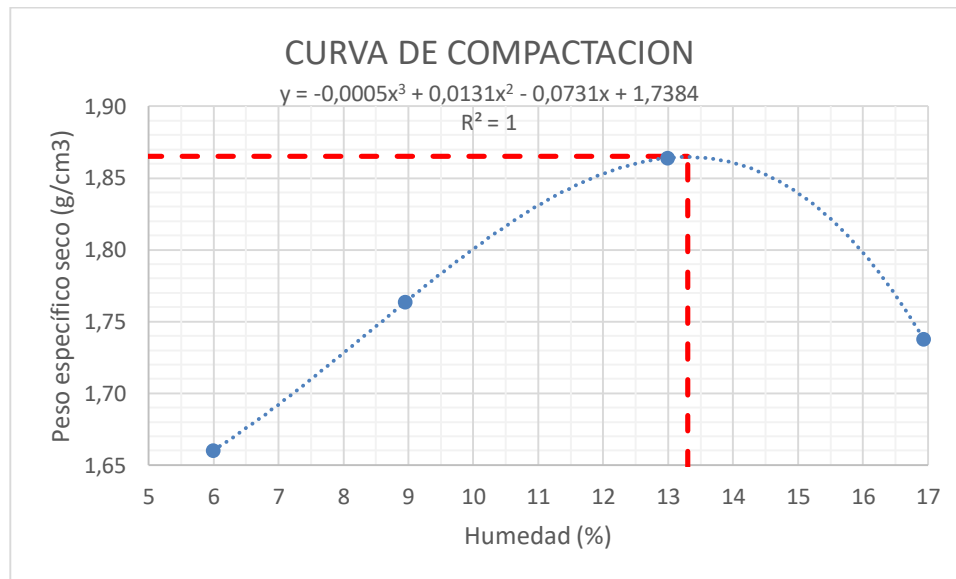


Figura 10 Curva de compactación muestra 3

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se puede observar un resumen de los pesos específicos máximos y de la humedad óptima obtenida en cada ensayo.

ENSAYO #	1	2	3	PROMEDIO
$w_{opt}$	13,80	13,50	13,30	13,53
$\gamma_{d_{max}}$	1,83	1,87	1,87	1,86

Tabla 6 Resumen de los ensayos de Proctor

Fuente: Propia

### 9.3 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Para dimensionar el muro de contención se realizaron ensayos de corte directo con muestras obtenidas con la humedad óptima en moldes del ensayo Proctor modificado. De estos ensayos se obtuvieron los parámetros requeridos para el dimensionamiento del modelo a escala. El muro se diseñó para que tuviera una estabilidad al volteo mucho mayor que al de deslizamiento.

En la tabla 8 se muestran los valores de los esfuerzos normales, los esfuerzos cortantes en la falla de cada muestra, y el ángulo de fricción estimado en los ensayos, así como también los valores promedios de dichos parámetros. Estos resultados se usaron en el dimensionamiento del muro de contención a escala.

Tabla 7 Resumen ensayos de corte Directo.

ENSAYO 1	$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\Theta$ Angulo de fricción interna	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD
1	0	1.06	28.17	18.82	14.44
	0,5	1.35			
	1	1.58			
	2	2.14			
2	0	0.51	32.12	19.48	14.33
	0,5	0.83			
	1	1.13			
	2	1.77			
3	0	0.91	30.35	19.70	14.03
	0,5	1.14			
	1	1.60			
	2	2.05			
PROMEDIO			30.21	19.33	14.26

Fuente. Propia

La figura 11 muestra la envolvente de falla construida con los valores promedio de los esfuerzos cortantes para las muestras compactadas en moldes del ensayo Proctor modificado

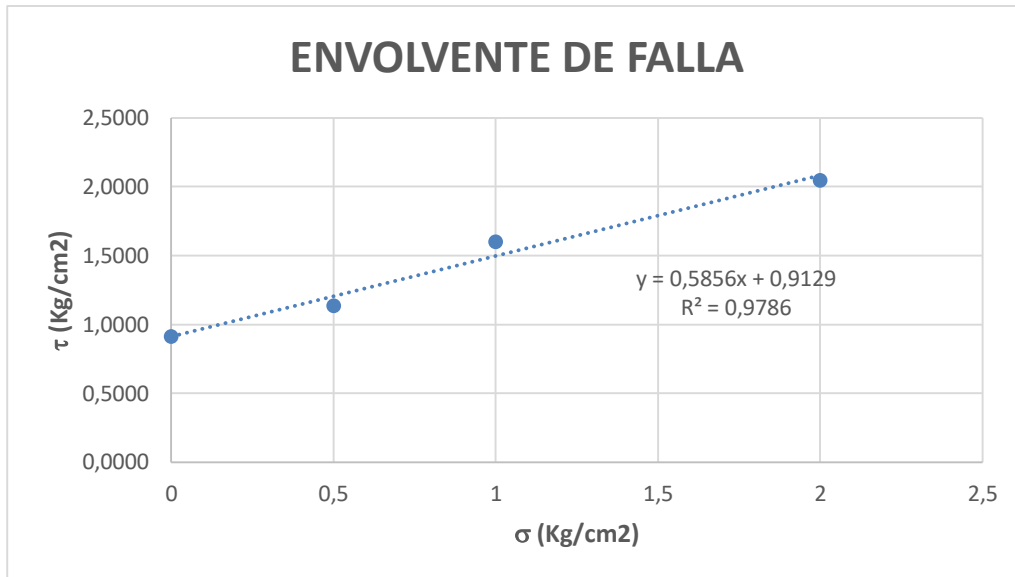


Figura 11 *Envolvente de falla promedio muestras tomadas de moldes tipo Proctor.*

*Fuente: Propia*

Una vez diseñado y construido el muro, se tomaron muestras del suelo de fundación de dicho muro y con ellas se hicieron otros tres ensayos de corte directo, con el fin de ajustar los factores de seguridad correspondientes al muro construido y al suelo compactado.

Todos los ensayos de corte directo se realizaron siguiendo los lineamientos de la norma (INV-E-154 – 2013).

La tabla 9 muestra los esfuerzos normales, los esfuerzos cortantes, el ángulo de fricción interna, la densidad y la humedad obtenidos en los tres ensayos de corte directo que se realizaron sobre muestras tomadas del suelo de fundación del modelo a escala, así como también los valores promedio de dichos parámetros .

ENSAYO 1	$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\Theta$ Angulo de fricción interna	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>HUMEDAD</b>
1	0	0,11	40,72	16,22	14,61
	0,5	0,52			
	1	1,01			
	2	1,82			
2	0	0,32	32,57	17,15	14,64
	0,5	0,61			
	1	1,00			
	2	1,58			
3	0	0,46	16,85	15,69	14,74
	0,5	0,56			
	1	0,84			
	2	1,04			
<b>PROMEDIO</b>			30,05	16,36	14,66

Tabla 8 Resumen ensayos de corte directo (muestras tomadas del suelo de fundación).

Fuente. Propia

La figura 12 muestra la envolvente de falla construida con los valores promedio de los esfuerzos obtenidos en los tres ensayos realizados después de compactado el suelo de fundación del muro.

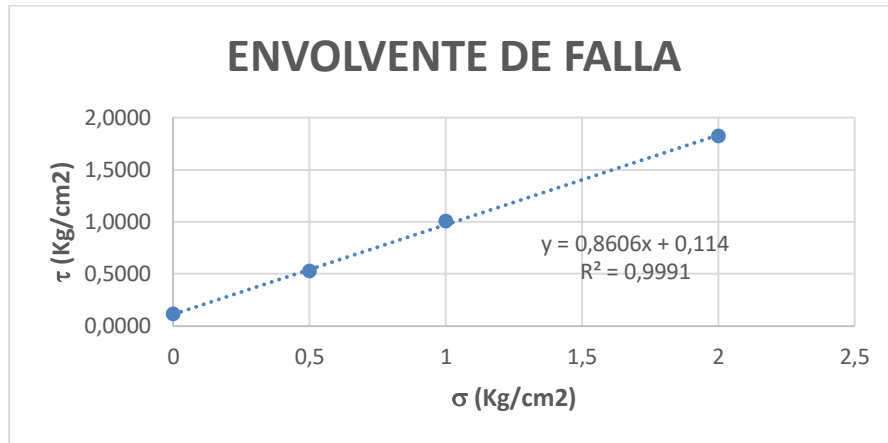


Figura 12 Envolvente de falla promedio para la máquina digital.

Fuente: Propia

#### 9.4 ENSAYOS EN EL MURO DE REACCIÓN.

En la tabla 10 se presentan los valores de la fuerza horizontal máxima obtenida en cada uno de los 14 ensayos que se realizaron sobre el muro de contención a escala.

ENSAYO	CARGA MÁXIMA [KN]
1	11.1
2	12
3	10.6
4	10.6
5	10.7
6	11
7	11.1
8	11.3
9	11.4
10	11.2



<b>11</b>	<b>11.3</b>
<b>12</b>	<b>11.1</b>
<b>13</b>	<b>11</b>
<b>14</b>	<b>11</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>11.1</b>
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>	<b>0.36</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>3%</b>

Tabla 9 Ensayo muro de reacciones

Fuente: *Propia*

En la tabla 10 se observa que los valores de las fuerzas horizontales que hicieron fallar por deslizamiento al modelo a escala están comprendidas entre 10,6 y 12 kN con un valor promedio de 11,1 kN, una desviación estándar de 0,36 kN y un coeficiente de variación de 3%.

## 9.5 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN A ESCALA.

### 9.5.1 DIMENSIONAMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN A ESCALA.

Una vez caracterizada la arena de la quebrada Zapamanga por medio de los ensayos de granulometría, Proctor y corte directo se realizó el dimensionamiento del modelo a escala según el siguiente procedimiento:

-Con los valores del peso específico y el ángulo de fricción interna obtenidos en muestras recuperadas de moldes Proctor, se calcularon las fuerzas verticales y horizontales por medio del método de Rankine para diferentes dimensiones del muro a escala. La tabla 11 muestra los resultados de los ensayos de corte directo usados para escoger las dimensiones del muro.

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO				
Ensayo	1	2	3	PROMEDIO
$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	18.82	19.48	19.70	19.33
Humedad %	14.44	14.33	14.03	14.26
$\Theta$ Angulo de fricción interna	28.37	32.12	30.35	30.21

Tabla 10 Resultados para dimensionamiento del muro.

Fuente: Propia

-Para calcular la fuerza horizontal resistente debida a la fricción (fuerza de rozamiento) es necesario definir el valor del ángulo de fricción suelo-muro ( $\delta$ ). Para el dimensionamiento del muro se tomaron las dos terceras partes del ángulo de fricción interna como valor de  $\delta$  (tal como lo sugiere Terzaghi).

-Por último, se dimensionaron varios muros con la ayuda de una hoja electrónica usando la teoría de Rankine y buscando siempre tener una estabilidad al volteo mucho mayor que al deslizamiento, de tal forma que el muro seleccionado no fallara estructuralmente para poder usarlo varias veces. La figura 13 muestra las dimensiones del muro construido.

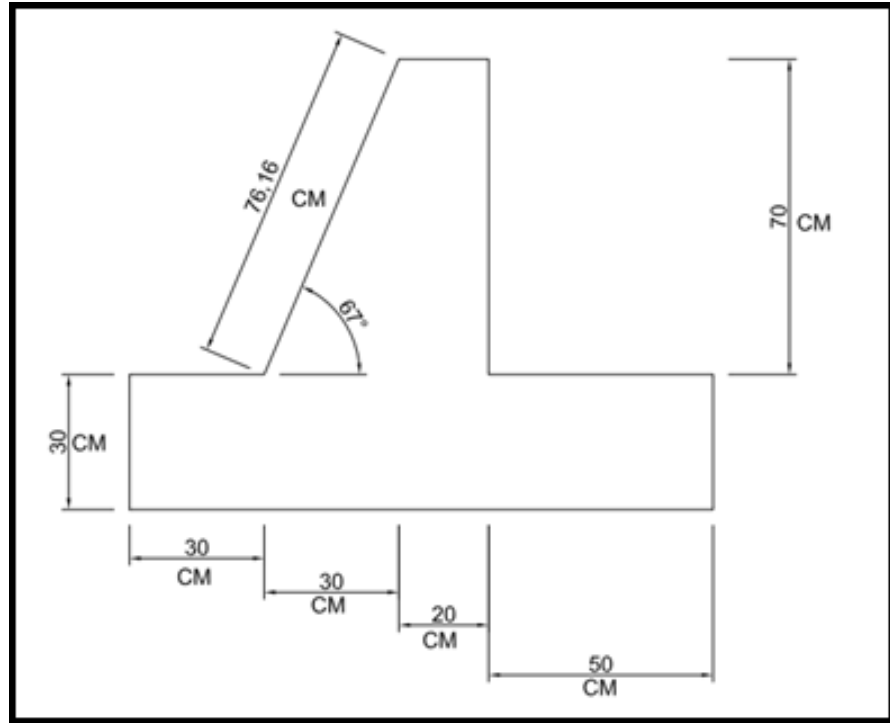


Figura 13 Dimensiones

Fuente: Propia

## 9.5.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN A ESCALA.

El momento aplicado sobre el muro de contención a escala se calculó mediante la ecuación 13, para realizar el diseño de éste.

$$M_u = P * h$$

Ecuación 9 *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

$$P = 8.11 \text{ kN}$$

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

$$M_u = 8.11 \times 0.33$$

$$M_u = 2.68 \text{ kN .m}$$

A partir del término k se procedió a calcular la cuantía de la siguiente manera:

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

Ecuación 10 *Cuantía.*

Donde

$\phi$ : Factor de reducción de resistencia

b: Ancho del muro

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

$$\phi = 0.9$$

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

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

$$K = \frac{2.68}{0.9 * 1.0 * 0.415^2}$$

$$K = 17.3 \text{ Kpa}$$

Se calcula la cuantía requerida

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

Ecuación 11 *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 formula cuadrática y se halla

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

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

$$0.59 \frac{420^2}{21} \rho^2 - 420 \rho + \frac{17.3}{1000} = 0$$

$$\rho = 0.00004$$

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente [NSR-10] (2010), en el título c, capítulo 7 inciso 12.2 contempla que la cuantía mínima debe ser 0.0018. Por lo tanto el área de refuerzo  $A_s$  se calcula con la cuantía mínima requerida por la norma anteriormente mencionada.

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

Ecuación 12 Área de refuerzo.

$$\rho_{min} = 0.0018$$

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

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

$$A_s = 0.0018 * 100 * 41$$

$$A_s = 7.38 \text{ cm}^2$$

El cálculo de refuerzo a tensión se logra mediante la relación entre el área de refuerzo requerida ( $A_s$ ) y el área transversal de la barra ( $A_b$ ), para el caso de este proyecto se seleccionaron barras de acero con diámetro de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

$$Ref = \frac{A_s}{A_b}$$

Ecuación 13 Refuerzo a flexión.

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

$$Ref = \frac{7.38}{1.29}$$

$$Ref = 5.72 \approx 6 \text{ barras}$$

Para la separación entre las barras de acero se descontó el recubrimiento a cada lado del muro a la longitud donde se ubicaron las barras, que para éste proyecto se optó por un recubrimiento de 5 cm.

$$Sep = \frac{L}{Ref-1}$$

Ecuación 14 Separación entre barras de acero.

L (cm): Longitud de repartición

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

$$Sep = \frac{90}{6-1}$$

$$Sep = 18 \text{ cm}$$

Así que, la disposición final del refuerzo a tensión fue:

#4 @ 18 cm

El refuerzo de retracción de fraguado y temperatura se determinaron de la misma manera.

Para la base del muro también se empleó cuantía mínima.

El área de refuerzo requerida  $A_s$  se determinó:

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

b: Ancho de la base del muro

d: Altura de la base del muro

$$\rho_{min} = 0.0018$$

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

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

$$A_s = 0.0018 * 130 * 30$$

$$A_s = 7.02 \text{ cm}^2$$

La alternativa de refuerzo a tensión es calculada mediante la relación área de refuerzo requerida y área transversal de la barra, para este proyecto se asumió como barras de acero de diámetro  $\frac{1}{2}$  pulgada.

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

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

$$\text{Ref} = \frac{7.02}{1.29}$$

$$\text{Ref} = 5.44 \approx 6 \text{ Barras}$$

Para el ancho de la base del muro, se realiza la separación entre barras descontando un recubrimiento de 5 cm.

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

L (cm): Longitud de repartición.

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

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

$$\text{Sep} = 24$$

Por lo tanto, el refuerzo queda:

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

Refuerzo de retracción y fraguado de la base del muro

Calculamos el área de refuerzo longitudinal  $A_s$  como:

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

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

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

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

$$A_s = 0.0018 * 100 * 30$$

$$A_s = 5.4 \text{ cm}^2$$

En este caso también se asumió barras de acero de diámetro  $\frac{1}{2}$  pulgada.

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

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

$$\text{Ref} = \frac{5.4}{1.29}$$

$$\text{Ref} = 4.19 \approx 5 \text{ barras}$$

La separación entre barras se realiza para la profundidad de la base del muro y se resta el recubrimiento, que en éste caso es de 5 cm.

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

L (cm): Longitud de repartición.

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

$$\text{Sep} = \frac{90}{5-1}$$

$$\text{Sep} = 22.5 \approx 23 \text{ cm}$$

El refuerzo queda:

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

Adicionalmente, se construyeron pantallas de concreto reforzado, las cuales tienen la función de contener el suelo y simular condiciones reales de un muro de contención. Éstas se construyeron sobre el talón del muro con un espesor de 7 cm y una cuantía mínima debido a que las cargas generadas son bajas. En las figuras 14 y 15 se observan las pantallas.

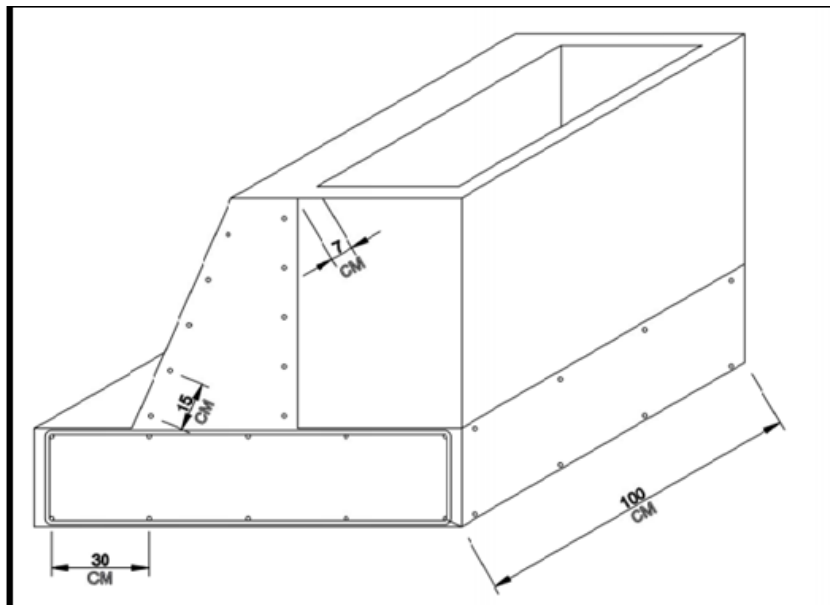


Figura 14 *Modelo a escala.*

*Fuente: Propia.*



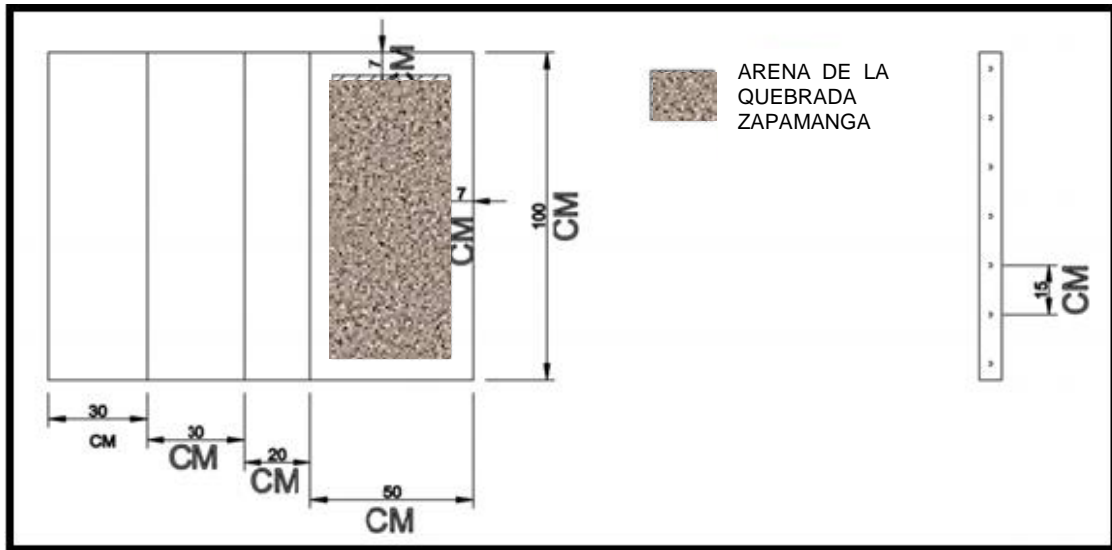


Figura 15 Vista superior del muro a escala.

