

**DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO-MURO PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE LIMOS  
INORGÁNICOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD PRESENTES EN LA UPB DE  
BUCARAMANGA.**

**PRESENTADO POR:**

**JULYANNA ALEJANDRA USEDA RINCÓN ID: 279693**

**JUAN MANUEL MALAVER CASTILLO ID: 279981**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
BUCARAMANGA  
2019**

**DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO-MURO PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE LIMOS  
INORGÁNICOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD PRESENTES EN LA UPB DE  
BUCARAMANGA.**

**JULYANNA ALEJANDRA USEDA RINCÓN ID: 279693**

**JUAN MANUEL MALAVER CASTILLO ID:279981**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**



**DIRECTOR:**

**Ing. Msc. GERARDO BAUTISTA GARCÍA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
BUCARAMANGA  
2019**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga, Octubre de 2019**

## **DEDICATORIA**

Dedico todas las labores realizadas para terminar este proyecto de grado primero a Dios porque cada día que vivo y todas las bendiciones recibidas se las debo a Él y a las oraciones de mis padres Alvaro y Ludis.

A mis padres Alvaro Useda y Ludis Rincón quienes con su gran esfuerzo y trabajo duro en su taller de mecánica me proporcionaron todo lo que necesitaba económicamente a lo largo de mis estudios universitarios. Papi y mami escribo estas palabras con lágrimas en los ojos, pero de felicidad, por lo afortunada que soy de tenerlos. No me alcanza la vida para darles las gracias por todo: el hogar en que nací y crecí, los valores que me inculcaron, las charlas en las cuales me han brindado sus sabios consejos, su apoyo incondicional en estos 25 años, pero sobre todo gracias por enseñarme a luchar por mis sueños, a nunca darme por vencida y ser fuerte ante las malas situaciones que en la vida se me presenten.

A ti Miguel Angel, hermanito querido. Mi compañero de juegos, bromas y peleas. Soy afortunada de tenerte. Este proyecto de grado también es tuyo porque me soportas y además pusiste algo de tu tiempo al ayudarme a compactar el suelo.

A mi abuelito Miguel Angel y mi abuelita Romelia por estar siempre a mi lado, por sus consejos, por preocuparse tanto por mí y por consentirme, este logro también es de ustedes.

A mis amigos y compañeros de mi vida universitaria, Luis Carlos, Anita, Juan Manuel, Fercho, Gemelas, Fabian, Gissela, Cristhian Menco, Rafa, Sergio porque se convirtieron en mi familia en estos 5 años, acompañándonos en las traspasadas, estudiadas, trabajos, rumbas, cumpleaños. Gracias por tantas risas que me regalaron en momentos tristes.

**Julyanna Alejandra Useda Rincón**

Primeramente, este proyecto de grado se lo dedico a Dios ya que estuvo presente durante todo el transcurso formativo de la universidad y por permitirme terminar otra etapa de mi vida, por permitirme cumplir mis metas y darme la oportunidad de compartirlo en compañía de mi hijo, mi familia y todos mis allegados.

A mi madre y familia porque han sido quienes me han apoyado de manera incondicional para estar hoy en día en donde estoy y porque han hecho un gran esfuerzo para lograr salir adelante. Porque son quienes me han acompañado en toda mi formación, tanto académica como de vida y han estado ahí en todos los momentos de mi vida y me han ayudado a cumplir mis metas.

A Natalia Marín, la madre de mi hijo y a mi hijo, por ser uno de los grandes motores para salir adelante, porque es una de las razones por las que mejorar constantemente se volvió un propósito de vida.

A todas las personas que de cualquier manera colaboraron con la elaboración de este trabajo de grado, su proceso y su desarrollo.

**Juan Manuel Malaver Castillo**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director Msc. Gerardo Bautista por brindarnos la oportunidad de desarrollar este proyecto de grado, nuestros más sinceros sentimientos de gratitud por sus orientaciones, explicaciones, correcciones, mucha paciencia y la disponibilidad de su tiempo. No solo en nuestro proyecto sino también cuando fue profesor de Geotecnia Avanzada en décimo semestre. Es usted una persona excepcional, amable y un profesional dedicado. De todo corazón se lo manifestamos. ¡Muchas gracias, profesor Gerardo!

Al profesor Darío Alonso Ramírez apreciamos mucho el tiempo dedicado, la paciencia y las instrucciones impartidas en la realización de los ensayos del muro de contención. ¡Mil gracias, profesor Darío!, es usted una excelente persona y un profesional ejemplar.

Agradecemos a los laboratoristas Vicente, Sergio, Rubén y al practicante Jhon quienes fueron personas claves en este proceso. Gracias por compartir con nosotros todos sus conocimientos y habilidades.