Fuente: Propia.

### 9.5.3 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MURO DE CONTENCIÓN A ESCALA.

Una vez seleccionadas las dimensiones definitivas del modelo a escala, este se construyó en el laboratorio de estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga de acuerdo con el siguiente procedimiento.

#### •Instalación de Formaleta.

Para la instalación de la formaleta de la base del muro, se utilizaron los módulos existentes en el laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana. Se seleccionó un determinado conjunto de formaletas de tal manera que se lograran obtener las dimensiones requeridas por el diseño del muro de contención a escala.

#### •Figurado de acero estructural.

Para el armado del acero estructural se cortaron y figuraron 14 barras de acero de  $\frac{1}{2}$  pulgada con una longitud de 6 metros, cada una de las cuales se utilizaron en el armado del acero de la base del muro, la escarpa y las pantallas que confinan al suelo de relleno. En la figura 16 se muestra el armado completo del muro de contención.



Figura 16 Armado acero estructural

Fuente: Propia

•Fundida de la base del muro.

Una vez armada la totalidad del refuerzo del muro se procedió a fundir la base del mismo. El concreto utilizado fue de 3000 PSI y una vez culminado el vaciado del mismo en la base, se tomaron muestras para realizar ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días de acuerdo con la norma INV E-402-13. Las figuras 17 y 18 muestran la fundida de la base.



Figura 17 *Encofrado y fundición de la base del muro*

*Fuente: Propia*



Figura 18 *Fundición y fraguado de base de muro.*

*Fuente: Propia.*

- **Encofrado y fundida de la escarpa del muro**

Luego del curado de la base del muro de contención, se instalaron las formaletas superiores para el vaciado de la escarpa y paredes de confinamiento del relleno, vale la pena anotar que para el vaciado de las paredes de confinamiento fue necesaria la adecuación de tablas de madera. Así mismo, también fue necesario utilizar un vibrador de concreto para evitar la segregación de los agregados tal como se muestra en la figura 19.



Figura 19 *Encofrado y fundida de la escarpa del muro.*

*Fuente. Propia*

### •Compactación de suelo de fundación y relleno

Finalmente se procedió a compactar el suelo de fundación del muro y el relleno detrás de él. Para esto se adecuo un cajón de 1.20 m. por 1.80 m con un espesor aproximado de 1.05 m, la compactación se realizó en tres capas de 35 cm utilizando la humedad óptima con la ayuda de un pisón de madera. Una vez compactado el suelo de fundación se tomaron muestras para realizar el ensayo de corte directo nuevamente y rectificar los factores de seguridad y calcular el ángulo de fricción suelo-muro. Este proceso se puede apreciar en la figura 20



Figura 20 Compactación de suelo de fundación

Fuente. Propia

### 9.6 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

En la etapa de fundida del muro de contención, se tomaron muestras de la mezcla para determinar la evolución de la resistencia en el tiempo. En total se elaboraron 9 muestras cilíndricas, las cuales fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
DÍAS	MUESTRAS	RESISTENCIA		
		MPA	PSI	%
7	1	12.18	1766.56	58
	2	12.81	1857.64	61

	3	11.34	1644.73	54
14	1	17.85	2588.93	85
	2	18.06	2619.39	86
	3	16.38	2375.72	78
28	1	19.11	2771.69	90
	2	19.53	2803.58	93
	3	18.9	2741.22	90

Tabla 11 Resistencia a la compresión del concreto

Fuente. Propia

## 9.7 ENSAYO A LA TRACCIÓN DEL ACERO.

Se realizó una prueba de resistencia a la tracción al acero, que en el caso de éste trabajo de grado fue acero A36. Se tomó una muestra del refuerzo con las dimensiones necesarias para poder realizar el ensayo en la máquina universal. El resultado de la prueba se muestra en la gráfica 21.

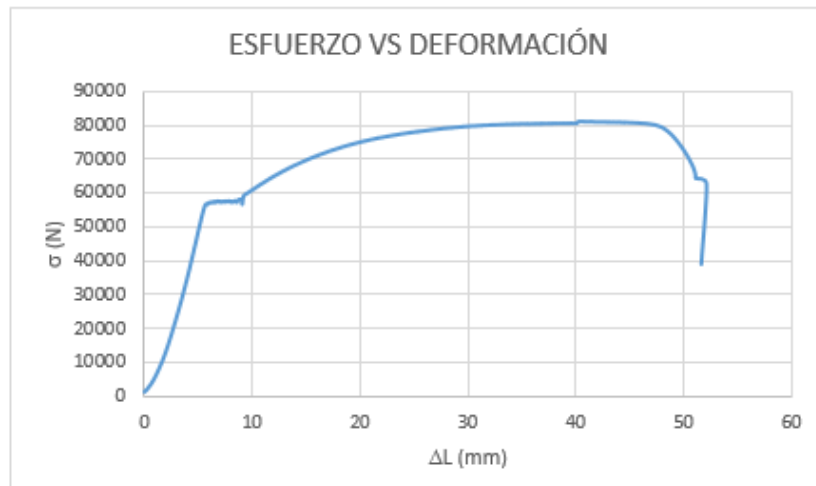


Figura 21 Esfuerzo vs deformación del acero A36

Fuente. Propia.

## 10 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 10.1 CLASIFICACION DEL SUELO

Para clasificar un suelo se requiere conocer la distribución del tamaño de las partículas que lo conforman, así como también la plasticidad de su fracción más fina. Para el presente trabajo de grado se realizaron tres ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No 200, la tabla 13 muestra el contenido de gravas, arenas y finos. En dicha tabla también se muestra un resumen de las características de gradación obtenidas de las curvas granulométricas.

<b>ENSAYO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>
%GRAVAS	0,84	0,75	0,53	<b>0,71</b>
%ARENAS	89,59	90,43	91,59	<b>90,54</b>
%FINOS	9,57	8,82	7,88	<b>8,76</b>
(mm)D <sub>60</sub>	0,55	0,61	0,61	<b>0,59</b>
(mm)D <sub>30</sub>	0,22	0,24	0,25	<b>0,24</b>
(mm)D <sub>10</sub>	0,08	0,09	0,10	<b>0,09</b>
Cu	7,05	7,01	6,10	<b>6,72</b>
Cc	1,13	1,09	1,02	<b>1,08</b>

Tabla 12 Promedio de resultados granulométrías

Fuente: Propia

El suelo estudiado corresponde a un suelo grueso ya que más de la mitad de la muestra no paso por el tamiz No 200, es decir este corresponde a una grava o a una arena. Teniendo en cuenta que más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el tamiz No 4, el material corresponde a una arena.

Como la arena ensayada tiene un contenido de finos promedio del 8,76%, es decir entre el 5 y el 12 %, es necesario juzgar tanto su gradación como también la plasticidad de su fracción fina. Como el coeficiente de uniformidad es superior a 6 (6,72) y el coeficiente de curvatura esta entre 1 y 3 (1,08), la arena es bien gradada, es decir existe una gran variedad de tamaños de partículas.

Para juzgar la plasticidad del material, es necesario realizar los ensayos de límites de plasticidad sobre la fracción que pasa por la malla No 40. Se intentaron hacer los ensayos de límite líquido y límite plástico pero debido a la plasticidad nula, esto no fue posible, es decir los límites de Atterberg son cero, por lo tanto el nombre del material usado en este proyecto de grado corresponde a una arena limosa bien gradada (SW-SM)

## 10.2 ENSAYOS DE COMPACTACION

Una vez clasificado el material objeto de estudio en el presente trabajo de grado, se procedió a realizar tres ensayos de compactación tipo Proctor modificado con el fin de obtener su humedad óptima y su peso específico seco máximo. Estos tres ensayos se hicieron siguiendo los lineamientos de la INV-E-142-13.

La humedad óptima promedio de los tres ensayos realizados fue del 13,53% y el peso específico seco máximo promedio fue de 1,86 g/cm<sup>3</sup>. Estos parámetros se utilizaron para:

- Preparar muestras en los moldes del ensayo Proctor modificado y con ellas realizar ensayos de corte directo para obtener los parámetros de resistencia del material y con ellos dimensionar el muro a escala.
- Compactar el suelo de fundación sobre el cual se desplató el muro y el relleno detrás de él.

## 10.3 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

En total se realizaron seis ensayos de corte directo, tres de los cuales se hicieron sobre muestras compactadas con la humedad óptima en moldes del ensayo Proctor modificado, con el fin de dimensionar el muro a escala y los otros tres ensayos se realizaron sobre muestras tomadas del suelo de fundación compactado con la humedad óptima en el momento de las pruebas sobre el modelo a escala. La tabla 14 muestra las propiedades físicas obtenidas en los seis ensayos

	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\Theta$	Humedad (%)
Moldes Proctor	19,33	30,21	14,26
Suelo de fundación	16,36	30,05	14,66

**Tabla 13** Promedio de los resultados de ensayos cortes directos

Fuente: Propia

En la tabla anterior puede observarse que tanto en los ensayos de corte directo realizados sobre muestras tomadas del suelo de fundación y de moldes tipo Proctor, la humedad de compactación es prácticamente la misma (cerca a la óptima), esta situación desde un comienzo era deseable ya que se buscaba obtener las mismas condiciones tanto en el diseño como en la construcción del modelo.

El peso específico seco máximo promedio fue menor en las muestras que se tomaron del suelo de fundación con respecto al obtenido en aquellas que se tomaron de moldes tipo Proctor, esto no es extraño ya que el suelo de fundación fue compactado con una energía menor debido a que se utilizó como única herramienta un pisón de madera.

En la tabla 14 también puede observarse que el ángulo de fricción interna obtenido en las muestras del suelo de fundación es ligeramente menor que el obtenido de las muestras de los moldes tipo Proctor. Con respecto al valor del ángulo de fricción obtenido en todos los ensayos vale la pena mencionar que este es coherente con respecto a los de otras investigaciones similares en las cuales se usaron arenas con menos contenido de finos, ya que en dichos materiales el ángulo de fricción fue mayor, es decir que para materiales granulares entre mayor sea el contenido de finos, menor será el ángulo de fricción interna.

#### 10.4 ENSAYOS EN EL MURO A ESCALA

En los catorce ensayos realizados sobre el modelo a escala con la ayuda del muro de reacción se obtuvo para cada uno de ellos la fuerza horizontal que produjo el deslizamiento. Una vez conocido el empuje horizontal, por medio de la ecuación 19 se estima el valor del ángulo de fricción suelo-muro, el cual corresponde a K veces el ángulo de fricción interna

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

Ecuación 15 Ángulo de fricción suelo-muro

Donde:

$C_a$ : Fuerza que produce la falla por deslizamiento del muro.

N: Suma de fuerzas verticales.



ENSAYOS	CARGA MAX [Kn]	$\delta$	$\theta$	K
1	11,1	27,66	30,05	0,92
2	12	29,53	30,05	0,98
3	10,6	26,59	30,05	0,88
4	10,6	26,59	30,05	0,88
5	10,7	26,80	30,05	0,89
6	11	27,45	30,05	0,91
7	11,1	27,66	30,05	0,92
8	11,3	28,08	30,05	0,93
9	11,4	28,29	30,05	0,94
10	11,2	27,87	30,05	0,93
11	11,3	28,08	30,05	0,93
12	11,1	27,66	30,05	0,92
13	11	27,45	30,05	0,91
14	11	27,45	30,05	0,91
PROMEDIO	11,1	27,7	30,05	0,92
DES. ESTANDAR	0,36	0,76	0,00	0,03
COEF. VARIACIÓN	3%	3%	0%	3%

Tabla 14 Resultados obtenidos sobre el muro para determinar el parametro k. (ensayos de Empuje).

Fuente: propia

El parámetro K corresponde a la relación entre el ángulo de fricción suelo – muro y el ángulo de fricción interna del suelo. En el caso de la arena de la quebrada Zapamanga, el parámetro K está por fuera de lo sugerido por Terzaghi. Los valores de K obtenidos en el presente trabajo de grado están comprendidos entre el 88% y 94% de  $\phi$ . La tabla 15 muestra las fuerzas horizontales máximas y los valores de K calculados a partir de ellas para cada una de las pruebas realizadas.

A pesar de haberse obtenido un rango de valores de K diferente al de Terzaghi, este es similar al de otros trabajos de investigación, como por ejemplo los realizados por: Ginna Ibonne Montoya Suarez en la Universidad Pontificia Javeriana de Bogotá o Dwerly Armesto Duarte, Yeiser Nicolas Pinto de Luquéz, Juan José Parra Gómez y Zamid Taján Melón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga.

## **10.5 COMPARACION DEL EMPUJE ACTIVO TEORICO Y EXPERIMENTAL**

### **10.5.1 Calculo del empuje activo teórico**

Para calcular el empuje activo con el cual teóricamente debió fallar por deslizamiento el modelo a escala, se utilizaron las propiedades físicas del suelo de fundación sobre el cual este se desplantó ( $\gamma=16,36 \text{ kN/m}^3$  y  $\phi=30.05^\circ$ ), para ello se utilizó el método de Rankine y se tomó como ángulo de fricción suelo-muro ( $\delta$ ) las dos terceras partes del ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).

Según lo expuesto atrás, el modelo debió haber fallado por deslizamiento con una fuerza horizontal de 7,83 kN y en ese momento el factor de seguridad por volteo debería ser de 6,24, lo cual garantiza no solamente la estabilidad al volcamiento sino también su integridad estructural.

### **10.5.2 Calculo del empuje activo real**

Como ya se mencionó atrás la fuerza horizontal máxima promedio con la cual el modelo a escala falló por deslizamiento fue de 11,1 kN, con esta fuerza y con las propiedades físicas del suelo de fundación se obtuvo un valor promedio de k de 0,92 y así mismo se estableció que en el momento de la falla, el factor de seguridad por volteo era de 4,40.

Estos resultados permiten pensar que los valores de k sugeridos por Terzaghi son conservadores, esto se fundamenta en que para el suelo estudiado, la fuerza horizontal que realmente produjo la falla fue 3,27 kN superior a la estimada inicialmente suponiendo un ángulo de fricción suelo-muro igual a las dos terceras partes del ángulo de fricción interna.

## 11 CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo con los resultados de los ensayos de granulometría se pudo establecer que el suelo estudiado en el presente trabajo de grado corresponde según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos a una arena limosa bien gradada (SW-SM). Desde un comienzo se buscó trabajar con un material granular con un contenido de finos bajo, de tal manera que la única fuerza que contrarrestara el deslizamiento correspondiera a la fuerza de rozamiento.
- ✓ Los parámetros geotécnicos requeridos para el dimensionamiento de un muro de contención desplantado sobre un material granular son el ángulo de fricción interna y la densidad de dicho material. Mediante ensayos Proctor modificado se determinó que la humedad óptima de la arena estudiada es de 13.53 % y el peso específico seco máximo es de 1.86 g/cm<sup>3</sup>. Para obtener el ángulo de fricción interna y la densidad del material compactado con la humedad óptima, las muestras con las cuales se realizaron los ensayos de corte directo se prepararon con dicho contenido de agua, utilizando la energía y moldes del ensayo Proctor modificado. Los ensayos de corte directo arrojaron un ángulo de fricción interna de 30.21° y un peso específico 19.33 kN/m<sup>3</sup>. Con estos parámetros se dimensionó el muro de contención de tal manera que el factor de seguridad al volteo fuera mucho mayor que el de deslizamiento, para que el muro fallara deslizándose y no sufriera daños estructurales en un eventual volcamiento del mismo y pudiera usarse varias veces.
- ✓ Dado que la energía de compactación suministrada al suelo de fundación sobre el cual se apoyó el modelo a escala fue menor a la de las muestras del ensayo de corte directo con las cuales inicialmente se dimensionó el muro, fue necesario recalcular el empuje activo teórico con el cual debería haber fallado el muro. Por esta razón se tomaron muestras del suelo de fundación en el momento de realizar las pruebas sobre el modelo a escala y con ellas se realizaron nuevamente ensayos de corte directo que en promedio arrojaron un ángulo de fricción interna de 30.05° y un densidad de 16.36 kN/m<sup>3</sup>. Con estos parámetros el empuje activo teórico cambió de 8.11 kN a 7.83 kN. Finalmente después de este ajuste se calculó el ángulo de fricción suelo-muro.
  - 1
- ✓ Con los valores del ángulo de fricción interna y la densidad obtenidos en las pruebas de corte directo realizadas sobre muestras recuperadas del suelo de fundación se recalculó el empuje activo con el cual debería fallar por deslizamiento el muro a escala (7,83 kN), para ello se utilizó la teoría de Rankine usando como ángulo de fricción suelo-muro un 67% del valor del ángulo de fricción interna. La fuerza horizontal que en promedio hizo fallar por deslizamiento al modelo fue de 11.1 kN, es decir 3.27 kN mayor a la teórica. De esto se puede concluir que el rango de valores de  $\delta$  sugerido por Terzaghi es conservador.

- ✓ El parámetro K definido como la relación entre ángulo de fricción suelo – muro y el ángulo de fricción interna de la arena obtenido en el presente trabajo de grado varió entre 0.88 y 0.94, vale la pena recordar que la arena estudiada tenía un contenido de finos del 8.76%. En un trabajo de grado similar realizado por los estudiantes de la UPB seccional Bucaramanga JUAN JOSÉ PARRA GÓMEZ y ZAMID TAJAN MELON se obtuvo un valor de K entre 0.82 y 0.83, el contenido de finos de la arena estudiada por los estudiantes PARRA y TAJAN es del 4.79%. En otro trabajo de grado realizado por los estudiantes de la UPB seccional Bucaramanga DWERLYS ARMESTO DUARTE y YEISER NICOLAS PINTO DE LUQUEZ se encontró que el valor de K variaba entre 0.76 y 0.83 para una arena con un contenido de finos de 1.93%. De lo anterior se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de finos de la arena, el rango de variación de K se aleja del propuesto por Terzaghi.
  
- ✓ Uno de los objetivos principales del presente trabajo de grado era diseñar un muro que al fallar por deslizamiento, tuviese un factor de seguridad por volteo alto. Inicialmente se hizo un dimensionamiento con las propiedades físicas de la arena estudiada obtenidas en pruebas de corte directo sobre muestras compactadas con la humedad óptima en moldes del ensayo Proctor, con estos parámetros se estableció que en el momento de la falla por deslizamiento el factor de seguridad por volteo sería de 6.24; sin embargo como la compactación del suelo de fundación sobre el cual se desplantó el modelo a escala se realizó con un pisón de madera, suministrando una energía menor, fue necesario recalcular los parámetros físicos por medio de muestras tomadas in situ. A partir de dichos parámetros ajustados se estimó que en el momento de la falla por deslizamiento, el factor de seguridad por volteo fue de 4.40. Es decir que mientras el muro fallaba por deslizamiento, este estuvo lejos de voltearse y sufrir daños estructurales, lo cual permitió realizar varias pruebas.

## 12 RECOMENDACIONES

- ✓ Para futuros trabajos de grado similares, se recomienda la utilización de otro tipo de suelo de fundación y relleno diferente al del presente trabajo (por ejemplo, suelos arcillosos o limosos), de esta manera podrá tenerse en cuenta el parámetro de cohesión en el cálculo del ángulo de fricción suelo – muro
- ✓ Para una mayor eficiencia en la compactación se sugiere que en próximos trabajos de grado similares, tanto el suelo de fundación, así como también el relleno, sean compactados con vibro compactadores mecánicos en lugar de un pisón de madera.
- ✓ Para calcular la fuerza con la cual fallará por deslizamiento el muro de contención, se recomienda estimar la densidad del concreto con el cual se va a construir el muro y tener en cuenta este valor al usar la teoría de Rankine, ya que dicha densidad es uno de los parámetros de cálculo.
- ✓ Otro de los factores que influye en el cálculo del empuje activo y de los factores de seguridad de un muro es la geometría de este, por tal motivo se sugiere que para futuras investigaciones, se modifique dicha geometría (por ejemplo considerar muros de espalda inclinada).
- ✓ Con el fin de obtener una distribución uniforme de la energía sobre el material compactado en moldes del ensayo Proctor modificado, es recomendable hacerlo usando las máquinas de compactación del laboratorio de suelos y geotecnia.

### 3. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Badillo Juárez E., (2000), *Mecánica de Suelos*. Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos, México, DF: Limusa, S.A
- ✓ Berry Peter L. (1993). *Mecánica de Suelos*, Santafé de Bogotá, Colombia. Editorial McGraw-Hill
- ✓ Bowles Joseph E. (1978), *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*, Bogotá, Colombia, McGraw Hill
- ✓ Calavera, Jose, (2001), *Muros de contención y Muros de sótano*, Madrid, Intemac
- ✓ Crespo Villalaz, Carlos, (1990), *Mecánica de suelos y Cimentaciones*, México, Limusa.
- ✓ Das, Braja M, (2015), *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, Mexico, Cengage Larning.
- ✓ Estupiñan Baez, Erika Lizeth Sánchez Hernández, María Del Pilar, (2016), *Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre arena arcillosa*, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.
- ✓ Hermsen T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*, Perú, Lima. Pontifica Católica del Perú.
- ✓ NV-E-123 – 2013, INV-E-142 – 2013, INV-E-154 – 2013, INV-E-154 – 2013, INV E-402-07.
- ✓ Ishibashi, Isao Hazarika, Hemanta, (2015), *Soil mechanics fundamentals and applications*, Boca Raton, crc press.
- ✓ Lambe, T William, (1972), *Mecánica de Suelos*, Mexico, Limusa
- ✓ PINEDA JORGE, COMENARES JULIO (2011). *Peak and residual shear strenght parameters of soft clay-concrete interfaces*. La Salle University, Bogota, Colombia & National University of Colombia, Bogotá, Colombia
- ✓ Solano Soto, Carroll Tatiana, (2014), *Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad*, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.
- ✓ Sowers, George B. (1994), *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*, México, Limusa.

- ✓ Hermsen T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*, Perú, Lima. Pontificia Católica del Perú.
  
- ✓ Vargas Tapia Ruben Rodrigo (2013). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS DE CONTENCIÓN, UTILIZANDO EL MÉTODO MONTE CARLO*, Perú, Lima. Pontificia Católica del Perú.

# **ANEXOS**



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



Ensayo de Granulometría.



Ensayo de compactación Proctor.



Fundida de la base del muro de contención



Fundida del muro.



Compactación del suelo de fundación.



Ensayos sobre el muro de reacciones.



Ensayo de compresión del concreto.



Ensayo a la tracción del acero

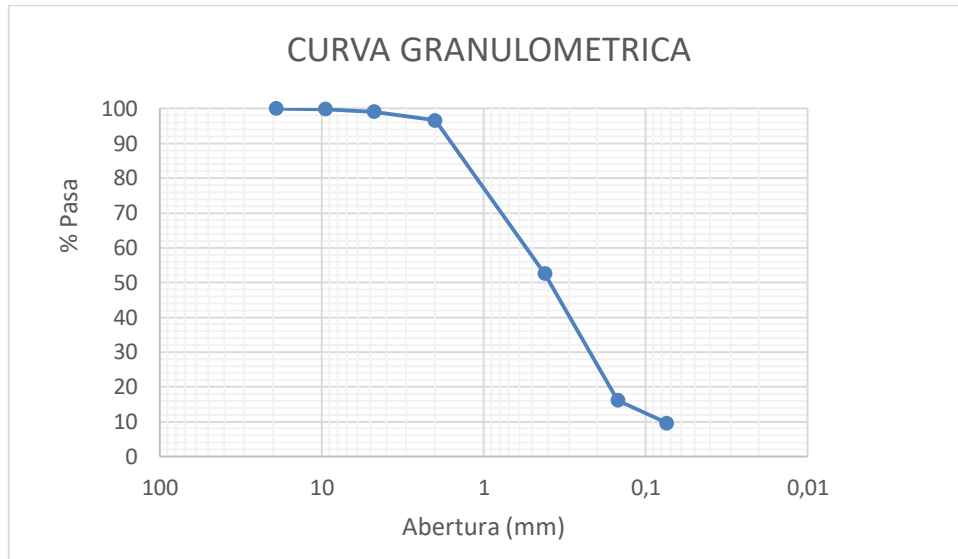
**ANEXO B**

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

## MUESTRA 1

Peso seco antes del lavado (g):	1888,4
Peso seco después del lavado (g):	1712,7

Malla No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	3	0,16	99,84
No 4	4,75	12,8	0,68	99,16
10	2	48,1	2,55	96,62
40	0,42	832,1	44,06	52,55
100	0,149	687,8	36,42	16,13
200	0,074	123,8	6,56	9,57
FONDO	-----	180,8	9,57	0,00
		$\Sigma=$ 1888,4		



Cu=	7,05128205	
Cc=	1,12820513	
GRAVAS:	0,83668714	%
ARENAS:	89,5890701	%
FINOS:	9,57424275	%

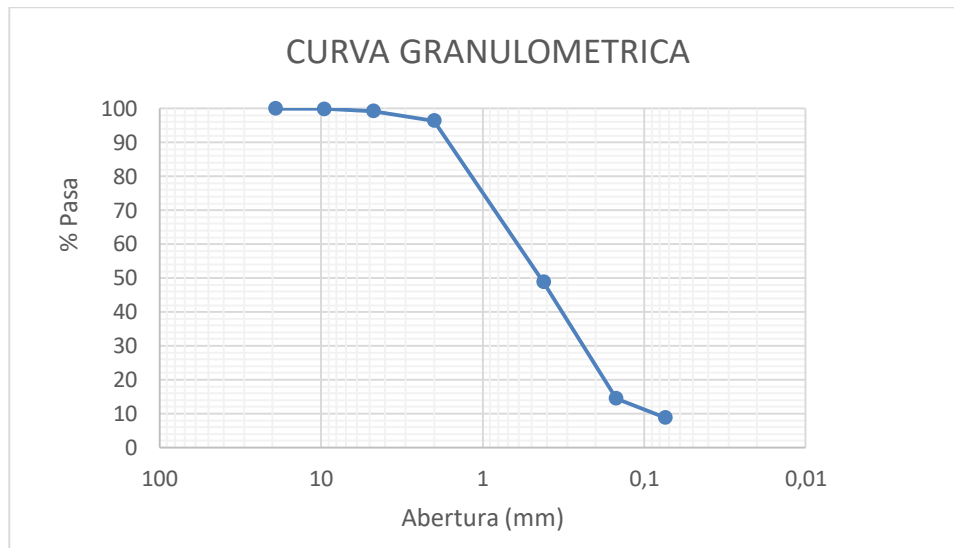
D60=	0,55	mm
D30=	0,22	mm
D10=	0,078	mm

## MUESTRA 2

Peso seco antes del lavado (g):	1877,6
Peso seco después del lavado (g):	1714,1

Malla No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	2,2	0,12	99,88

No 4	4,75	11,9	0,63	99,25
10	2	53,5	2,85	96,40
40	0,42	892,7	47,54	48,85
100	0,149	644,8	34,34	14,51
200	0,074	106,9	5,69	8,82
FONDO	-----	165,6	8,82	0,00
		$\Sigma=$ 1877,6		



Cu=	7,01149425	
Cc=	1,08535896	
GRAVAS:	0,75095867	%
ARENAS:	90,4292714	%
FINOS:	8,81976992	%

D60=	0,61	mm
D30=	0,24	mm
D10=	0,087	mm

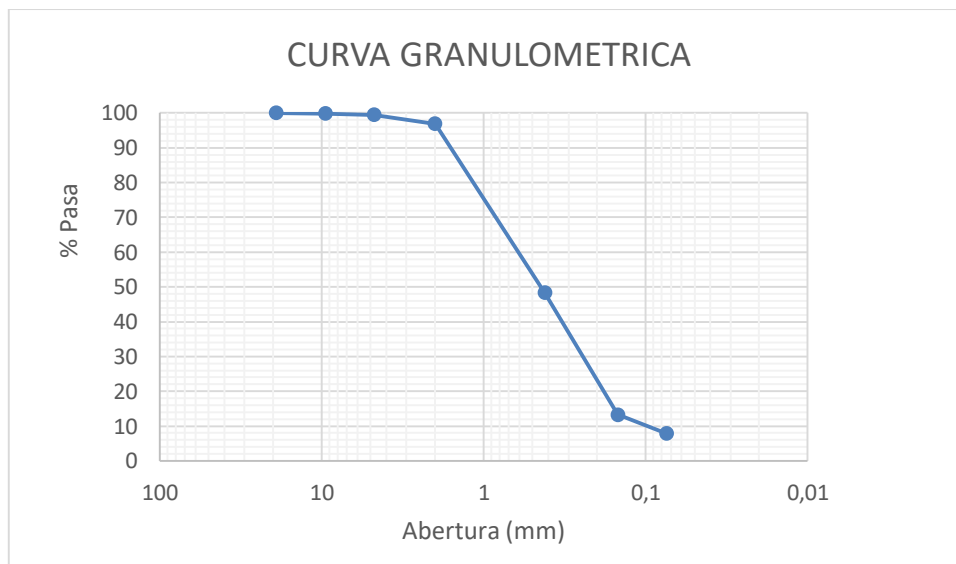
### MUESTRA 3

Peso seco antes del lavado (g):	1879,8
---------------------------------	--------



Peso seco después del lavado (g): 1732,8

Malla No	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/4"	19,05	0	0,00	100
3/8"	9,52	2,8	0,15	99,85
No 4	4,75	7,2	0,38	99,47
10	2	47,4	2,52	96,95
40	0,42	914,1	48,63	48,32
100	0,149	659,3	35,07	13,25
200	0,074	100,9	5,37	7,88
FONDO	-----	148,1	7,88	0,00
		$\Sigma=$	1879,8	



Cu=	6,1
Cc=	1,02459016
GRAVAS:	0,53197149 %
ARENAS:	91,5895308 %
FINOS:	7,87849771 %

D60=	0,61	mm
D30=	0,25	mm
D10=	0,1	mm

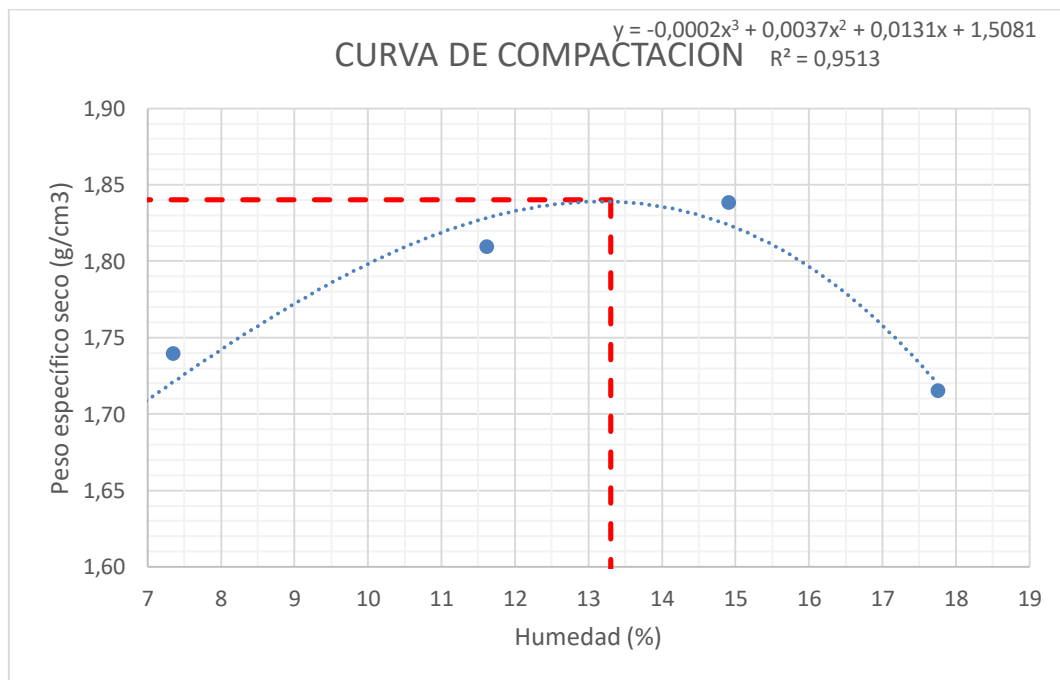
# **ANEXO C**

## **ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.**

## MUESTRA 1

Diámetro molde (cm)=	15,33
Altura molde (cm)=	11,73
Peso molde (g)=	5840
Volumen molde (cm <sup>3</sup> )=	2163,51

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	9640	9880	10210	10410	10210
Peso molde (g)	5840	5840	5840	5840	5840
Peso suelo húmedo (g)	3800	4040	4370	4570	4370
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1,76	1,87	2,02	2,11	2,02
HUMEDAD					
Capsula No	20	21	23	25	8
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	50,39	58,54	61,96	48,16	44,97
Peso cápsula + suelo seco (g)	48	55	56,2	42,8	39,5
Peso cápsula (g)	7,09	6,85	6,62	6,85	8,69
Peso agua (g)	2,39	3,54	5,76	5,36	5,47
Peso suelo seco (g)	40,91	48,15	49,58	35,95	30,81
Humedad (%)	5,84	7,35	11,62	14,91	17,75
PESO ESPECÍFICO SECO					
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,66	1,74	1,81	1,84	1,72

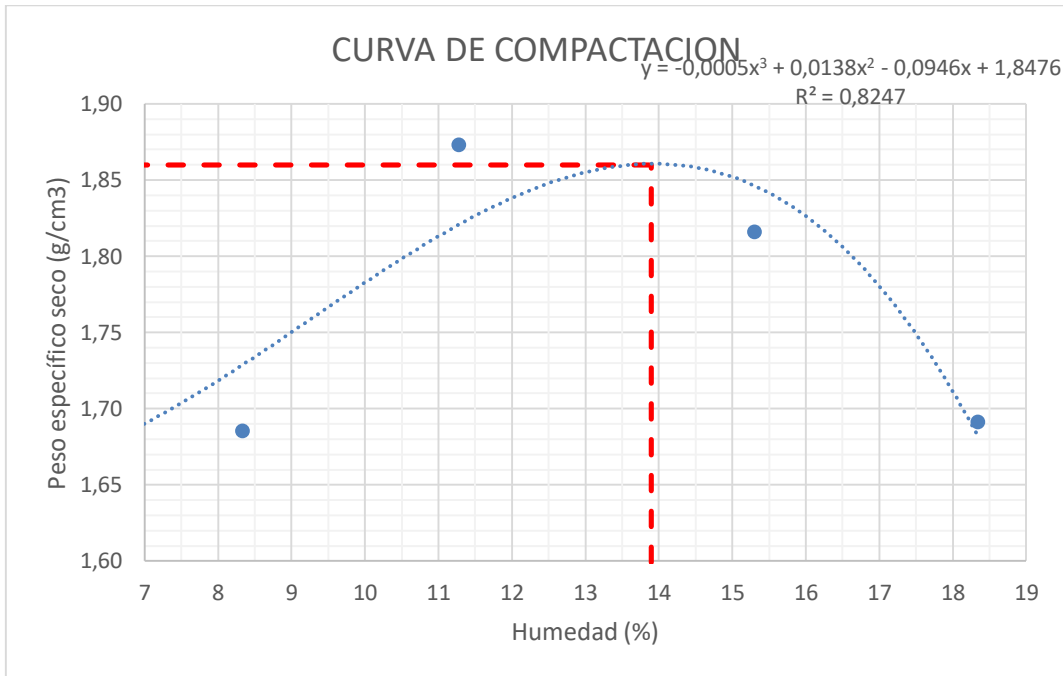


$w_{opt} =$	13,3	%
$\gamma d_{max} =$	1,84	$g/cm^3$

## MUESTRA 2

Diámetro molde (cm)=	15,33
Altura molde (cm)=	11,73
Peso molde (g)=	5840
Volumen molde ( $cm^3$ )=	2163,51

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	9660	9790	10350	10370	10170
Peso molde (g)	5840	5840	5840	5840	5840
Peso suelo húmedo (g)	3820	3950	4510	4530	4330
Peso específico húmedo ( $g/cm^3$ )	1,77	1,83	2,08	2,09	2,00
HUMEDAD					
Capsula No	20	21	23	25	8
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	99,25	80,57	93,21	75,54	93,76
Peso cápsula + suelo seco (g)	95,5	76	86,5	68,3	82,5
Peso cápsula (g)	27,27	21,16	27,03	20,99	21,11
Peso agua (g)	3,75	4,57	6,71	7,24	11,26
Peso suelo seco (g)	68,23	54,84	59,47	47,31	61,39
Humedad (%)	5,50	8,33	11,28	15,30	18,34
PESO ESPECÍFICO SECO					
Peso específico seco ( $g/cm^3$ )	1,67	1,69	1,87	1,82	1,69

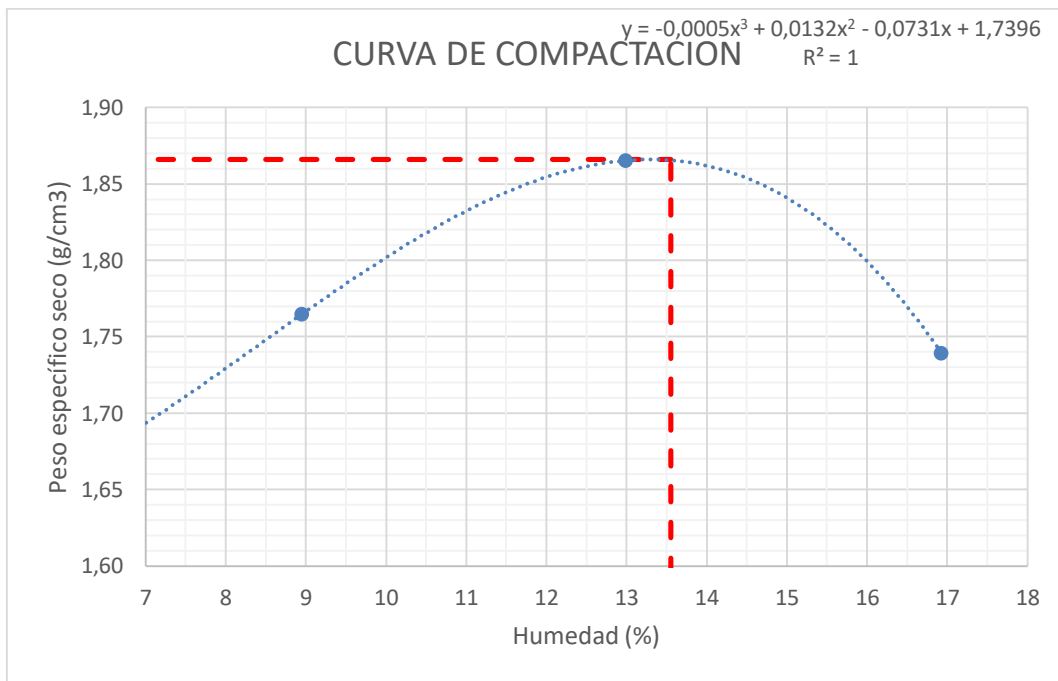


$w_{opt} =$	13,9	%
$\gamma_{d_{max}} =$	1,86	$g/cm^3$

### MUESTRA 3

Diámetro molde (cm)=	15,33
Altura molde (cm)=	11,73
Peso molde (g)=	5840
Volumen molde (cm³)=	2163,51

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Peso molde + suelo húmedo (g)	9650	10000	10400	10240
Peso molde (g)	5840	5840	5840	5840
Peso suelo húmedo (g)	3810	4160	4560	4400
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1,76	1,92	2,11	2,03
HUMEDAD				
Capsula No	20	21	23	25
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	83,01	91,6	70,15	88,68
Peso cápsula + suelo seco (g)	79,5	86,3	64,5	78,9
Peso cápsula (g)	20,91	27,1	21,01	21,13
Peso agua (g)	3,51	5,3	5,65	9,78
Peso suelo seco (g)	58,59	59,2	43,49	57,77
Humedad (%)	5,99	8,95	12,99	16,93
PESO ESPECÍFICO SECO				
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,66	1,76	1,87	1,74