También queremos agradecerle a Andrés Albarracín, Cristhian Menco, Miguel Ángel Useda, Rafael Hinestroza y Paula, por colaborarnos en la exhausta tarea de recoger material y compactar el suelo de fundación.

# ÍNDICE

1.	OBJETIVOS .....	15
1.1.	OBJETIVO PRINCIPAL.....	15
1.2.	OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	15
2.	PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
3.	JUSTIFICACIÓN .....	16
4.	ALCANCE .....	16
5.	ANTECEDENTES.....	17
	ANTECEDENTE INTERNACIONAL:.....	17
	ANTECEDENTES NACIONALES: .....	18
	ANTECEDENTES REGIONALES:.....	18
	• SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	23
	• ENSAYO DE CORTE DIRECTO .....	26
7.	METODOLOGÍA .....	31
7.1.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	31
7.2	BÚSQUEDA DEL MATERIAL.....	32
7.3.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	32
7.4.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPACTACIÓN .....	32
7.5.	ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE .....	32
7.6.	REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL MODELO A ESCALA .....	32
7.7.	COMPACTACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN.....	32
7.8.	PRUEBAS EN EL MURO DE REACCIÓN.....	32
7.9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
8.	RESULTADOS.....	33
8.1.	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA MALLA 200 .....	33
8.2.	GRANULOMETRÍA ARENA DE LA QUEBRADA PALMICHAL UTILIZADA COMO MATERIAL DE RELLENO .....	36
8.3.	LÍMITES DE PLASTICIDAD.....	38
8.4.	ENSAYOS DE COMPACTACIÓN .....	42
8.5.	ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	46
8.6.	ENSAYOS CON EL MURO A ESCALA .....	47
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
9.1.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	48
9.2.	ENSAYOS DE COMPACTACIÓN .....	49

9.3. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	49
9.4. ENSAYOS SOBRE EL MURO A ESCALA .....	50
✓ PARA $K\phi=0.5 \rightarrow Kc=0.141$ .....	52
✓ PARA $K\phi=0.667 \rightarrow Kc=0.128$ .....	53
✓ PARA $K\phi=0.75 \rightarrow Kc=0.121$ .....	54
✓ PARA $K\phi=1 \rightarrow Kc=0.101$ .....	55
10. CONCLUSIONES.....	57
11. RECOMENDACIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA .....	60
ANEXOS.....	61
ANEXO A.....	63
REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	63
ANEXO B.....	71
GRANULOMETRÍA.....	71
ANEXO C.....	75
LÍMITES DE ATTERBERG .....	75
ANEXO D. ....	79
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO.....	79
ANEXO E. ....	83
ENSAYOS DE CORTE DIRECTO. ....	83
GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.3 .....	96
ANEXO F. ....	121
ENSAYOS MURO DE REACCIÓN.....	121