$w_{opt} =$	13,55	%
$\gamma_{d_{max}} =$	1,866	g/cm <sup>3</sup>

# **ANEXO D**

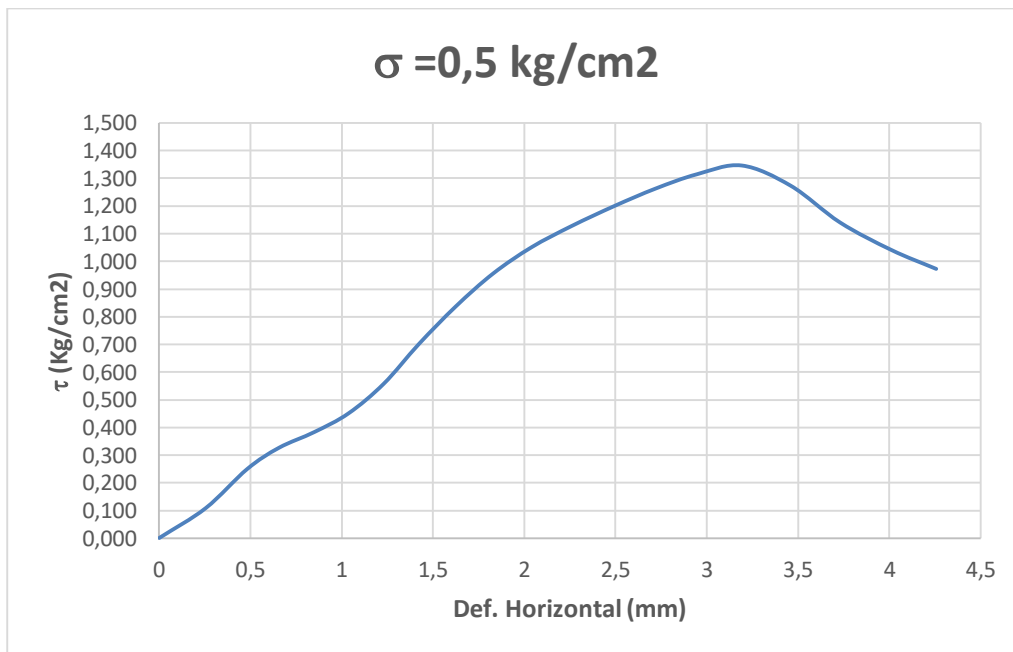
## **ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

## MUESTRAS TOMADAS DE MOLDE TIPO PROCTOR MODIFICADO

### CORTE 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	272,44	<b>Capsula No.</b>	13
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	134,11	<b>Peso capsula (g)</b>	27,08
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,92	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	163
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	145,6
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	0,5		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	19,63
<b>Peso agua (g)</b>	17,4	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	118,52	
<b>Humedad (%)</b>	14,68	

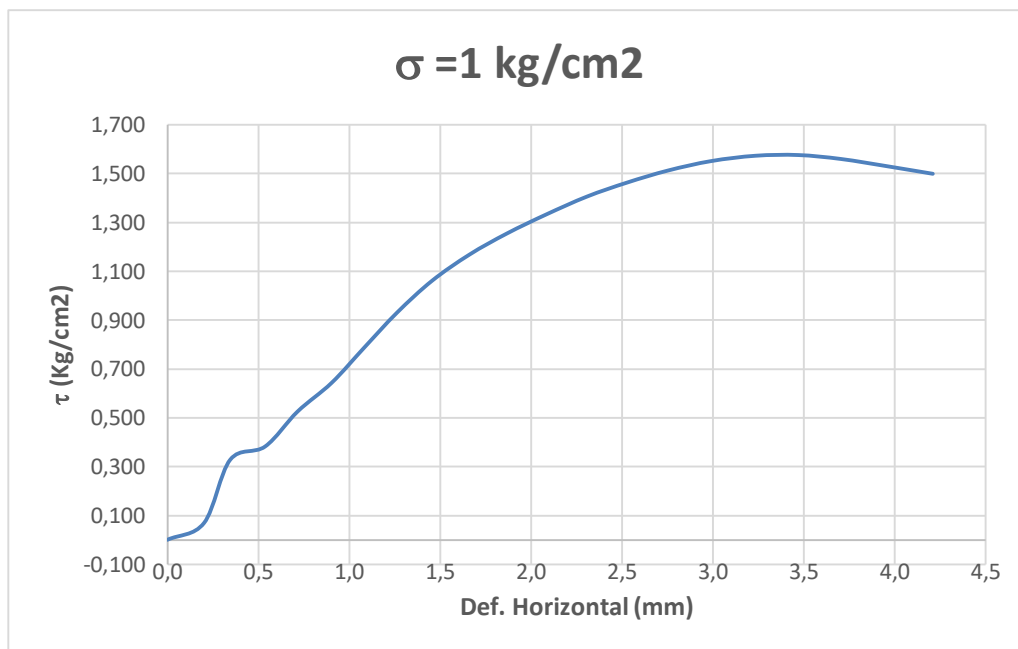




Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0,0	0,0	0	0,00000	0,0000
0,5	38,2	0,255	0,10820	3,8953
1,0	88,1	0,482	0,24955	8,9837
1,5	115,2	0,656	0,32631	11,7471
2,0	135,3	0,85	0,38324	13,7967
2,5	159,1	1,037	0,45066	16,2236
3,0	196,9	1,23	0,55773	20,0781
3,5	247,5	1,422	0,70105	25,2378
4,0	295,7	1,625	0,83758	30,1529
4,5	337,6	1,829	0,95626	34,4254
5,0	371,1	2,039	1,05115	37,8415
5,5	398,5	2,261	1,12876	40,6355
6,0	424,0	2,495	1,20099	43,2357
6,5	446,1	2,719	1,26359	45,4893
7,0	464,5	2,947	1,31571	47,3656
7,5	475,6	3,192	1,34715	48,4975
8,0	449,8	3,46	1,27407	45,8666
8,5	402,9	3,73	1,14123	41,0842
9,0	367,7	4,012	1,04152	37,4948
9,5	343,6	4,257	0,97326	35,0373

<b>Sondeo o Apique</b>	<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	279,16	<b>Capsula No.</b>	16
<b>Profundidad</b>	<b>Peso del molde (g)</b>	140,34	<b>Peso capsula (g)</b>	21,23
<b># Muestra</b>	<b>Altura de la muestra (cm)</b>	2,1	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	157,3
<b>Area de la muestra (cm2)</b>	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	140,5
	<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	1		

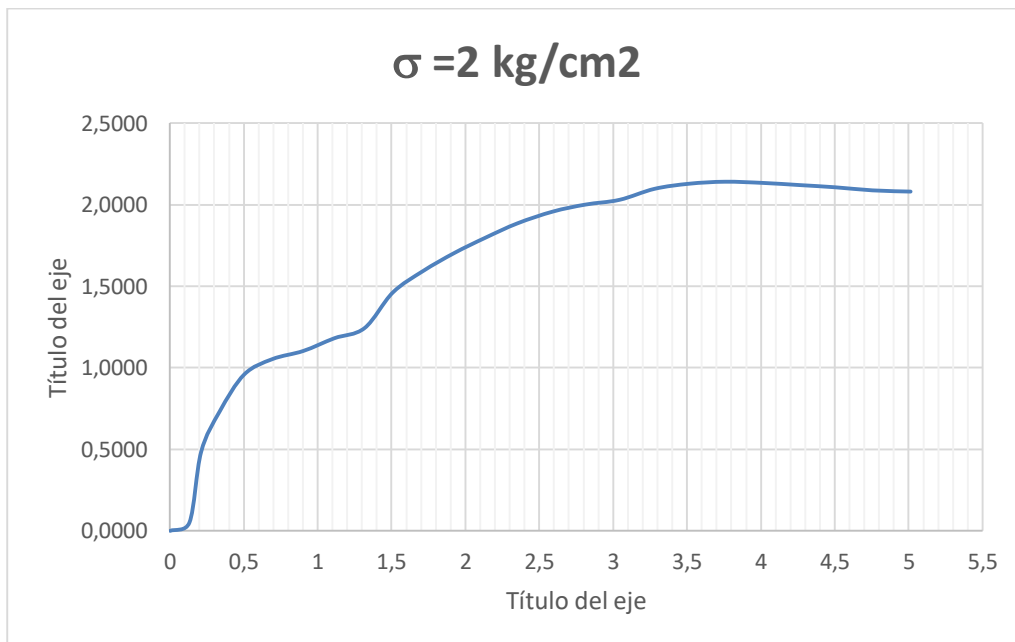
kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	18,01
<b>Peso agua (g)</b>	16,8	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	119,27	
<b>Humedad (%)</b>	14,09	



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0,0	0,000	0,000	0,000
0,5	24,4	0,202	0,069	2,488
1	115,9	0,346	0,328	11,818
1,5	135,0	0,538	0,382	13,766
2	185,5	0,716	0,525	18,916
2,5	227,1	0,904	0,643	23,158
3	278,0	1,083	0,787	28,348
3,5	328,5	1,263	0,930	33,498
4	374,7	1,456	1,061	38,209
4,5	412,6	1,662	1,169	42,073
5	443,1	1,868	1,255	45,183
5,5	470,5	2,083	1,333	47,977
6	496,6	2,309	1,407	50,639
6,5	516,7	2,528	1,464	52,688
7	534,2	2,754	1,513	54,473
7,5	547,9	2,992	1,552	55,870
8	555,6	3,236	1,574	56,655
8,5	556,6	3,471	1,577	56,757
9	550,9	3,706	1,560	56,176
9,5	539,9	3,972	1,529	55,054
10	529,5	4,211	1,500	53,994

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	281,62	<b>Capsula No.</b>	36
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	143,55	<b>Peso capsula (g)</b>	21,14
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	2	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	156,6
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	139,4
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	2		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	18,81
<b>Peso agua (g)</b>	17,2	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	118,26	
<b>Humedad (%)</b>	14,54	

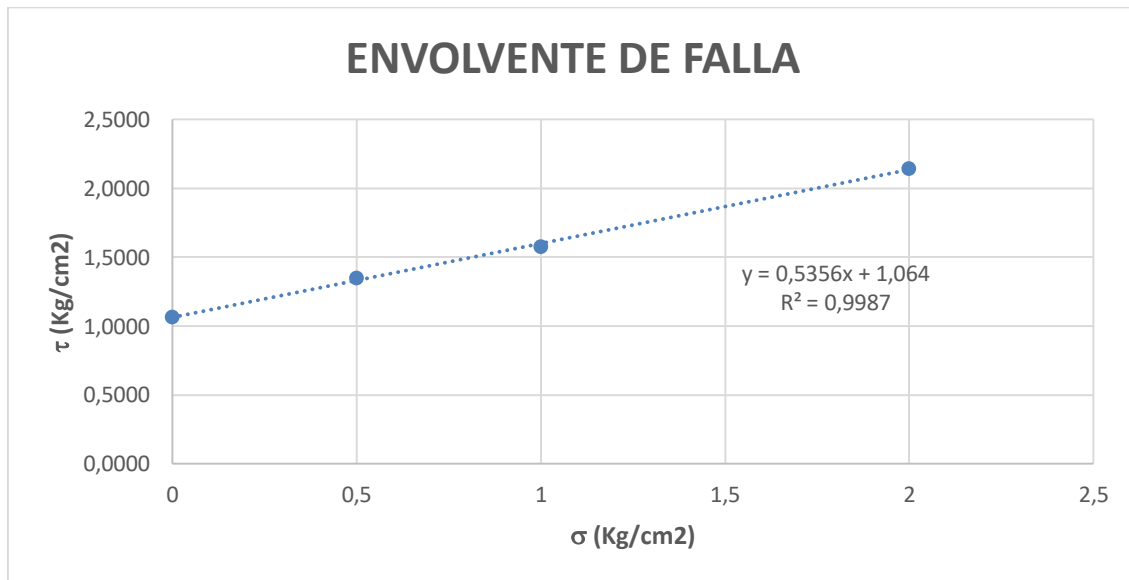


Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	18,1	0,131	0,051	1,846
1	171,1	0,21	0,485	17,447
1,5	258,9	0,336	0,733	26,400
2	338,9	0,502	0,960	34,558
2,5	372,1	0,692	1,054	37,943
3	389,8	0,902	1,104	39,748
3,5	417,3	1,112	1,182	42,553
4	439,4	1,317	1,245	44,806
4,5	516,4	1,508	1,463	52,658
5	563	1,713	1,595	57,410
5,5	602,1	1,925	1,705	61,397
6	635	2,134	1,799	64,752
6,5	666,4	2,353	1,888	67,954
7	691,9	2,593	1,960	70,554
7,5	707	2,813	2,003	72,094
8	717,3	3,044	2,032	73,144
8,5	741,1	3,281	2,099	75,571
9	752,2	3,517	2,131	76,703
9,5	756,5	3,759	2,143	77,141
10	753,9	4,016	2,135	76,876
10,5	749,2	4,264	2,122	76,397
11	744,5	4,503	2,109	75,917
11,5	737,8	4,757	2,090	75,234
12	735,1	5,015	2,082	74,959

<b>Pendiente</b>	<b>0,5356</b>
<b>Θ Angulo de fricción interna</b>	28,17
<b>C (kg/cm2)</b>	1,0640

$\omega$ (%)	14,44
$\gamma$ (kN/m3)	18,82

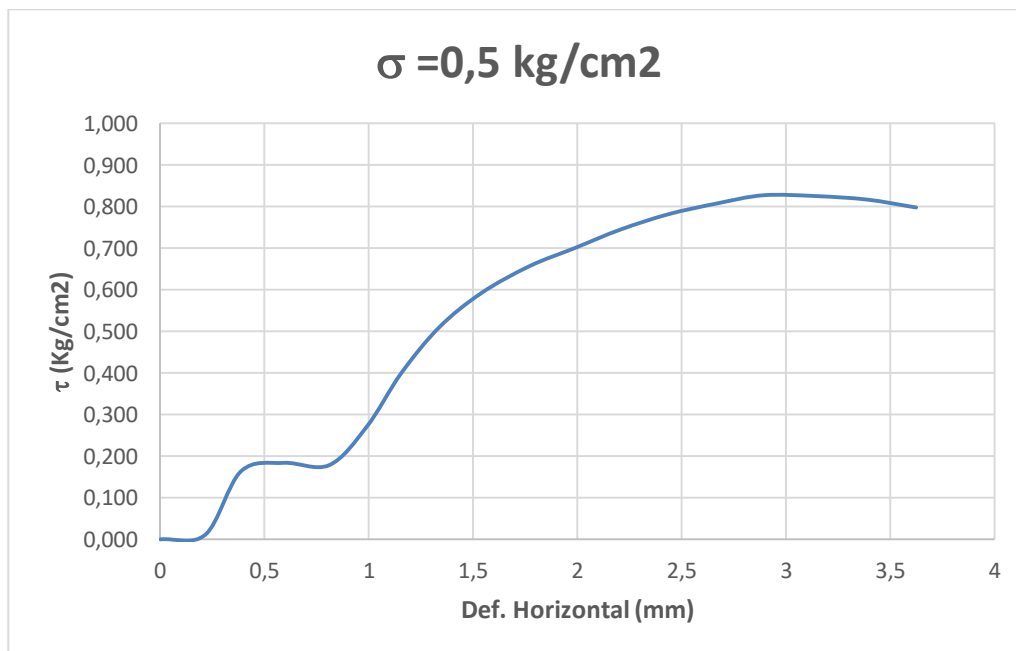
$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	1,0640
0,5	1,35
1	1,58
2	2,14



## CORTE 2

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	284,05	<b>Capsula No.</b>	5
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	145,31	<b>Peso capsula (g)</b>	21,43
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,95	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	154
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	137,3
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	0,5		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	19,39
<b>Peso agua (g)</b>	16,7	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	115,87	
<b>Humedad (%)</b>	14,41	

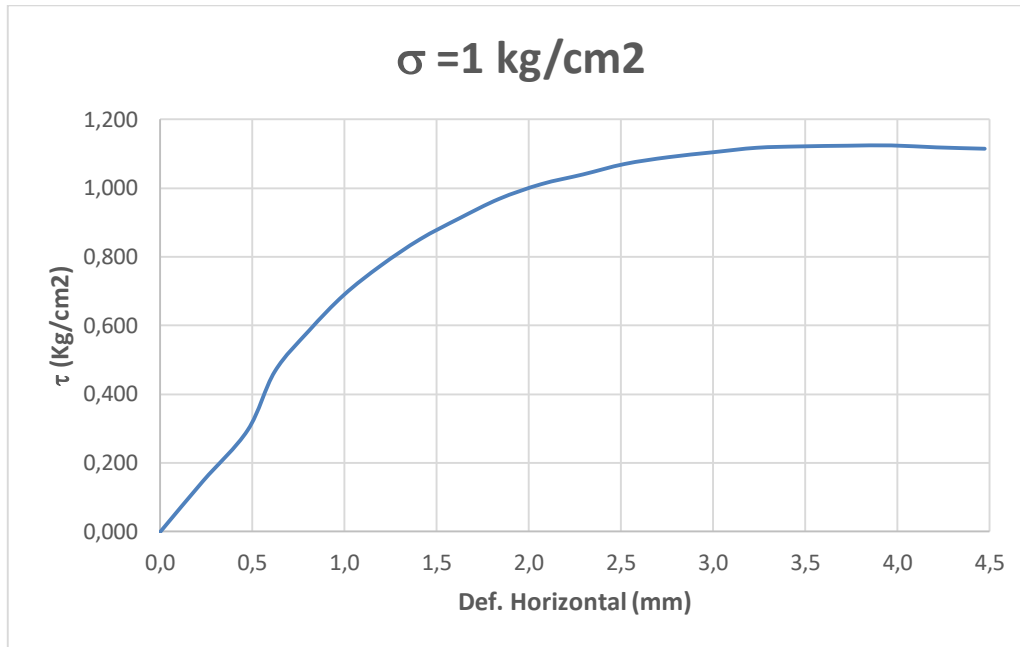


Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0,0	0,0	0	0,00000	0,0000
0,5	4,0	0,216	0,01133	0,4079
1,0	57,9	0,387	0,16400	5,9041
1,5	65,0	0,591	0,18411	6,6281
2,0	63,0	0,809	0,17845	6,4242
2,5	95,8	0,99	0,27136	9,7688
3,0	141,0	1,154	0,39939	14,3779
3,5	180,2	1,337	0,51042	18,3752
4,0	209,3	1,539	0,59285	21,3426
4,5	232,1	1,769	0,65743	23,6675
5,0	247,2	1,982	0,70020	25,2073
5,5	263,2	2,205	0,74552	26,8388
6,0	276,3	2,436	0,78263	28,1746
6,5	285,3	2,665	0,80812	29,0924
7,0	292,4	2,891	0,82823	29,8164
7,5	291,7	3,142	0,82625	29,7450
8,0	288,7	3,388	0,81775	29,4391
8,5	282,0	3,623	0,79877	28,7559

<b>Sondeo o Apique</b>	<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	276,45	<b>Capsula No.</b>	11
<b>Profundidad</b>	<b>Peso del molde (g)</b>	141,33	<b>Peso capsula (g)</b>	21,12
<b># Muestra</b>	<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,88	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	108
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	97,35
	<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	1		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	19,59
<b>Peso agua (g)</b>	10,65	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	76,23	
<b>Humedad (%)</b>	13,97	





Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0,0	0,000	0,000	0,000
0,5	52,2	0,232	0,148	5,323
1	104,5	0,474	0,296	10,656
1,5	164,8	0,621	0,467	16,805
2	207,0	0,808	0,586	21,108
2,5	243,5	0,996	0,690	24,830
3	273,6	1,196	0,775	27,899
3,5	300,7	1,409	0,852	30,663
4	322,2	1,622	0,913	32,855
4,5	342,3	1,839	0,970	34,905
5	357,3	2,066	1,012	36,434
5,5	367,4	2,294	1,041	37,464
6	378,1	2,519	1,071	38,555
6,5	385,1	2,756	1,091	39,269
7	390,2	3,000	1,105	39,789
7,5	394,8	3,236	1,118	40,258
8	396,2	3,470	1,122	40,401
8,5	396,9	3,729	1,124	40,472
9	397,2	3,968	1,125	40,503
9,5	395,2	4,212	1,119	40,299
10	393,8	4,474	1,115	40,156

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	275,26	<b>Capsula No.</b>	24
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	140,19	<b>Peso capsula (g)</b>	27,41
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,89	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	158,5
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	141,8
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	2		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	19,47
<b>Peso agua (g)</b>	16,7	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	114,39	
<b>Humedad (%)</b>	14,60	