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. FUERZA HORIZONTAL RESISTENTE.....	16
ECUACIÓN 2. FUERZA DE ROZAMIENTO.....	17
ECUACIÓN 3. FUERZA DE COHESIÓN.....	17
ECUACIÓN 4. MORH -COULOMB .....	27
ECUACIÓN 5. COEFICIENTE DE PRESIÓN ACTIVA DE TIERRAS. ....	31
ECUACIÓN 6. ESFUERZO HORIZONTAL EFECTIVO. ....	31
ECUACIÓN 7. FUERZAS HORIZONTALES .....	51
ECUACIÓN 8. FUERZAS HORIZONTALES. ....	51
ECUACIÓN 9. PARÁMETRO KC. ....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO. 1 EJEMPLOS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS. FUENTE: PROPIA .....	21
GRÁFICO. 2. CARTA DE PLASTICIDAD. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO.....	26
GRÁFICO. 3. ENVOLVENTE DE FALLA DE MOHR Y CRITERIO DE ROTURA MOHR – COULOMB. FUENTE: DEBASHIS MOITRA,2017 .....	28
GRÁFICO. 4 MURO DE CONTENCIÓN EN VOLADIZO. FUENTE: BRAJA M. DAS 2012 .....	29
GRÁFICO. 5. DIMENSIONES APROXIMADAS PARA MUROS DE CONTENCIÓN EN VOLADIZO. FUENTE: FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES BRAJA M.DAS.2012 .....	30
GRÁFICO. 6 CÍRCULO DE MOHR . FUENTE: (JUAREZ BADILLO, 2005).....	30
GRÁFICO 7. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS. FUENTE: PROPIA.....	35
GRÁFICO 8. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS. FUENTE: PROPIA.....	38
GRÁFICO 9. RESULTADOS LÍMITE LÍQUIDO MUESTRA 1. FUENTE: PROPIA. ....	39
GRÁFICO. 10. RESULTADOS LÍMITE LÍQUIDO MUESTRA 2. FUENTE: PROPIA. ....	40
GRÁFICO 11. RESULTADOS LÍMITE LÍQUIDO MUESTRA 3. FUENTE: PROPIA. ....	41
GRÁFICO 12. CURVA DE COMPACTACIÓN. FUENTE: PROPIA.....	43
GRÁFICO 13. CURVA DE COMPACTACIÓN. FUENTE: PROPIA.....	44
GRÁFICO 14. CURVA DE COMPACTACIÓN. FUENTE: PROPIA.....	45
GRÁFICO 15. ENVOLVENTE DE FALLA PROMEDIO. FUENTE: PROPIA.....	47
GRÁFICO 16. CARTA DE PLASTICIDAD. FUENTE: (JUAREZ BADILLO, 2005) .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN MÉTODO AASTHO. ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS GRUESOS. FUENTE: (DAS, 2016) ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA. FUENTE: PROPIA. ....	34
TABLA 4. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA. FUENTE: PROPIA. ....	34
TABLA 5. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA. FUENTE: PROPIA. ....	35
TABLA 6. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA. FUENTE: PROPIA. ....	35
TABLA 7. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA DE LA QUEBRADA PALMICHAL. FUENTE: PROPIA. ....	36
TABLA 8. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA DE LA QUEBRADA PALMICHAL. FUENTE: PROPIA. ....	37
TABLA 9. RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA DE LA QUEBRADA PALMICHAL. FUENTE: PROPIA. ....	37
TABLA 10. RESUMEN DE LOS RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS. FUENTE: PROPIA. ....	38
TABLA 11. RESULTADOS LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO MUESTRA 1. FUENTE: PROPIA. ....	39
TABLA 12. RESULTADOS LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO MUESTRA 2. FUENTE: PROPIA. ....	40
TABLA 13. RESULTADOS LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO MUESTRA 3. FUENTE: PROPIA. ....	41
TABLA 14. RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD. FUENTE: PROPIA. ....	42
TABLA 15. RESULTADOS PROCTOR MODIFICADO PRUEBA NO. 1. FUENTE: PROPIA. ....	43
TABLA 16. RESULTADOS PROCTOR MODIFICADO PRUEBA NO.2. FUENTE: PROPIA. ....	44
TABLA 17. RESULTADOS PROCTOR MODIFICADO PRUEBA NO. 3. FUENTE: PROPIA. ....	45
TABLA 18. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN. FUENTE: PROPIA. ....	46
TABLA 19. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN. FUENTE: (ARMESTO DWERLYS, 2018) ....	46
TABLA 20. ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y COHESIÓN OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE. FUENTE: PROPIA. ....	47
TABLA 21. RESULTADOS FUERZA HORIZONTAL MÁXIMA. FUENTE: PROPIA ....	48
TABLA 22. RESULTADOS PROMEDIOS DE PROPIEDADES. FUENTE: PROPIA. ....	50
TABLA 23. PARÁMETROS $K_c$ Y $K_\phi$ . FUENTE: PROPIA. ....	51
TABLA 24. FUENTE: PROPIA. ....	52
TABLA 25. FUENTE: PROPIA. ....	54
TABLA 26. FUENTE: PROPIA. ....	55
TABLA 27. FUENTE: PROPIA. ....	56

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO-MURO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE LIMOS INORGÁNICOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD PRESENTES EN LA UPB DE BUCARAMANGA.

**AUTOR(ES):** Juan Manuel Malaver Castillo y Julyanna Alejandra Useda Rincón

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Gerardo Bautista García

### RESUMEN

El presente trabajo de grado se elaboró con el objetivo de determinar el ángulo de fricción suelo-concreto y la fuerza de cohesión en la base para un muro de contención a escala cimentado sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad. Los trabajos iniciaron clasificando al material a partir de los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado y límites de Atterberg. Una vez clasificado el suelo se determinó su humedad óptima y su peso específico seco por medio de pruebas de compactación tipo Proctor. Los parámetros de resistencia al corte se estimaron sobre muestras preparadas con la humedad óptima en moldes de compactación. Antes de realizar las pruebas sobre el modelo a escala se compactó el suelo de fundación con la humedad óptima, utilizando la ayuda de cuatro pisonés, procurando obtener un peso específico seco similar al máximo. Sobre el material compactado se colocó el muro de contención a escala y se realizaron quince pruebas con la ayuda de un actuador mecánico, en estas pruebas se aplicaron fuerzas horizontales sobre el modelo provocando su falla por deslizamiento. Con el fin de hacer un control de la compactación y rectificar los parámetros de resistencia al corte se tomaron muestras para realizar nuevamente ensayos de corte directo. Por último, se analizaron los resultados obtenidos y se establecieron diferencias y similitudes entre los valores obtenidos y finalmente se elaboraron conclusiones y recomendaciones para trabajos posteriores.

### PALABRAS CLAVE:

Ángulo de fricción, Muro, Empuje, Limos inorgánicos, Cohesión, Compactación

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DETERMINATION OF THE SOIL-CONCRETE FRICTION ANGLE FOR THE DIMENSIONING OF RETAINING WALLS ON INORGANIC SILT OF LOW COMPRESSIBILITY LOCATED IN THE UPB OF BUCARAMANGA.

**AUTHOR(S):** Juan Manuel Malaver Castillo y Julyanna Alejandra Useda Rincón

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Gerardo Bautista García

### ABSTRACT

The present grade work was developed with the objective of determining the angle of soil-concrete friction and the cohesion force at the base for a scale retaining wall on a grounded on low compressibility inorganic silt. The work began by classifying the material based on the results of the sieve granulometry and Atterberg limits tests. Once the soil was classified, its optimum moisture and its maximum specific dry weight were determined by means of Proctor-type compaction tests. The shear resistance parameters were estimated on samples prepared with the optimum humidity in compaction molds. Before carrying out the tests on the scale model, the foundation floor was compacted with the optimum moisture, using the help of four pounders, trying to obtain a specific dry weight similar to the maximum. On the compacted material the scale retaining wall was placed and fifteen tests were performed with the help of a mechanical actuator, in these tests horizontal forces were applied on the model causing its failure by sliding. In order to control the compaction and rectify the shear strength parameters, samples were taken to perform direct shear tests again. Finally, the results obtained were analyzed and differences and similarities were established between the values obtained and finally conclusions and recommendations were elaborated for later works.

### KEYWORDS:

Friction angle, Retaining Wall, Earth pressure, Inorganic silt, Cohesion, Compaction

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCIÓN

Los muros de contención son elementos cuya misión es soportar los esfuerzos horizontales producidos por el empuje de tierras, dichas estructuras son diseñadas y construidas de tal manera que cumplan los parámetros mínimos de seguridad, entre esos la estabilidad al volteo y al deslizamiento, en donde el ángulo de fricción suelo – muro es uno de los parámetros requeridos para un correcto dimensionamiento de estas estructuras. El presente trabajo de grado se desarrolló con el objetivo de obtener tal ángulo con la ayuda del muro de contención a escala del laboratorio de estructuras de la UPB Seccional Bucaramanga. Para este proyecto se utilizó un suelo limoso inorgánico ubicado en la zona de parqueaderos de la UPB de Bucaramanga, el cual sirvió como suelo de fundación del muro y como suelo de relleno se escogió una arena mal gradada tomada de la quebrada Palmichal frente al edificio L de la UPB Seccional Bucaramanga.

El proyecto inició con la recolección de las muestras del suelo de fundación, para hacer la respectiva clasificación del material, determinar sus parámetros de compactación, resistencia al corte y propiedades geomecánicas, las cuales fueron obtenidas por medio de ensayos de corte directo realizados en muestras del material compactadas con la humedad óptima. Obtenidos los resultados del suelo de fundación, se procedió a recolectar las muestras de la arena escogida para el relleno del muro y posteriormente realizar su clasificación, una vez encontradas las propiedades físicas de la arena, se realizó una revisión de la estabilidad del modelo a escala del muro de contención en donde se estimó el empuje activo con el cual se produciría la falla por deslizamiento del modelo, así como también los factores de seguridad de este.

Finalmente se realizaron pruebas en el muro de contención a escala, para lo cual el modelo fue trasladado al suelo de fundación, el cual se compactó previamente con la humedad óptima usando pisonos. En el muro de reacción el modelo a escala fue sometido a quince pruebas por medio de un actuador y se aplicaron empujes hasta provocar la falla por deslizamiento de la estructura. Después de un número determinado de pruebas, se realizaba un control de compactación y de humedad del suelo tomando muestras, con el fin de realizar las pruebas de corte directo para ajustar los parámetros de resistencia al corte.