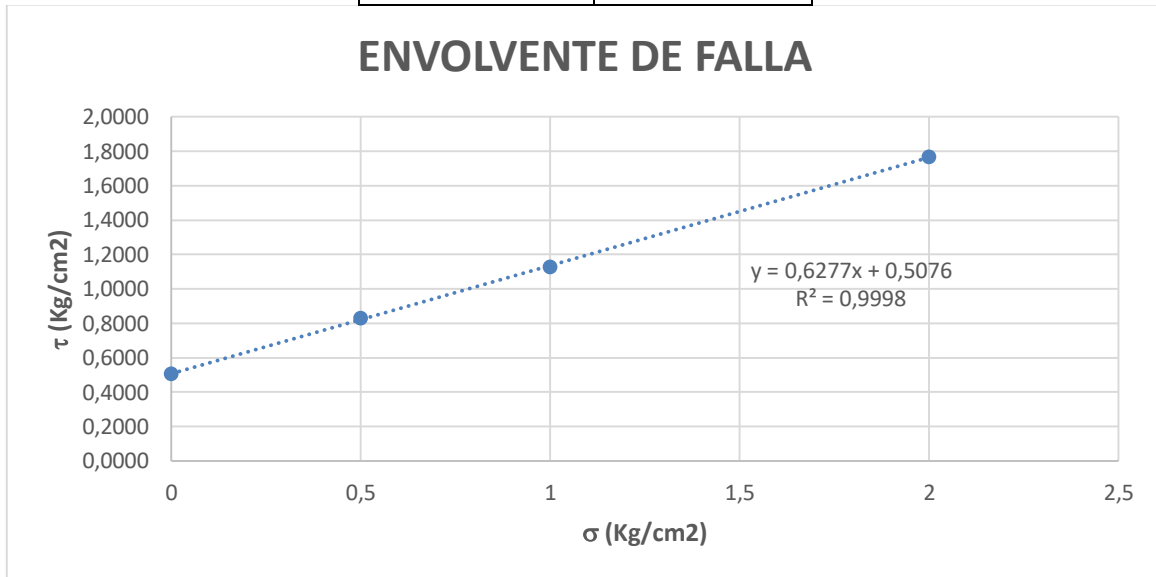


Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	25,1	0,187	0,071	2,559
1	163,8	0,329	0,464	16,703
1,5	229,7	0,49	0,651	23,423
2	291,4	0,657	0,825	29,714
2,5	346,3	0,83	0,981	35,313
3	392,2	1,02	1,111	39,993
3,5	432	1,224	1,224	44,052
4	466,5	1,401	1,321	47,570
4,5	496	1,605	1,405	50,578
5	519,4	1,819	1,471	52,964
5,5	541,2	2,036	1,533	55,187
6	558,9	2,269	1,583	56,992
6,5	574,3	2,475	1,627	58,562
7	583,4	2,702	1,652	59,490
7,5	593,8	2,928	1,682	60,550
8	600,8	3,167	1,702	61,264
8,5	608,2	3,409	1,723	62,019
9	613,2	3,639	1,737	62,529
9,5	616,5	3,883	1,746	62,865
10	618,9	4,123	1,753	63,110
10,5	620,6	4,368	1,758	63,283
11	621,2	4,615	1,760	63,344
11,5	622,2	4,862	1,762	63,446
12	622,9	5,101	1,764	63,518
12,5	622,2	5,351	1,762	63,446
13	622,6	5,617	1,764	63,487
13,5	623,6	5,878	1,766	63,589
14	621,9	6,132	1,762	63,416
14,5	619,2	6,418	1,754	63,141
15	618,2	6,55	1,751	63,039

Pendiente	0,6277
$\Theta$ Angulo de fricción interna	32,12
C (kg/cm <sup>2</sup> )	0,5076

$\omega$ (%)	14,33
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,48

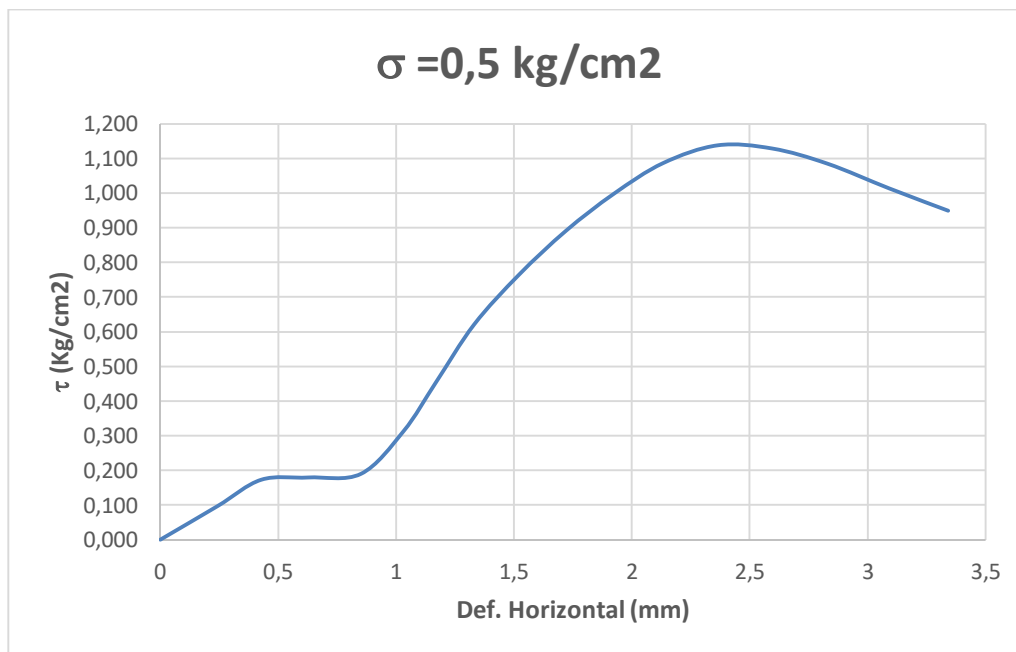
$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,5076
0,5	0,83
1	1,13
2	1,77



### CORTE 3

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	284,61	<b>Capsula No.</b>	35
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	145,08	<b>Peso capsula (g)</b>	19
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,95	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	115,41
<b>Area de la muestra (cm2)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	103,5
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	0,5		

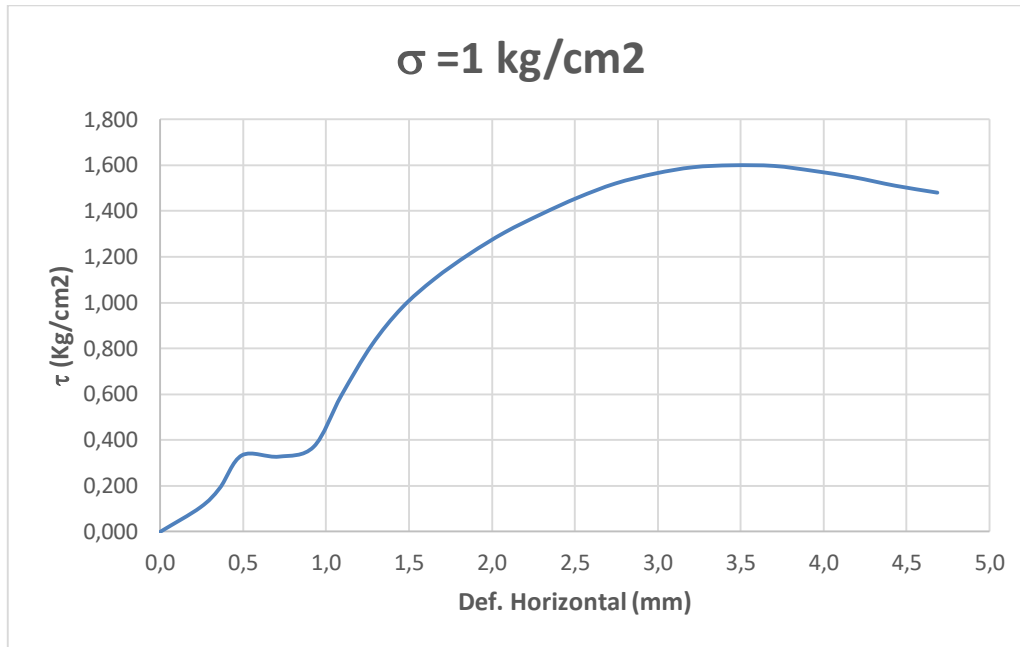
kg-f	N	$\gamma$ (kN/m3)
1	9,8067	19,50
<b>Peso agua (g)</b>	11,91	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	84,5	
<b>Humedad (%)</b>	14,09	



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	0	0,00000	0,0000
0,5	34,2	0,243	0,09687	3,4874
1,0	61,0	0,428	0,17278	6,2202
1,5	63,3	0,627	0,17930	6,4548
2,0	67,0	0,851	0,18978	6,8321
2,5	110,5	1,032	0,31299	11,2678
3,0	160,1	1,169	0,45349	16,3256
3,5	219,0	1,331	0,62032	22,3317
4,0	269,6	1,521	0,76365	27,4914
4,5	314,5	1,721	0,89083	32,0699
5,0	352,0	1,923	0,99705	35,8938
5,5	383,4	2,133	1,08599	39,0957
6,0	401,5	2,365	1,13726	40,9414
6,5	398,2	2,596	1,12791	40,6049
7,0	382,8	2,83	1,08429	39,0345
7,5	357,7	3,091	1,01320	36,4751
8,0	334,9	3,342	0,94861	34,1501

<b>Sondeo o Apique</b>	<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	279,66	<b>Capsula No.</b>	11
<b>Profundidad</b>	<b>Peso del molde (g)</b>	141,07	<b>Peso capsula (g)</b>	21,1
<b># Muestra</b>	<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,92	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	112,24
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	101,2
	<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	1		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	19,67
<b>Peso agua (g)</b>	11,04	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	80,1	
<b>Humedad (%)</b>	13,78	



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0,0	0,000	0,000	0,000
0,5	37,6	0,241	0,107	3,834
1	67,3	0,358	0,191	6,863
1,5	117,9	0,492	0,334	12,022
2	115,8	0,714	0,328	11,808
2,5	130,9	0,924	0,371	13,348
3	210,0	1,091	0,595	21,414
3,5	287,7	1,274	0,815	29,337
4	345,3	1,456	0,978	35,211
4,5	389,8	1,652	1,104	39,748
5	428,3	1,863	1,213	43,674
5,5	461,8	2,077	1,308	47,090
6	490,3	2,300	1,389	49,996
6,5	515,4	2,517	1,460	52,556
7	537,2	2,744	1,522	54,779
7,5	552,6	2,984	1,565	56,349
8	562,3	3,213	1,593	57,338
8,5	565,3	3,448	1,601	57,644
9	564,3	3,701	1,598	57,542
9,5	556,6	3,940	1,577	56,757
10	546,9	4,181	1,549	55,768
10,5	533,8	4,432	1,512	54,432
11	523,1	4,686	1,482	53,341

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	280,66	<b>Capsula No.</b>	24
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	134,34	<b>Peso capsula (g)</b>	27,41
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	2	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	172,21
<b>Area de la muestra (cm2)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	154,2
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	2		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m3)
1	9,8067	19,94
<b>Peso agua (g)</b>	18,01	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	126,79	
<b>Humedad (%)</b>	14,20	



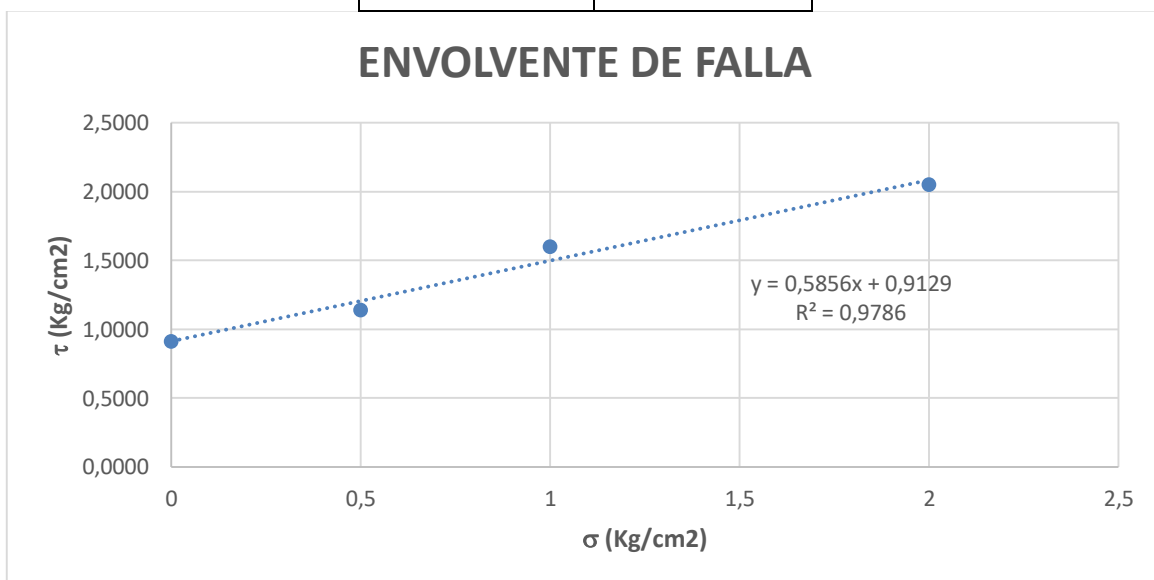


Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	19,4	0,212	0,055	1,978
1	204,3	0,313	0,579	20,833
1,5	272,6	0,478	0,772	27,797
2	301,4	0,679	0,854	30,734
2,5	317,1	0,894	0,898	32,335
3	327,5	1,1	0,928	33,396
3,5	375,8	1,306	1,064	38,321
4	415,3	1,501	1,176	42,349
4,5	452,8	1,693	1,283	46,173
5	482,6	1,899	1,367	49,211
5,5	509,4	2,112	1,443	51,944
6	525,8	2,322	1,489	53,616
6,5	563,0	2,538	1,595	57,410
7	594,4	2,758	1,684	60,612
7,5	626,9	2,978	1,776	63,926
8	658,7	3,193	1,866	67,168
8,5	687,5	3,41	1,947	70,105
9	707,6	3,642	2,004	72,155
9,5	719,7	3,872	2,039	73,389
10	723,4	4,105	2,049	73,766
10,5	723,7	4,357	2,050	73,796
11	720,7	4,601	2,041	73,491
11,5	719,2	4,842	2,037	73,338
12	715,0	5,089	2,025	72,909
12,5	712,7	5,365	2,019	72,675
13	710,3	5,593	2,012	72,430
13,5	707,6	5,853	2,004	72,155

<b>Pendiente</b>	0,5856
<b><math>\theta</math> Angulo de fricción interna</b>	30,35
<b>C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,9129

$\omega$ (%)	14,03
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,70

$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,9129
0,5	1,14
1	1,60
2	2,05



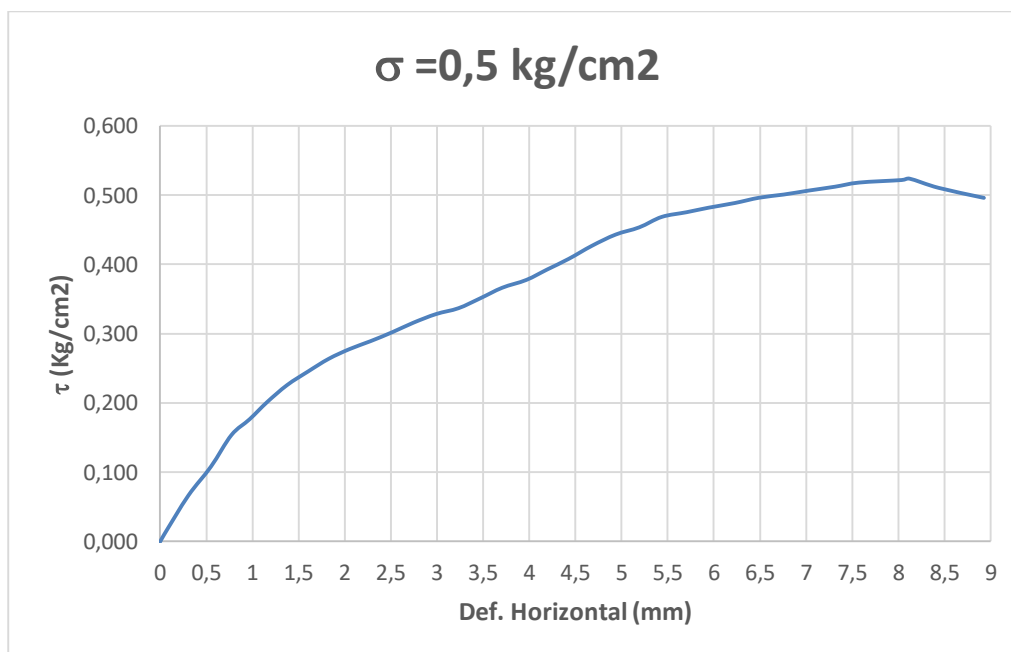
PROMEDIOS DISEÑO	
$\omega$ (%)	14,26
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,33
$\phi$ (°)	30,21

## MUESTRAS TOMADAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

### CORTE 1

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	256,78	<b>Capsula No.</b>	60
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	139,9	<b>Peso capsula (g)</b>	27,28
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	46,5
<b>Area de la muestra (cm2)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	44,07
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	0,5		

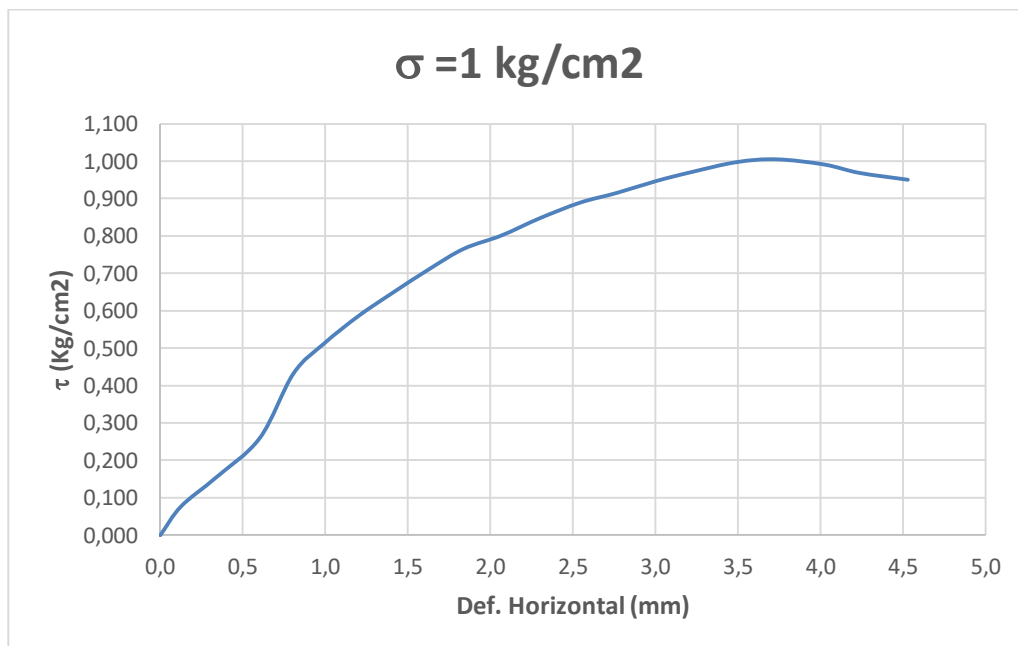
kg-f	N	$\gamma$ (kN/m3)
1	9,8067	16,76
<b>Peso agua (g)</b>	2,43	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	16,79	
<b>Humedad (%)</b>	14,47	



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	0	0,00000	0,0000
0,5	3,7	0,044	0,01048	0,3773
1,0	23,4	0,304	0,06628	2,3861
1,5	38,2	0,55	0,10820	3,8953
2,0	54,3	0,772	0,15381	5,5370
2,5	62,3	0,968	0,17647	6,3528
3,0	71,0	1,157	0,20111	7,2399
3,5	79,7	1,374	0,22575	8,1271
4,0	86,7	1,603	0,24558	8,8409
4,5	93,1	1,825	0,26371	9,4935
5,0	98,1	2,053	0,27787	10,0034
5,5	102,1	2,279	0,28920	10,4112
6,0	106,8	2,521	0,30251	10,8905
6,5	111,5	2,743	0,31583	11,3698
7,0	115,9	2,988	0,32829	11,8185
7,5	118,9	3,232	0,33679	12,1244
8,0	123,9	3,466	0,35095	12,6342
8,5	129,3	3,705	0,36625	13,1849
9,0	133,3	3,967	0,37758	13,5927
9,5	138,6	4,192	0,39259	14,1332
10,0	144,0	4,425	0,40788	14,6838
10,5	150,7	4,678	0,42686	15,3670
11,0	156,4	4,934	0,44301	15,9483
11,5	160,1	5,191	0,45349	16,3256
12,0	165,4	5,434	0,46850	16,8660
12,5	167,8	5,703	0,47530	17,1108
13,0	170,1	5,942	0,48181	17,3453
13,5	172,5	6,227	0,48861	17,5900
14,0	175,2	6,491	0,49626	17,8653
14,5	176,8	6,756	0,50079	18,0285
15,0	178,8	7,023	0,50646	18,2324
15,5	180,8	7,312	0,51212	18,4364
16,0	182,9	7,572	0,51807	18,6505
16,5	184,2	8,034	0,52175	18,7831
17,0	184,9	8,119	0,52373	18,8545
17,5	180,2	8,435	0,51042	18,3752
18,0	175,1	8,925	0,49598	17,8551

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	230,66	<b>Capsula No.</b>	110
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	131,21	<b>Peso capsula (g)</b>	20,95
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	24,75
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	24,25
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	1		

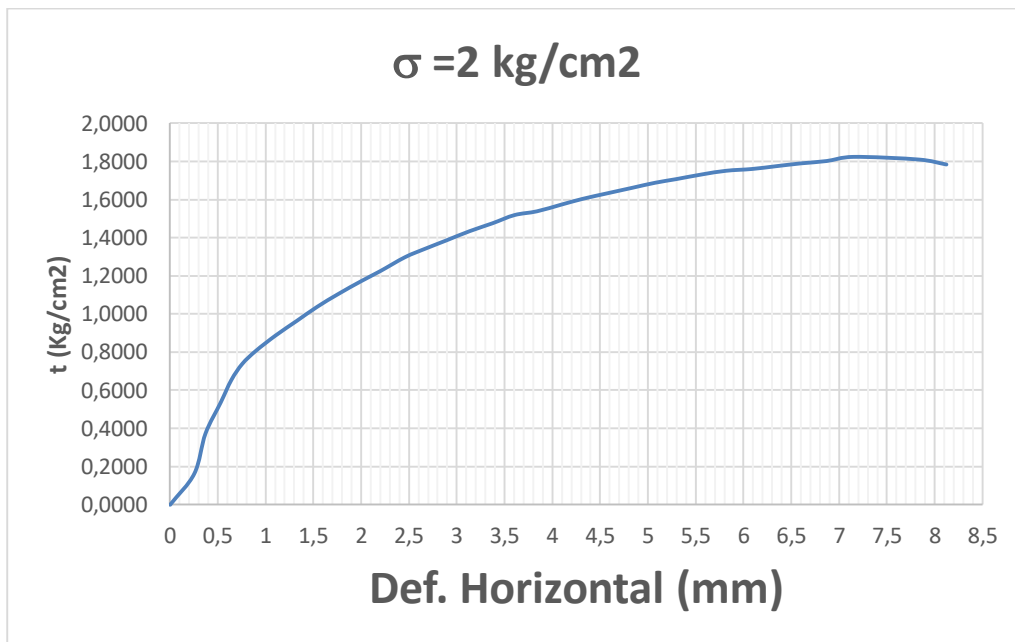
kg-f	N
1	9,8067
<b>Peso agua (g)</b>	0,5
<b>Peso suelo seco (g)</b>	3,3
<b>Humedad (%)</b>	15,15



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0,0	0,000	0,000	0,000
0,5	27,1	0,125	0,077	2,763
1	54,3	0,336	0,154	5,537
1,5	91,8	0,603	0,260	9,361
2	152,7	0,807	0,433	15,571
2,5	181,2	0,994	0,513	18,477
3	207,0	1,201	0,586	21,108
3,5	229,1	1,410	0,649	23,362
4	252,2	1,639	0,714	25,717
4,5	270,6	1,841	0,766	27,593
5	283,0	2,067	0,802	28,858
5,5	299,4	2,301	0,848	30,530
6	314,1	2,545	0,890	32,029
6,5	323,2	2,766	0,915	32,957
7	334,6	3,009	0,948	34,120
7,5	342,9	3,219	0,971	34,966
8	352,3	3,492	0,998	35,924
8,5	355,0	3,732	1,006	36,200
9	350,1	4,023	0,992	35,700
9,5	342,2	4,236	0,969	34,895
10	335,7	4,531	0,951	34,232

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	263,98	<b>Capsula No.</b>	240
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	140,95	<b>Peso capsula (g)</b>	32,24
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	37,55
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	36,89
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	2		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	17,65
<b>Peso agua (g)</b>	0,66	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	4,65	
<b>Humedad (%)</b>	14,19	



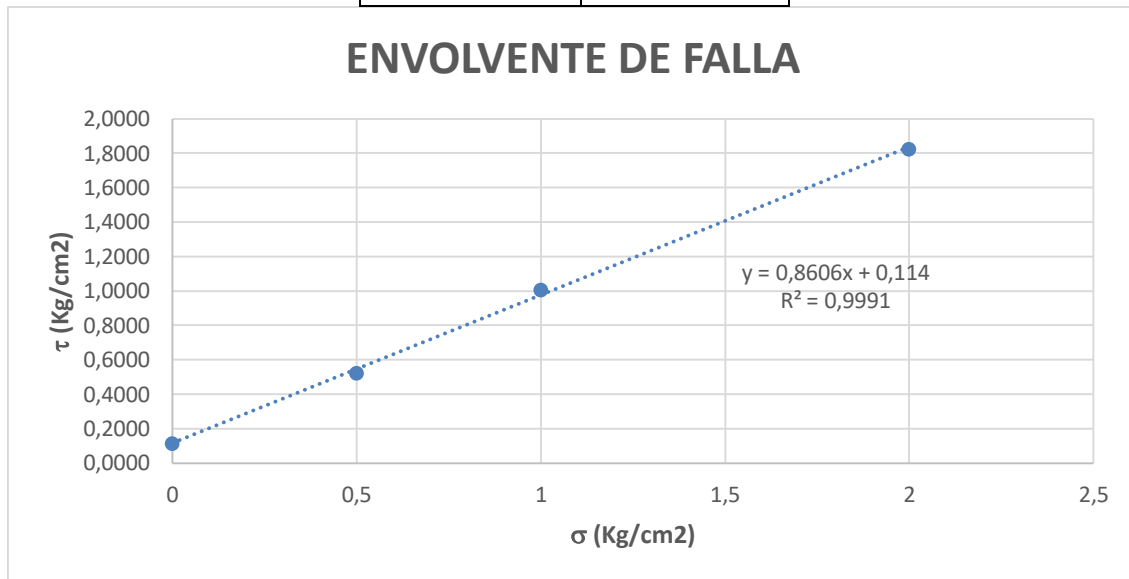
Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	57,9	0,254	0,164	5,904
1	131,9	0,37	0,374	13,450
1,5	189,2	0,529	0,536	19,293
2	231,4	0,642	0,655	23,596
2,5	260,9	0,755	0,739	26,604
3	285	0,897	0,807	29,062
3,5	313,8	1,106	0,889	31,999
4	340,6	1,326	0,965	34,731
4,5	366,4	1,537	1,038	37,362
5	390,5	1,761	1,106	39,820
5,5	414,3	2,001	1,174	42,247
6	432,7	2,199	1,226	44,123
6,5	458,5	2,458	1,299	46,754
7	473,9	2,665	1,342	48,324
7,5	489,6	2,891	1,387	49,925
8	506,7	3,134	1,435	51,669
8,5	521,4	3,375	1,477	53,168
9	536,5	3,604	1,520	54,707
9,5	543,5	3,839	1,539	55,421
10	555,9	4,095	1,575	56,686
10,5	566,6	4,318	1,605	57,777
11	577	4,58	1,634	58,837
11,5	587,1	4,838	1,663	59,867
12	596,4	5,077	1,689	60,816
12,5	603,1	5,296	1,708	61,499
13	611,9	5,568	1,733	62,396
13,5	618,6	5,82	1,752	63,079
14	621,9	6,091	1,762	63,416
14,5	626,9	6,335	1,776	63,926
15	632,3	6,603	1,791	64,476
15,5	636,6	6,871	1,803	64,915
16	644,3	7,152	1,825	65,700
16,5	639,4	7,836	1,811	65,200
17	630,2	8,125	1,785	64,262



<b>Pendiente</b>	<b>0,8606</b>
<b>Θ Angulo de fricción interna</b>	40,72
<b>C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,1140

ω (%)	14,61
γ (kN/m <sup>3</sup> )	16,22

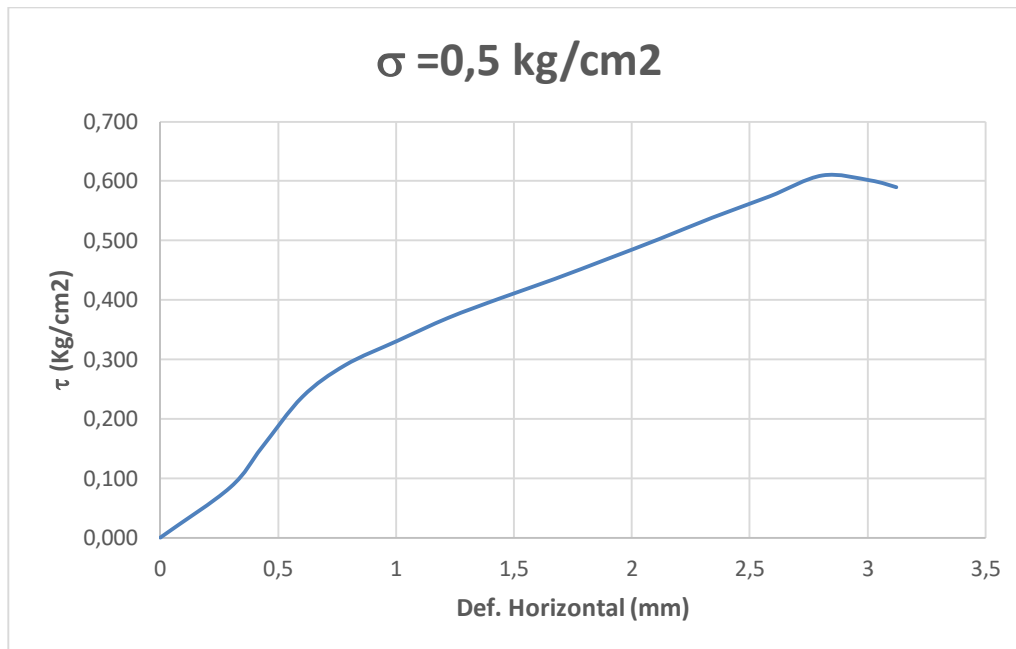
<b>σ (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	<b>τ (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0	<b>0,1140</b>
0,5	0,52
1	1,01
2	1,82



## CORTE 2

Sondeo o Apique		Peso muestra + Molde (g)	260,89	Capsula No.	60
Profundidad		Peso del molde (g)	140,67	Peso capsula (g)	27,28
# Muestra		Altura de la muestra (cm)	1,9	Peso suelo humedo + Capsula (g)	38,1
Area de la muestra (cm <sup>2</sup> )	36	Vel. Ensayo (mm/min)	0,5	Peso suelo seco + Capsula (g)	36,7
		$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	0,5		

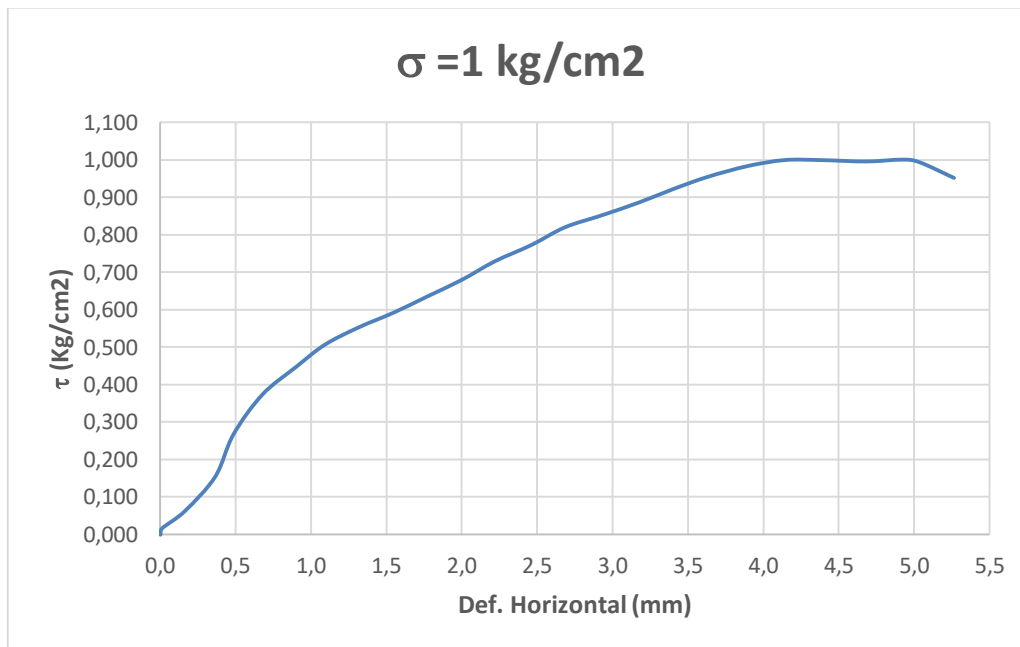
kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	17,24
Peso agua (g)	1,4	
Peso suelo seco (g)	9,42	
Humedad (%)	14,86	



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	0	0,00000	0,0000
0,5	29,9	0,297	0,08469	3,0489
1,0	53,6	0,431	0,15182	5,4657
1,5	83,7	0,603	0,23708	8,5350
2,0	102,5	0,784	0,29033	10,4520
2,5	116,9	1,005	0,33112	11,9204
3,0	130,6	1,221	0,36993	13,3174
3,5	142,3	1,443	0,40307	14,5105
4,0	153,7	1,672	0,43536	15,6730
4,5	165,8	1,9	0,46963	16,9068
5,0	177,5	2,117	0,50277	18,0999
5,5	190,2	2,342	0,53875	19,3949
6,0	202,9	2,586	0,57472	20,6899
6,5	215,3	2,809	0,60984	21,9544
7,0	212,4	3,011	0,60163	21,6587
7,5	208,3	3,123	0,59002	21,2406

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	262,08	<b>Capsula No.</b>	60
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	137,6	<b>Peso capsula (g)</b>	27,28
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	37,75
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	36,4
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	1		

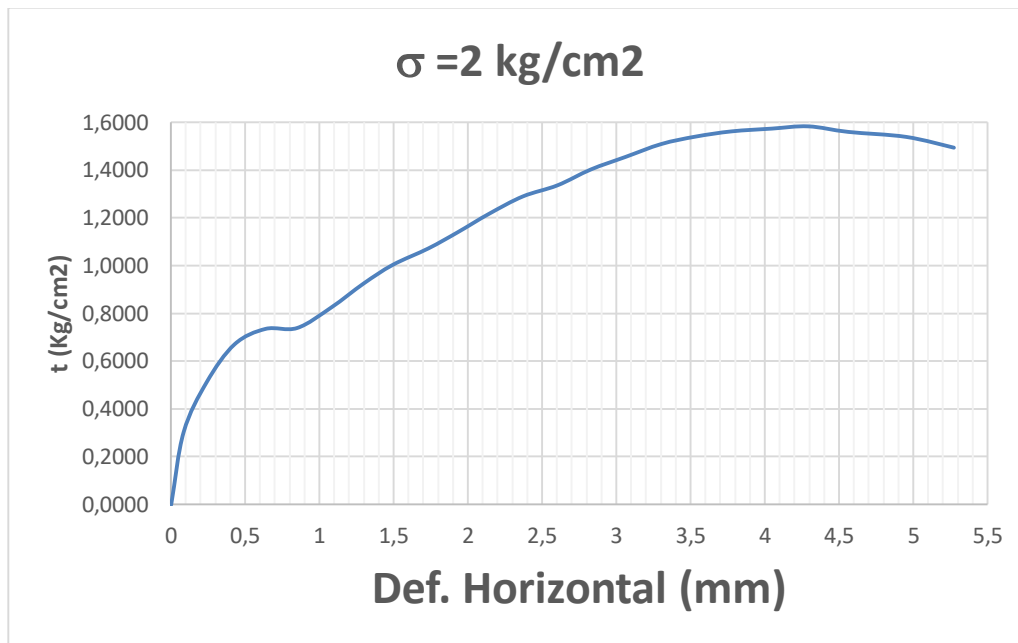
kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	17,85
<b>Peso agua (g)</b>	1,35	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	9,12	
<b>Humedad (%)</b>	14,80	



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0,0	0,000	0,000	0,000
0,5	6	0,011	0,017	0,612
1	22,4	0,163	0,063	2,284
1,5	54,6	0,363	0,155	5,568
2	94,4	0,484	0,267	9,626
2,5	131,9	0,676	0,374	13,450
3	158,1	0,901	0,448	16,122
3,5	178,8	1,09	0,506	18,232
4	194,9	1,311	0,552	19,874
4,5	209,3	1,551	0,593	21,343
5	224,4	1,772	0,636	22,882
5,5	239,8	1,998	0,679	24,453
6	257,2	2,216	0,729	26,227
6,5	272,6	2,459	0,772	27,797
7	289,3	2,682	0,819	29,500
7,5	300,4	2,923	0,851	30,632
8	312,8	3,176	0,886	31,897
8,5	325,2	3,399	0,921	33,161
9	336,6	3,625	0,953	34,323
9,5	347	3,896	0,983	35,384
10	352,6	4,141	0,999	35,955
10,5	352,6	4,373	0,999	35,955
11	351,3	4,682	0,995	35,822
11,5	353	4,92	1,000	35,996
12	350,5	5,035	0,993	35,741
12,5	335,8	5,263	0,951	34,242

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	259,38	<b>Capsula No.</b>	60
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	145,3	<b>Peso capsula (g)</b>	27,28
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	40,1
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	38,5
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	2		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	16,36
<b>Peso agua (g)</b>	1,6	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	11,22	
<b>Humedad (%)</b>	14,26	

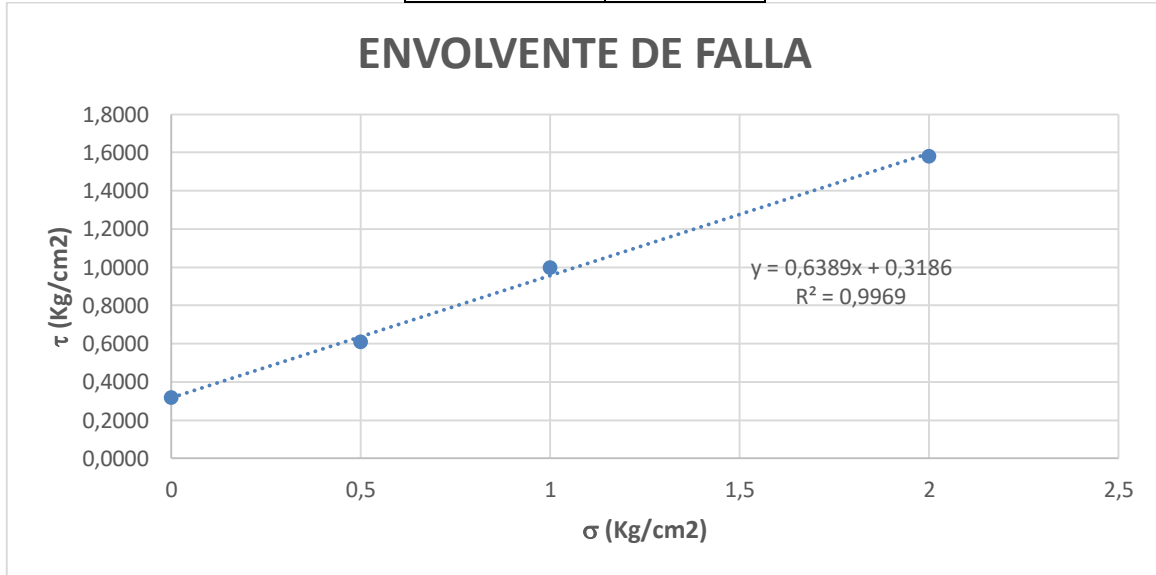


Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	107,2	0,084	0,304	10,931
1	180,8	0,239	0,512	18,436
1,5	236,8	0,427	0,671	24,147
2	259,5	0,635	0,735	26,462
2,5	260,9	0,849	0,739	26,604
3	291,4	1,08	0,825	29,714
3,5	326,5	1,296	0,925	33,294
4	354	1,492	1,003	36,098
4,5	378,4	1,733	1,072	38,586
5	402,2	1,93	1,139	41,013
5,5	429,7	2,143	1,217	43,817
6	455,1	2,369	1,289	46,407
6,5	471,5	2,602	1,336	48,079
7	495	2,828	1,402	50,476
7,5	513,4	3,06	1,454	52,352
8	532,5	3,302	1,508	54,300
8,5	543,5	3,534	1,539	55,421
9	551,2	3,776	1,561	56,206
9,5	555,3	4,048	1,573	56,625
10	558,6	4,292	1,582	56,961
10,5	550,4	4,561	1,559	56,125
11	543	4,952	1,538	55,370
11,5	527,1	5,273	1,493	53,749

$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,3186
0,5	0,61
1	1,00
2	1,58

<b>Pendiente</b>	<b>0,6389</b>
<b>Θ Angulo de fricción interna</b>	<b>32,57</b>
<b>C (kg/cm2)</b>	<b>0,3186</b>