Con los datos obtenidos se realizaron cálculos, los cuales arrojaron resultados y fueron analizados. Se elaboraron recomendaciones técnicas y conclusiones en donde se establecen comportamientos generales del material usado en este proyecto.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar el ángulo de fricción suelo-concreto y la fuerza de cohesión en la base para un muro de contención de concreto reforzado cimentado sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad presentes en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

## 1.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Determinar las propiedades físicas de un suelo limoso sobre el cual se va a desplantar un muro de contención a escala, de acuerdo con la energía de compactación suministrada.
- Comparar el empuje que origina el desplazamiento del modelo a escala con las fuerzas horizontales resistentes (Fuerza de Rozamiento y Fuerza de Cohesión) y establecer diferencias con los valores estimados a partir de parámetros sugeridos en la literatura técnica en el área de geotecnia.
- Establecer la incidencia de la cohesión en la estabilidad al deslizamiento de un muro de contención a escala.

## 2. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

El dimensionamiento de un muro contempla el análisis de la estructura completa, Con el fin de estudiar y conocer factores para el diseño de estas estructuras tales como la estabilidad al deslizamiento, presiones de tierras y ángulos de fricción internos, los cuales son factores determinantes en el diseño de la estructura.

Durante muchos años el ángulo de fricción suelo-concreto ( $\delta$ ) se ha estimado como un porcentaje del ángulo de la fricción interna del suelo ( $\phi$ ), tradicionalmente dicho porcentaje se ha escogido entre un 50% y 66%. El presente trabajo tiene como finalidad verificar el ángulo de fricción entre suelo – concreto ( $\delta$ ) de un muro de contención a escala, cimentado sobre limos inorgánicos.

Este trabajo corresponde a una etapa de un proyecto mayor que realizará el director del presente trabajo de grado en el cual se pretende determinar el valor exacto del ángulo de fricción suelo – muro para diferentes tipos de suelos y establecer las variaciones de dicho ángulo de acuerdo con propiedades físicas del suelo, así como también analizar las variaciones del ángulo de acuerdo con la forma del muro.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la ingeniería existen diferentes tipos de obras, pero una de las más destacadas y de mayor importancia corresponde a los muros de contención, los cuales deben diseñarse y dimensionarse de tal manera que estos sean estables al volteo y al deslizamiento y además el suelo de fundación sea capaz de soportar las presiones verticales que su base le transmite.

Al calcular el factor de seguridad por deslizamiento deben evaluarse las fuerzas resistentes y la fuerza lateral que produce el desplazamiento del muro. Las fuerzas horizontales resistentes corresponden a la fuerza de rozamiento y a la fuerza de cohesión, para el cálculo de ellas es necesario definir el valor del coeficiente K que se va a utilizar. Tradicionalmente se han usado valores comprendidos entre 0.5 y 0.67, los cuales se sabe que son conservativos por seguridad.

El trabajo de grado propuesto pretende obtener los valores reales del coeficiente K para un muro de contención en concreto reforzado apoyado sobre un suelo limoso que se encuentra ubicado en la zona de los parqueaderos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

### 4. ALCANCE

En el trabajo propuesto se pretende calcular el valor del coeficiente K que afecta tanto al ángulo de fricción interna, así como también a la cohesión del suelo de fundación. El muro que se va a usar tiene una altura de 1 metro y el suelo sobre el cual se va a cimentar corresponde a un limo inorgánico de baja compresibilidad presente en la zona de parqueos del campus universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

El modelo a escala utilizado se diseñó de tal forma que la fuerza horizontal que produce la falla por deslizamiento deberá estar dentro de los valores medibles por el muro de reacción existente en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Como ya se mencionó atrás, el suelo a estudiar corresponde a un material en el cual tanto la fricción como la cohesión influyen en la estabilidad del muro desplantado sobre él. Por esta razón la fuerza horizontal resistente total tendrá dos componentes así (Das, 2016):

$$F_{Hr} = F_{H1} + F_{H2}$$

*Ecuación 1. Fuerza horizontal resistente*

Donde:

$F_{Hr}$  = Suma de fuerzas horizontales resistentes

$F_{H1}$  = Fuerza de rozamiento

$F_{H2}$  = Fuerza de cohesión

$$F_{H1} = N * \text{Tan}\delta$$

*Ecuación 2. Fuerza de rozamiento*

$$F_{H2} = K * C * B$$

*Ecuación 3. Fuerza de cohesión*

Donde:

N= Suma de fuerzas verticales (Normal)

$\delta$  = Ángulo de fricción concreto-suelo.  $\delta = K * \phi$

K= Coeficiente (En la ingeniería usualmente este valor se toma entre 1/2 y 2/3)

C= Parámetro de cohesión del suelo de fundación

$\phi$ = Ángulo de fricción interna del suelo de fundación

B=Ancho de la base del muro

Los valores particulares de K para el muro y suelo estudiados fueron determinados como se verá más adelante.

## 5. ANTECEDENTES

### Antecedente Internacional:

Como antecedentes internacionales no se encuentra mucha información, pero se consultó un proyecto de grado hecho en el año 2013 en la Universidad Católica de Perú, realizado por Rubén Rodrigo Vargas Tapia, titulado: Análisis de la influencia de la variabilidad de los parámetros geotécnicos en el diseño geotécnico de muros de contención, utilizando el Método Monte Carlo. El objetivo principal de este trabajo consistió en analizar la incertidumbre en el diseño geotécnico de muros de contención en voladizo cimentados sobre suelos cohesivos y relleno granular. Se estimó la variación de los factores de seguridad por volteo, deslizamiento y capacidad portante de acuerdo con la variación de los parámetros de resistencia al corte y las dimensiones del muro. Para este trabajo se empleó el método de Monte Carlo. En este trabajo se encontró que el cambio de los valores de los factores de

seguridad se ve afectado por el ángulo de fricción y la cohesión en condiciones no drenadas del suelo de cimentación, el peso específico del suelo retenido y la altura.

### **Antecedentes Nacionales:**

Para la realización de este proyecto, se consultaron diversos artículos e investigaciones cuyos temas están relacionados con el objetivo de este proyecto. La Universidad de la Salle junto con la Universidad Nacional de Colombia en el año 2011 en Bogotá, realizaron una investigación en donde Jorge Pineda y Julio Colmenares estudiaron los parámetros de resistencia al corte en interfaces arcilla-concreto, aquellos parámetros se obtuvieron por medio de ensayos de corte directos consolidados y drenados con rugosidades diferentes. Con el objetivo de determinar la influencia sobre los parámetros de resistencia al corte. Los resultados obtenidos en aquella investigación demostraron que para las interfaces usadas  $\delta$  varía entre un 0.85 y un 1.00 del ángulo ( $\phi$ ). (Pineda & Colmenares, 2011).

Otra investigación consultada fue un proyecto de grado realizado en la Universidad Pontificia Javeriana de la ciudad de Bogotá, por la estudiante Ginna Ivonne Montoya Suarez titulado: "Parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo-concreto", en este proyecto se estudiaron los resultados obtenidos para los parámetros de resistencia al corte en un suelo que pasa por el tamiz No.4 en contacto con concretos de diferentes rugosidades. En este proyecto de grado se realizaron ensayos de corte directo en donde se estudiaron parámetros en interfaces suelo-suelo y suelo-concreto, se compararon los resultados obtenidos y se dieron a conocer observaciones tales como que el ángulo de fricción interno obtenido por la interfaz suelo-suelo fue  $7,47^\circ$  mayor al ángulo de fricción encontrado en la interfaz suelo-concreto. También se concluyó que el ángulo de resistencia al corte suelo-concreto es 0,75 y 0,89 veces el ángulo aportado por la interfaz suelo-suelo. (Montoya, 2013)

### **Antecedentes Regionales:**

De igual manera se consultaron proyectos de grado de la Universidad Pontificia Bolivariana con el propósito de establecer la mayor cantidad posible de antecedentes que puedan aumentar el conocimiento hacia el tema que se va a abordar. Uno de los proyectos consultados fue el proyecto de grado realizado por Carroll Solano en el 2014 titulado: "Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad", este trabajo de grado consistió en analizar la incidencia de la cohesión dentro de los factores de seguridad por deslizamiento y por capacidad portante, cuyo valor es determinante para el dimensionamiento de muros de contención, después de realizar los ensayos de corte directo, se analizaron los resultados y se pudo concluir que, al desprestigiar la cohesión del suelo de fundación en el cálculo del factor de seguridad por deslizamiento, se obtienen muros

inestables y por lo tanto es necesario modificar sus dimensiones. (Aumentar su volumen). (Solano, 2014)

Otro trabajo de grado similar al anteriormente mencionado y que también fue consultado fue realizado por Erika Lizeth Estupiñán Báez y María del Pilar Sánchez Hernández titulado: “Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre arena arcillosa”, este proyecto se enfocó en analizar la cohesión dentro del dimensionamiento de muros de contención de gravedad, para este análisis se dimensionaron seis muros de contención en donde el factor ( $\delta$ ) fue de  $2/3$  del valor de la cohesión inicialmente. Posteriormente se procedió a analizar los mismos seis muros de contención, pero despreciando el valor de la cohesión aportado por el suelo de fundación, al obtener los resultados se compararon los volúmenes correspondientes al concreto contenido por los muros en ambos tipos de ensayos, y se obtuvo como resultado que al despreciar la cohesión dentro de los cálculos de los factores de seguridad, en este caso el de deslizamiento, este disminuye y por lo tanto se hace necesario aumentar las dimensiones del muro, por tanto su probabilidad de falla por volteo aumenta y además se concluye, que dicho aumento es mayor en muros de espalda recta que en aquellos de espalda inclinada. (Estupiñán Báez & Sánchez Hernández, 2016).