<b>ω (%)</b>	<b>14,64</b>
<b>γ (kN/m3)</b>	<b>17,15</b>

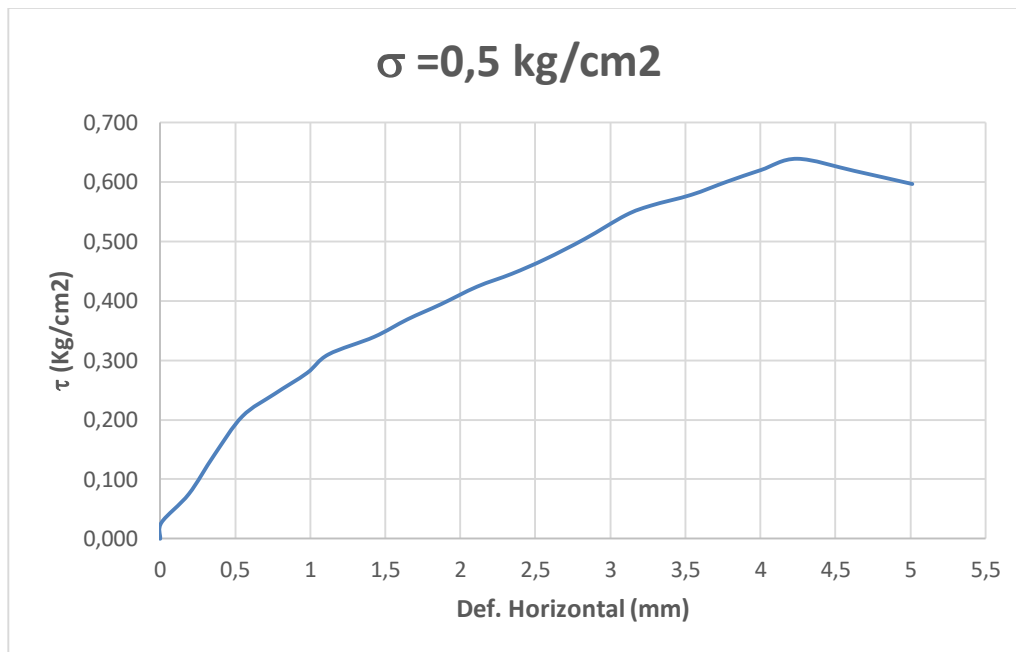


### CORTE 3

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	250,5	<b>Capsula No.</b>	60
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	140,82	<b>Peso capsula (g)</b>	27,28
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	40,4
<b>Area de la muestra (cm2)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	38,72
		<b>σ (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	0,5		

kg-f	N	γ (kN/m3)
1	9,8067	15,73
<b>Peso agua (g)</b>	1,68	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	11,44	
<b>Humedad (%)</b>	14,69	

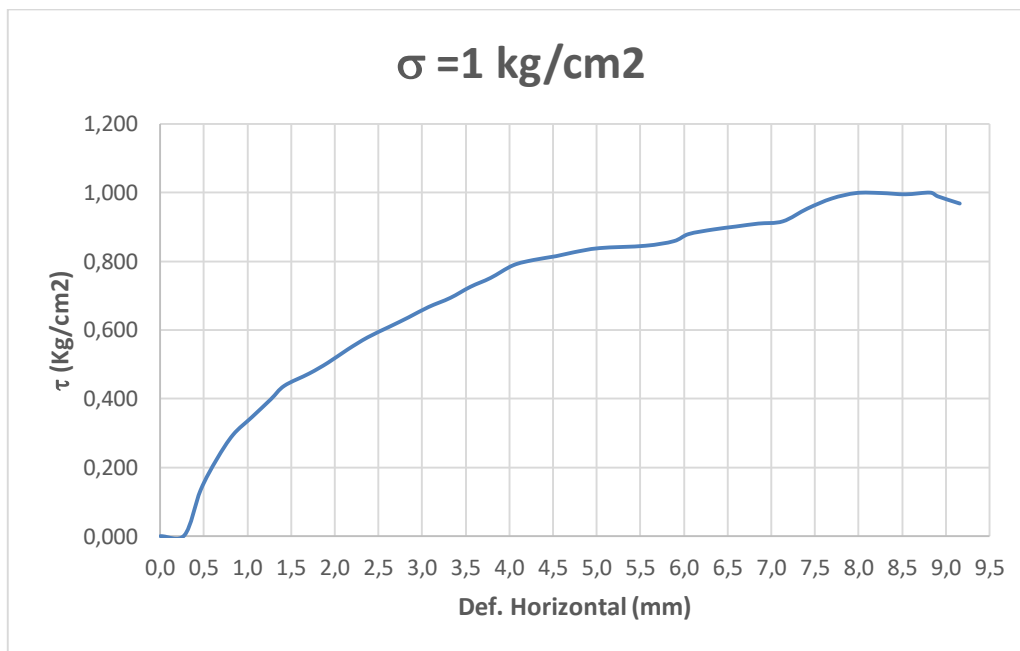




Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0,0	0,0	0	0,00000	0,0000
0,5	9,7	0,009	0,02748	0,9891
1,0	26,6	0,191	0,07535	2,7124
1,5	49,6	0,359	0,14049	5,0578
2,0	72,7	0,547	0,20592	7,4133
2,5	86,1	0,763	0,24388	8,7797
3,0	98,5	0,979	0,27900	10,0442
3,5	109,5	1,121	0,31016	11,1658
4,0	119,9	1,425	0,33962	12,2263
4,5	130,3	1,647	0,36908	13,2868
5,0	139,3	1,87	0,39457	14,2046
5,5	149,7	2,11	0,42403	15,2651
6,0	157,4	2,343	0,44584	16,0503
6,5	166,1	2,566	0,47048	16,9374
7,0	178,2	2,831	0,50476	18,1713
7,5	192,2	3,102	0,54441	19,5988
8,0	197,9	3,27	0,56056	20,1801
8,5	204,3	3,539	0,57869	20,8327
9,0	212	3,773	0,60050	21,6179
9,5	219	4,002	0,62032	22,3317
10,0	225,7	4,244	0,63930	23,0149
10,5	218,5	4,625	0,61891	22,2807
11,0	210,7	5,011	0,59681	21,4853

<b>Sondeo o Apique</b>	<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	253,96	<b>Capsula No.</b>	60	
<b>Profundidad</b>	<b>Peso del molde (g)</b>	140,75	<b>Peso capsula (g)</b>	27,28	
<b># Muestra</b>	<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	37,45	
<b>Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	36,15
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	1		

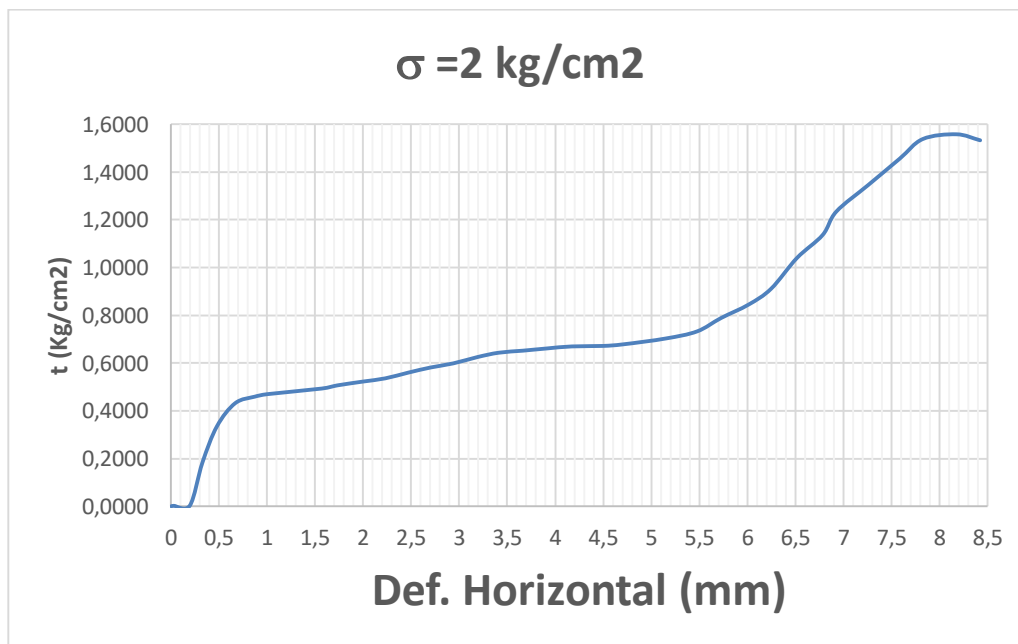
kg-f	N	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	9,8067	16,24
<b>Peso agua (g)</b>	1,3	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	8,87	
<b>Humedad (%)</b>	14,66	



Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0,0	0,000	0,000	0,000
0,5	1	0,276	0,003	0,102
1	47,2	0,46	0,134	4,813
1,5	79	0,646	0,224	8,056
2	104,2	0,833	0,295	10,625
2,5	122,2	1,047	0,346	12,461
3	140,7	1,266	0,399	14,347
3,5	154,5	1,42	0,438	15,755
4	167,1	1,705	0,473	17,039
4,5	178,3	1,921	0,505	18,181
5	191,9	2,147	0,544	19,568
5,5	204,3	2,375	0,579	20,833
6	215	2,62	0,609	21,924
6,5	224,7	2,841	0,636	22,913
7	235,4	3,071	0,667	24,004
7,5	244,8	3,321	0,693	24,963
8	256,2	3,552	0,726	26,125
8,5	265,3	3,782	0,751	27,053
9	278,3	4,041	0,788	28,379
9,5	283,7	4,271	0,804	28,929
10	287,7	4,534	0,815	29,337
10,5	291,7	4,737	0,826	29,745
11	296	5,031	0,838	30,183
11,5	298,4	5,555	0,845	30,428
12	303,1	5,882	0,859	30,907
12,5	310,4	6,052	0,879	31,652
13	315,1	6,332	0,893	32,131
13,5	318,2	6,597	0,901	32,447
14	321,2	6,851	0,910	32,753
14,5	323,5	7,132	0,916	32,988
15	336,6	7,413	0,953	34,323
15,5	347	7,694	0,983	35,384
16	352,6	7,975	0,999	35,955
16,5	352,6	8,256	0,999	35,955
17	351,3	8,537	0,995	35,822
17,5	353	8,818	1,000	35,996
18	349,1	8,91	0,989	35,598
18,5	341,8	9,159	0,968	34,854

<b>Sondeo o Apique</b>		<b>Peso muestra + Molde (g)</b>	236,58	<b>Capsula No.</b>	60
<b>Profundidad</b>		<b>Peso del molde (g)</b>	131,22	<b>Peso capsula (g)</b>	27,28
<b># Muestra</b>		<b>Altura de la muestra (cm)</b>	1,9	<b>Peso suelo humedo + Capsula (g)</b>	41,8
<b>Area de la muestra (cm2)</b>	36	<b>Vel. Ensayo (mm/min)</b>	0,5	<b>Peso suelo seco + Capsula (g)</b>	39,92
		<b><math>\sigma</math> (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	2		

kg-f	N	$\gamma$ (kN/m3)
1	9,8067	15,11
<b>Peso agua (g)</b>	1,88	
<b>Peso suelo seco (g)</b>	12,64	
<b>Humedad (%)</b>	14,87	

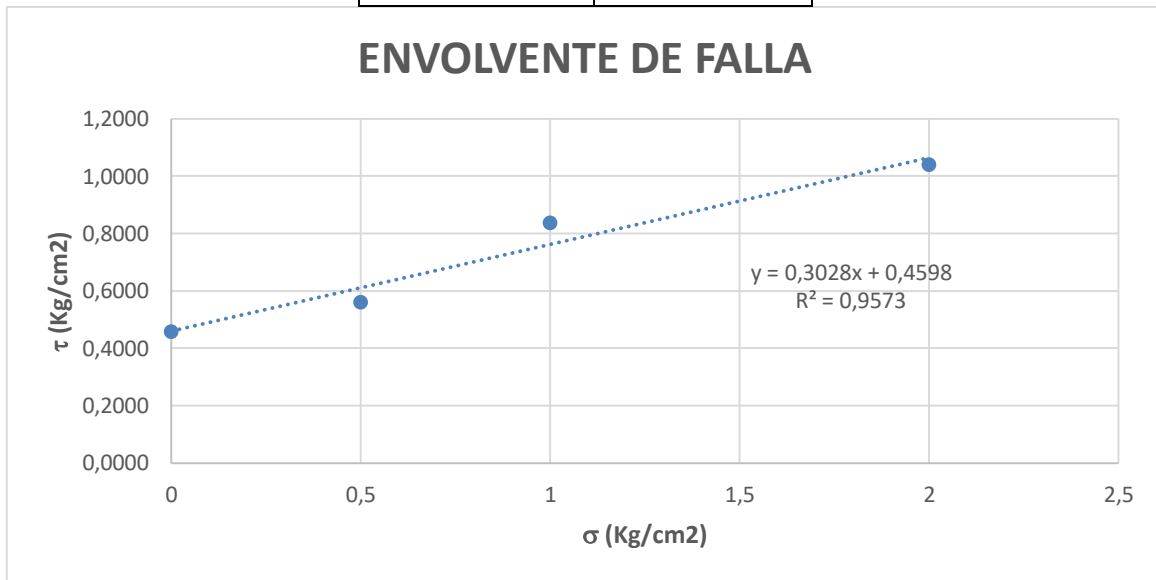


Tiempo (min)	Lectura de carga (N)	Def. Horizontal (mm)	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de carga en (kg-f)
0	0	0	0,0000	0,0000
0,5	0,7	0,026	0,002	0,071
1	1	0,194	0,003	0,102
1,5	64,6	0,325	0,183	6,587
2	118,2	0,476	0,335	12,053
2,5	152,4	0,666	0,432	15,540
3	162,1	0,87	0,459	16,530
3,5	165,8	1,001	0,470	16,907
4	174,1	1,567	0,493	17,753
4,5	178,8	1,731	0,506	18,232
5	184,5	2	0,523	18,814
5,5	189,2	2,229	0,536	19,293
6	197,6	2,466	0,560	20,149
6,5	205,3	2,703	0,582	20,935
7	211,3	2,936	0,599	21,546
7,5	220,7	3,189	0,625	22,505
8	227,1	3,41	0,643	23,158
8,5	230,1	3,66	0,652	23,464
9	233,4	3,911	0,661	23,800
9,5	236,4	4,171	0,670	24,106
10	237,1	4,492	0,672	24,177
10,5	239,5	4,707	0,678	24,422
11	248,1	5,148	0,703	25,299
11,5	258,6	5,474	0,732	26,370
12	278,3	5,723	0,788	28,379
12,5	298,4	6,012	0,845	30,428
13	321,7	6,245	0,911	32,804
13,5	367,2	6,514	1,040	37,444
14	401,3	6,782	1,137	40,921
14,5	435,7	6,923	1,234	44,429
15	475,1	7,256	1,346	48,446
15,5	514,1	7,584	1,456	52,423
16	543,1	7,824	1,538	55,381
16,5	550,1	8,174	1,558	56,094
17	541,2	8,421	1,533	55,187

<b>Pendiente</b>	<b>0,3028</b>
<b>Θ Angulo de fricción interna</b>	16,85
<b>C (kg/cm2)</b>	0,4598

$\omega$ (%)	14,74
$\gamma$ (kN/m3)	15,69

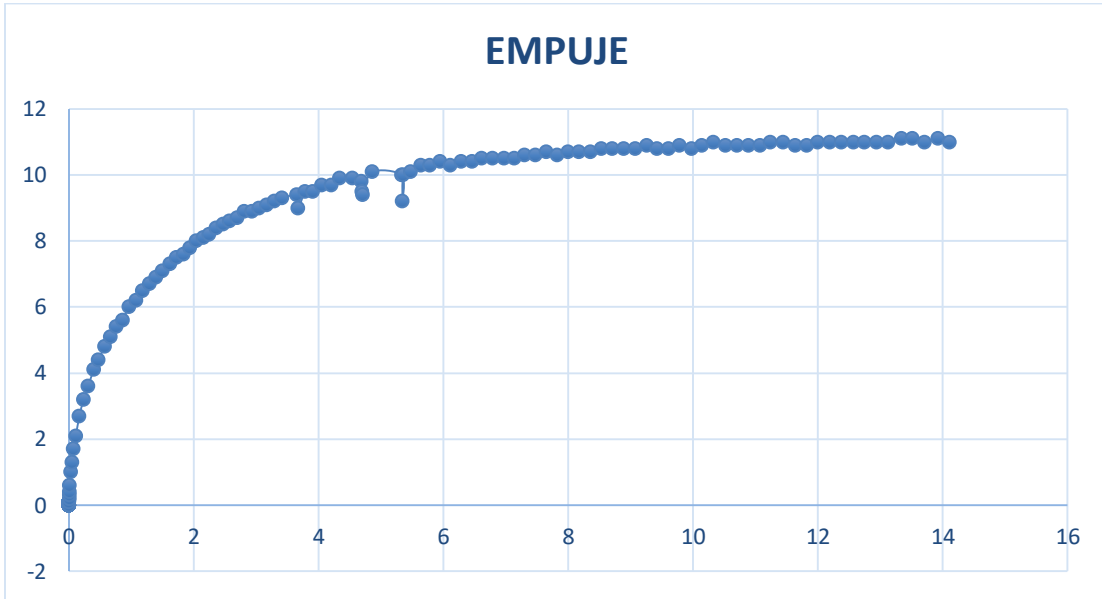
$\sigma$ (Kg/ cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,4598
0,5	0,56
1	0,84
2	1,04



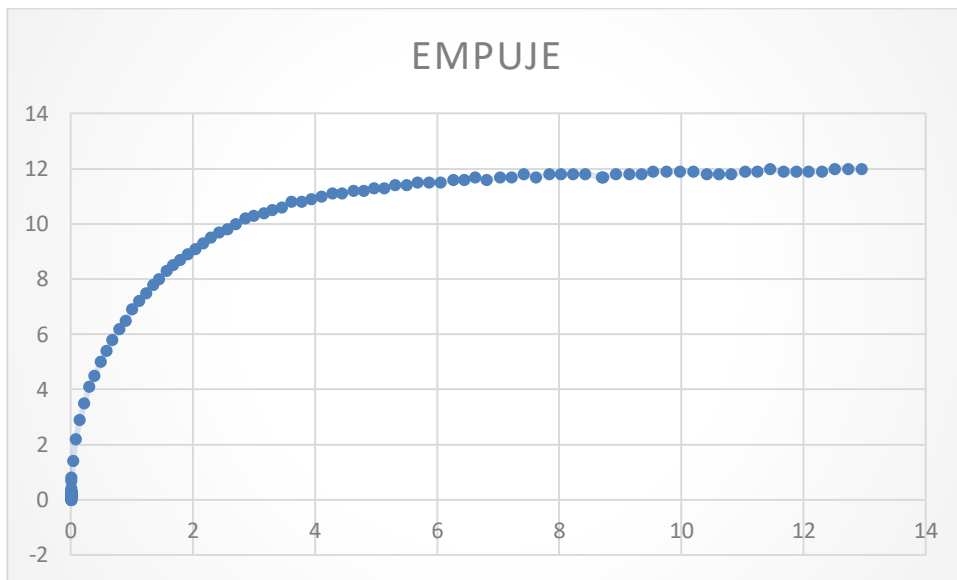
PROMEDIOS DISEÑO	
$\omega$ (%)	14,66
$\gamma$ (kN/m3)	16,36
$\phi$ (°)	30,05

**ANEXO E**  
**ENSAYOS MURO DE REACCIÓN.**

## ENSAYO 1

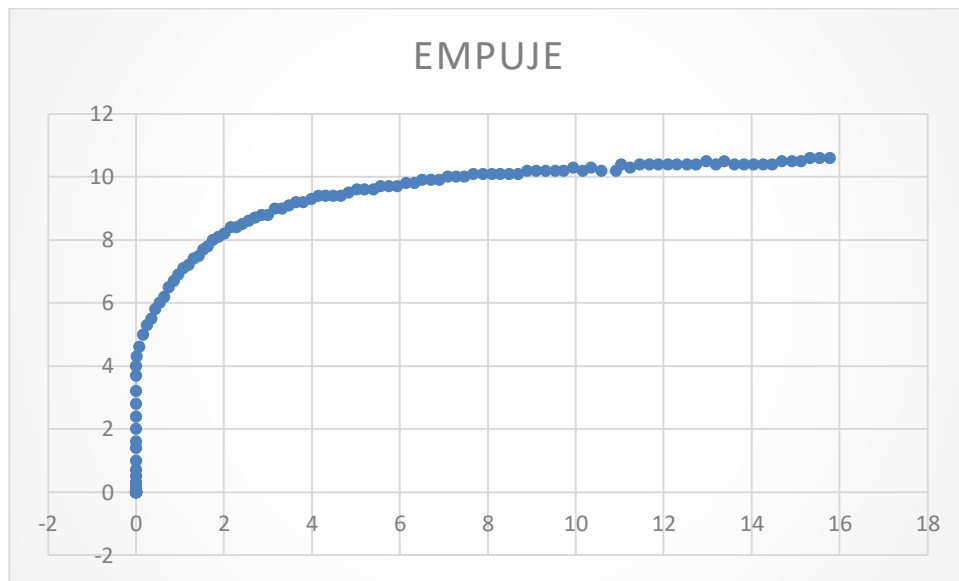


## ENSAYO 2

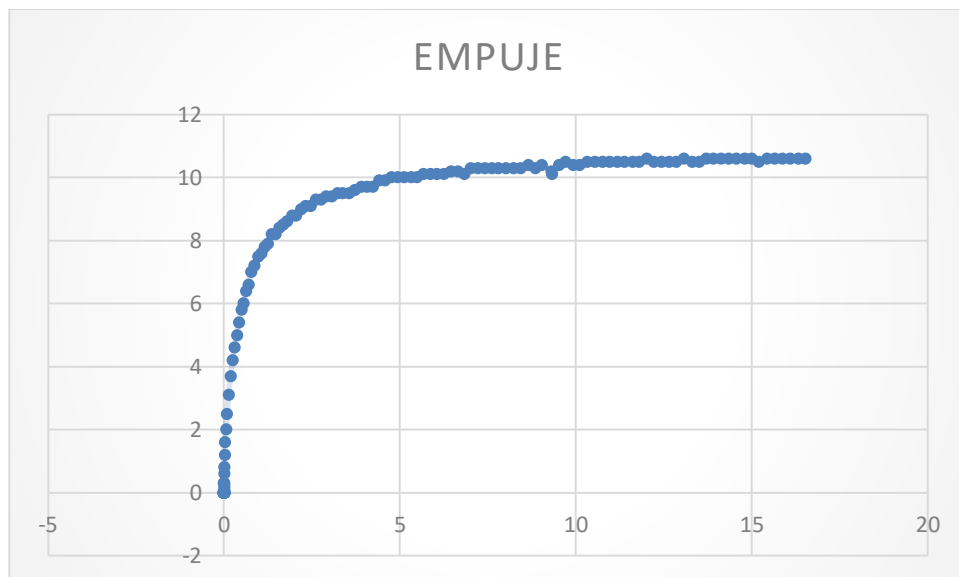




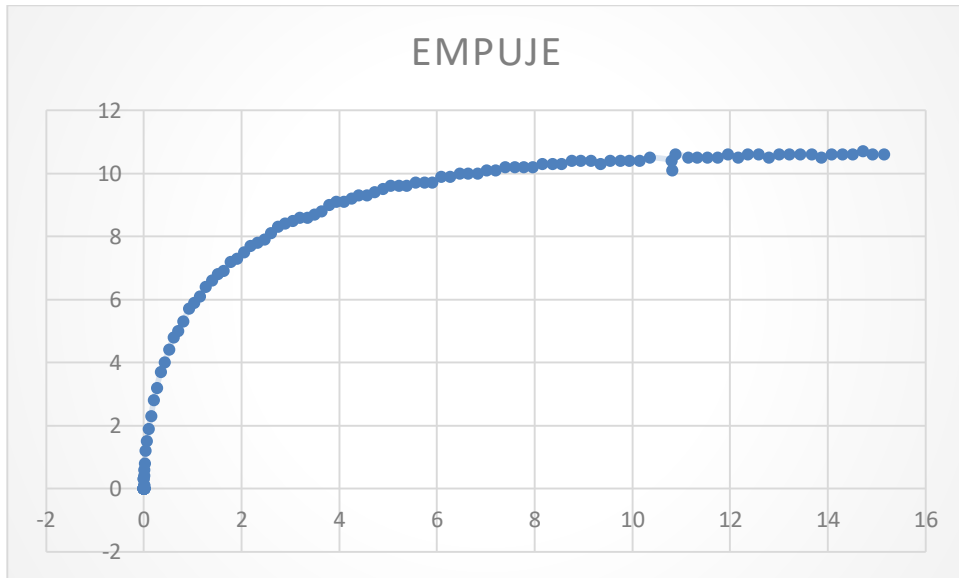
### ENSAYO 3



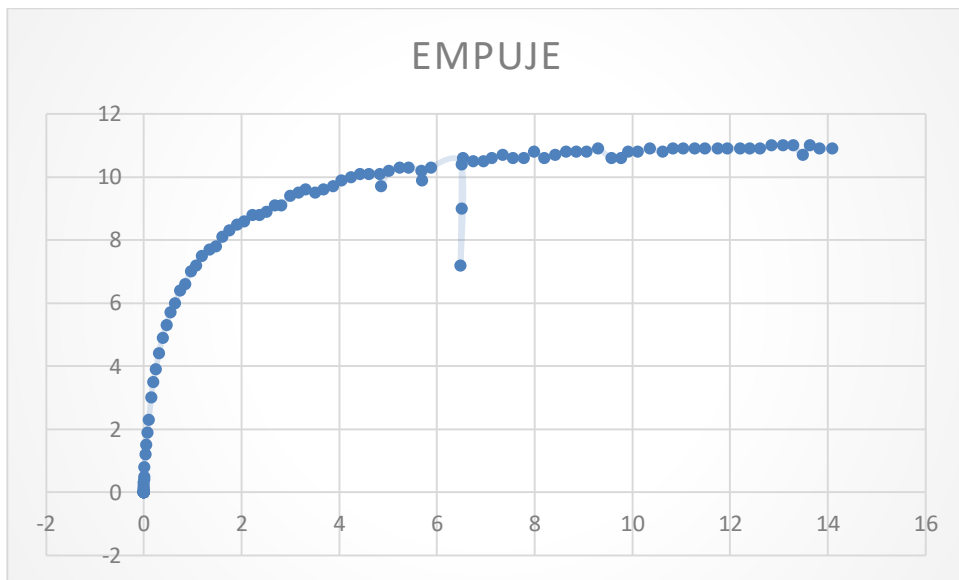
### ENSAYO 4



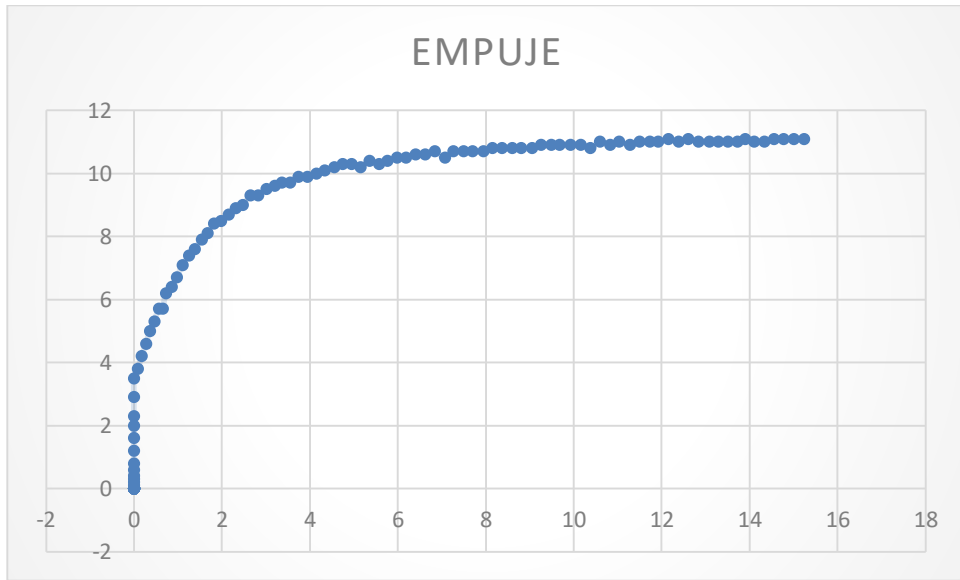
### ENSAYO 5



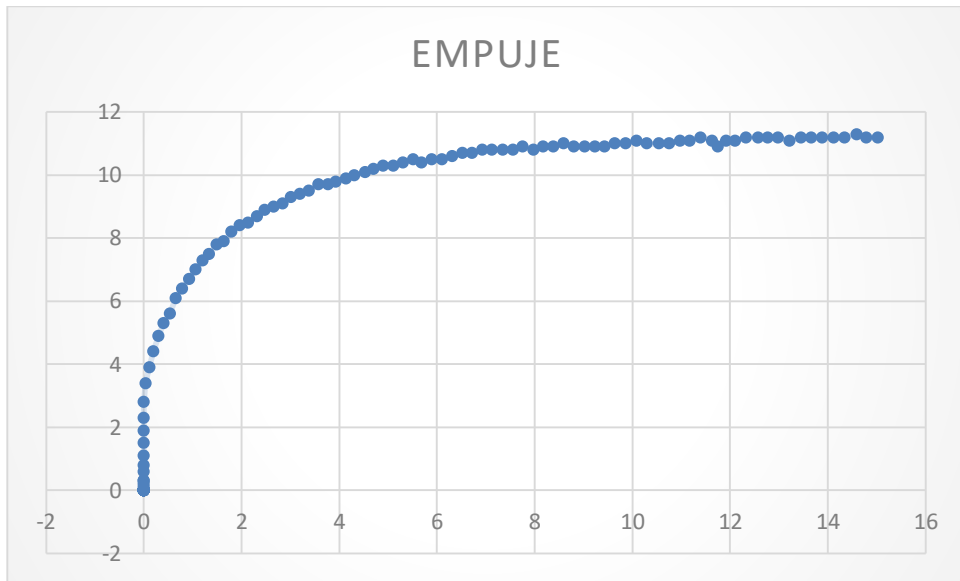
**ENSAYO 6**



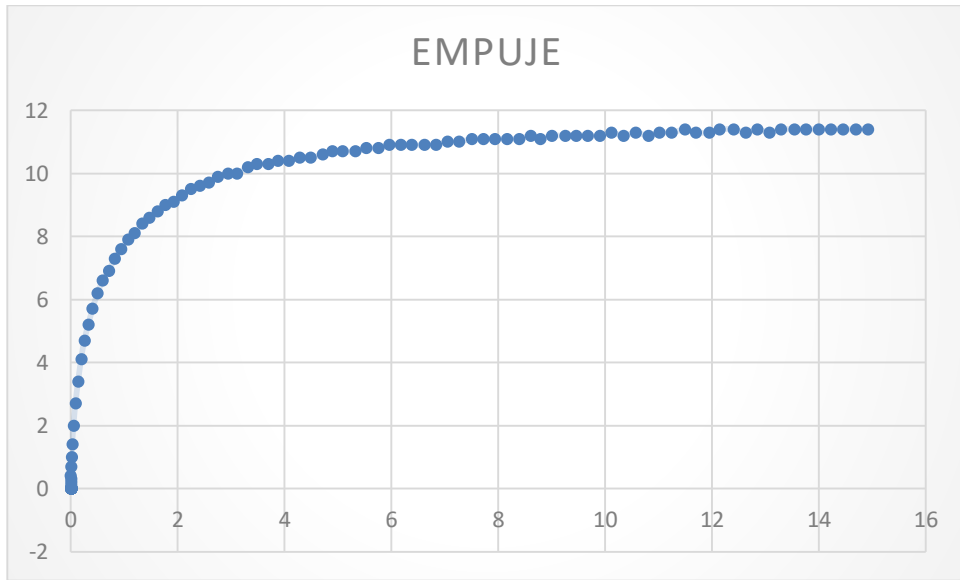
**ENSAYO 7**



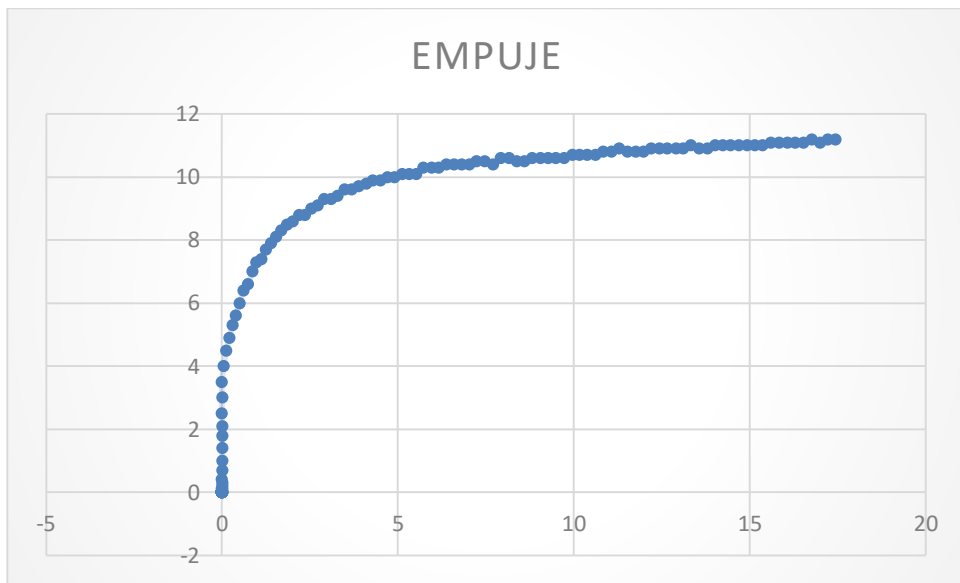
**ENSAYO 8**



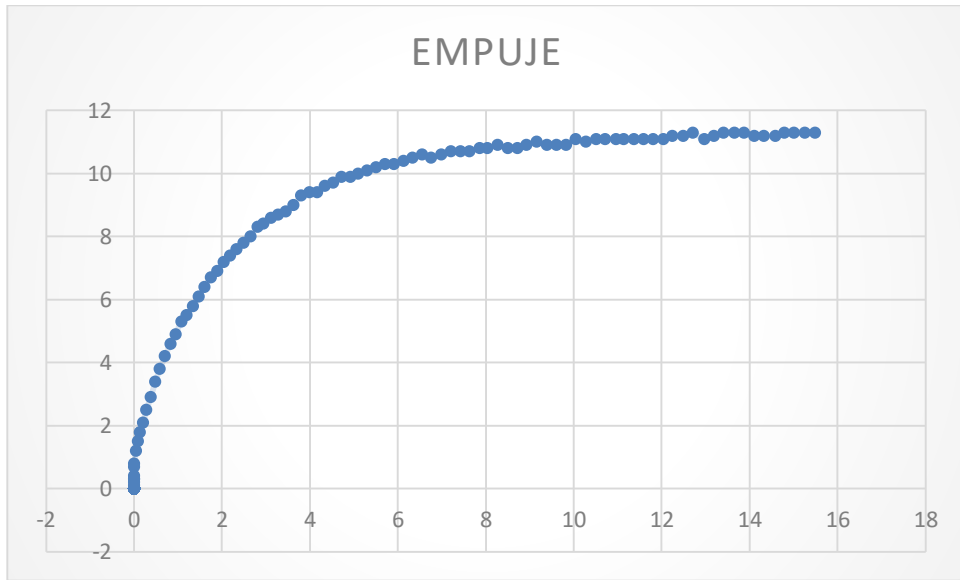
**ENSAYO 9**



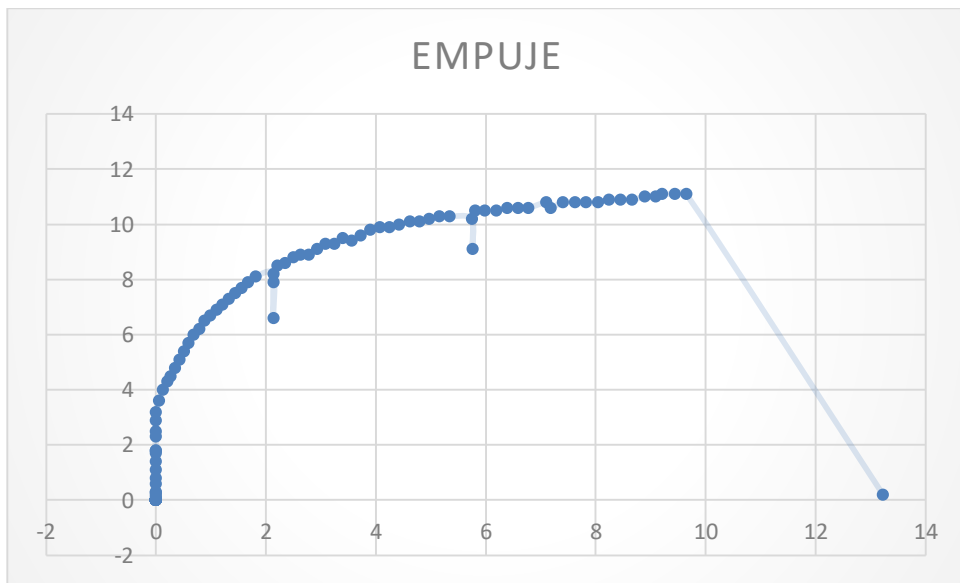
**ENSAYO 10**



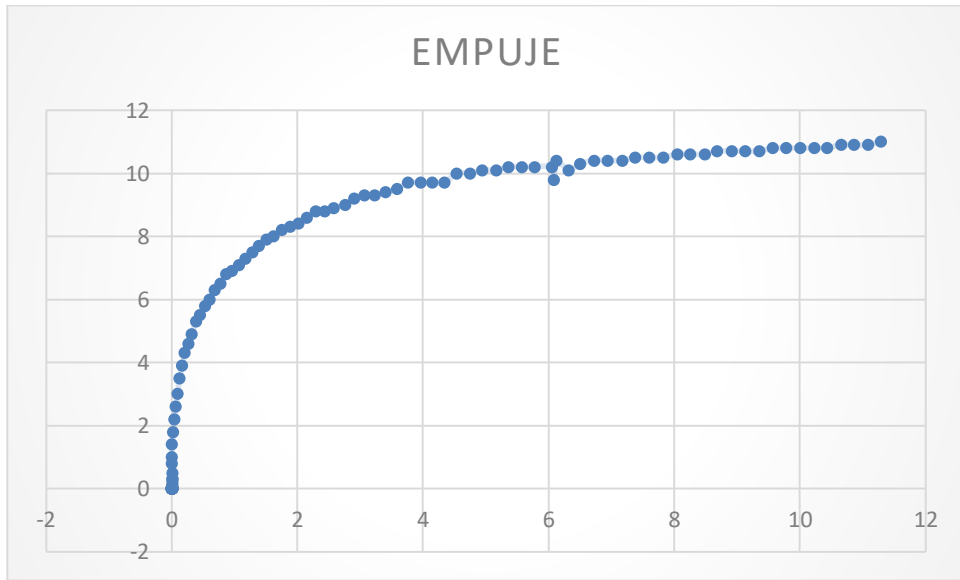
**ENSAYO 11**



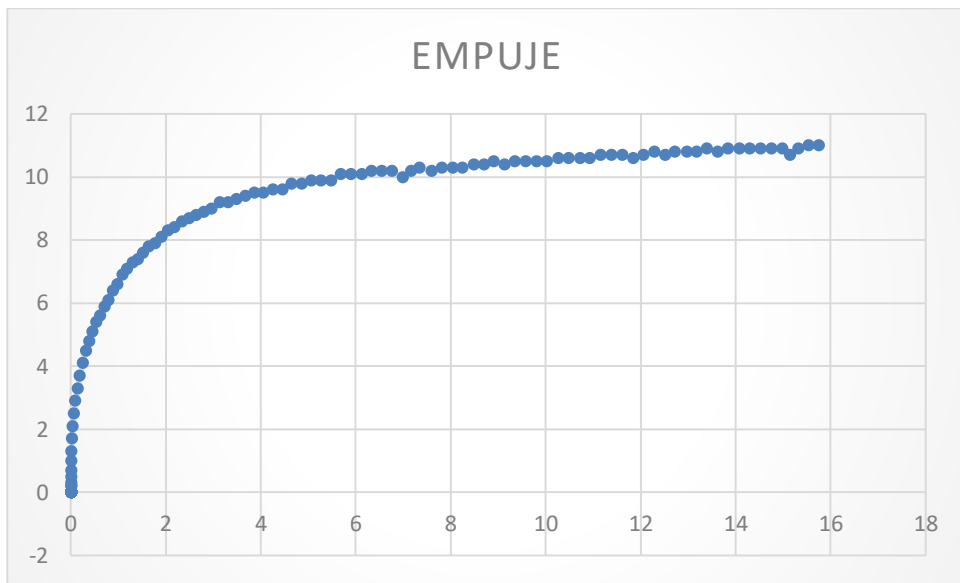
**ENSAYO 12**



**ENSAYO 13**



## ENSAYO 14



**ANEXO F**

**ENSAYOS RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN DEL CONCRETO.**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
DÍAS	MUESTRAS	RESISTENCIA		
		MPA	PSI	%
7	1	12.18	1766.56	58
	2	12.81	1857.64	61
	3	11.34	1644.73	54
14	1	17.85	2588.93	85
	2	18.06	2619.39	86
	3	16.38	2375.72	78
28	1	19.11	2771.69	90
	2	19.53	2803.58	93
	3	18.9	2741.22	90



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



**RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL ACERO.**