El siguiente trabajo de grado consultado fue el proyecto titulado: “Determinación del ángulo de fricción suelo-muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos”, realizado por los estudiantes Dwerlys Armesto Duarte y Yeiser Nicolás Pinto Luquez, quienes basaron su proyecto en determinar el ángulo de fricción entre un muro de contención a escala construido por ellos mismos y una arena mal gradada que se utilizó como suelo de fundación y de relleno, el muro fue construido y diseñado de tal manera que su estabilidad al volteo fuera mucho mayor a la de deslizamiento, con el objetivo de lograr que al aplicarle fuerzas horizontales por medio de un actuador, dicho muro fallara por deslizamiento, inicialmente se utilizó la teoría de Rankine en donde el ángulo de fricción suelo-muro fue igual a las dos terceras partes del ángulo de fricción interno de la arena, estimando un empuje máximo de 9 kN . Una vez hechos los ensayos con dicho actuador, se determinó el ángulo de fricción suelo-muro y se obtuvieron resultados mayores al esperado en donde el empuje máximo en promedio fue de 11,11 kN por lo cual se estableció que, para este tipo de suelo, la diferencia de valores es amplia (2,11 kN), y se encontró que el ángulo de fricción suelo –muro varió entre 76% y 83% del ángulo de fricción interno de la arena escogida. (Armesto Duarte & Pinto Luquez, 2018).

También, se consultó el trabajo de grado realizado por los estudiantes Juan José Parra Gómez y Zamid Tajan Melón, cuyo proyecto de grado es similar a los dos proyectos anteriormente nombrados, titulado: “Determinación de parámetros para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos mal gradados de la quebrada Aguablanca”. En dicho trabajo de grado se analizó la variación del ángulo de fricción suelo-concreto para un modelo a escala apoyado sobre una arena mal gradada de la quebrada Aguablanca en el municipio de Floridablanca-Santander. Por medio de la teoría de Rankine inicialmente se estimó que la falla por

deslizamiento se produciría con una fuerza horizontal de 8,93 kN, sin embargo, la falla se produjo con una fuerza horizontal promedio de 11,56 kN suministrada por un actuador. Finalmente se encontró que el ángulo de variación de K estaba entre 0,82 y 0,87. (Parra Gómez & Tajan Melón, 2018)

Otro de los trabajos de grado consultados fue el realizado por los estudiantes Arnold Hernández y Camilo Navarro en el año 2019, titulado: “Determinación del ángulo de fricción suelo-muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos de la quebrada Zapamanga”, este proyecto de grado es similar al anterior consultado, en donde se toma un tipo de suelo arenoso, se utiliza como material de fundación y relleno para un muro de contención a escala para posteriormente fallar dicho muro por deslizamiento por medio de un actuador, para luego concluir según los resultados obtenidos teniendo en cuenta que, en este caso el suelo utilizado es una arena limosa bien gradada de la quebrada Zapamanga (Floridablanca, Santander). También se utilizó la teoría de Rankine en donde el ángulo de fricción suelo-muro fue igual a las dos terceras partes del ángulo de fricción interno de la arena, dando un empuje máximo estimado de 7,83 kN. Al realizar los ensayos con el actuador y el muro de contención se obtuvieron como resultados, que el empuje máximo promedio fue de 11,1 kN, lo que quiere decir que, para este tipo de suelo y el parámetro K a diferencia de los trabajos de grado anteriores, varió entre un 0,88 y un 0,94. (Navarro Garcia & Hernandez Ayala, 2019)

## 6. MARCO TEÓRICO

### • LIMOS INORGÁNICOS

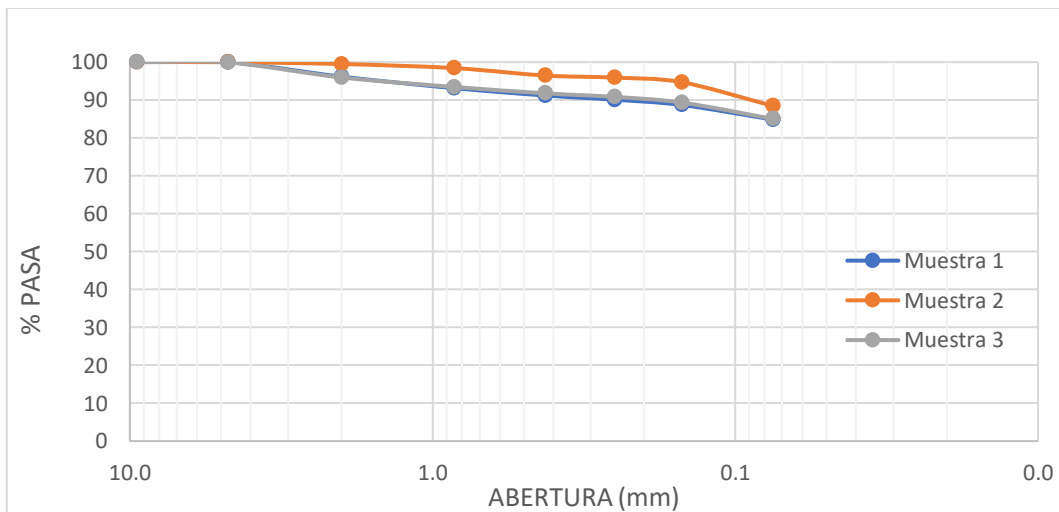
Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) los suelos se dividen en dos grupos diferentes: Los suelos granulares en los cuales más del 50% de una muestra estudiada de un suelo específico no pasa por el tamiz No. 200 y los finos en los cuales más del 50% de dicha muestra si pasa. Los suelos finos a su vez se dividen en arcillas y limos, teniendo las arcillas una plasticidad alta y los limos una plasticidad baja.

Los limos inorgánicos de baja compresibilidad según el Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) son considerados como suelos finos donde dos letras mayúsculas, son elegidas para denominar su símbolo, la primera letra hace referencia al tipo de suelo, el cual en este caso es un limo y es representado por la letra M y aquellos suelos finos cuyo límite líquido corresponde a un valor menor al 50% hacen parte de los suelos con baja compresibilidad y se les añade al símbolo genérico la letra L, dando como resultado así la combinación ML para los limos inorgánicos de baja compresibilidad. (Das, 2016)

- **GRANULOMETRÍA**

La granulometría es el análisis por el cual una muestra de suelo es sometida a la separación por tamaño de sus partículas, calculando la cantidad de cada uno de los tamaños obtenidos con el fin de conocer el tipo de suelo con el cual se está tratando. El tamaño de las partículas del suelo analizado se determina mediante tamices de malla cuadrada ordenados de manera decreciente de aberturas. Este análisis se complementa con un lavado del material, el cual se realiza por la malla N° 200 para eliminar la fracción fina y disolver grumos. Una vez realizado el lavado, el material se debe secar para finalmente proceder al tamizado a través de los tamices y obtener la distribución de tamaños.

La curva granulométrica es una forma de mostrar los datos obtenidos en el análisis anterior, de tal manera que los resultados son representados de una forma ilustrativa de manera que las partículas de la muestra estudiada son organizadas de acuerdo con su tamaño. En donde en el eje de las abscisas se relaciona la abertura del tamiz y en el eje de las ordenadas el porcentaje de material que pasa por cada malla. (Juarez Badillo, 2005) (Ver gráfico 1)



**Gráfico. 1** Ejemplos de curvas granulométricas. **Fuente:** Propia

- **LÍMITES DE ATTERBERG**

Los límites de Atterberg corresponden al rango de humedades dentro del cual el suelo se comporta plásticamente. Estos límites son el líquido y el plástico, estos límites sirven para ubicar la fracción fina en la carta de plasticidad y clasificar al suelo en uno de sus grupos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS)

Para poder establecer estos límites es necesario que la muestra a estudiar pase por el tamiz No. 40. El límite líquido se obtiene por medio de la cazuela de Casagrande y hace referencia a la humedad necesaria para que una ranura hecha sobre la muestra del material se cierre con 25 golpes.

El límite plástico se refiere a la humedad que necesita un rollo del mismo material para que se desmorone o agriete después de una manipulación consecutiva con la cual el contenido de agua disminuye. (Juarez Badillo, 2005)

- **CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

A macro escala los suelos se han clasificado en suelos finos y gruesos, pero para quien maneja una investigación con un material específico, es necesario clasificar los suelos de una manera más precisa para que su nomenclatura transmita una mejor descripción a su comportamiento desde el punto de vista geotécnico.

Al realizar una clasificación más precisa del material, enfocados en un sistema de referencia conocido y especificado por la técnica, la comunicación entre personas que trabajen con este material se hace más sencilla y se transmite más información de una manera rápida.

Estos sistemas de clasificación organizan los suelos en grupos y subgrupos de acuerdo al tamaño de las partículas que componen los suelos y teniendo en cuenta la plasticidad de su fracción más fina. Los sistemas de clasificación más usados son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y el Sistem American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (Juarez Badillo, 2005)

- **CLASIFICACIÓN AASHTO**

En este sistema de clasificación, los suelos son divididos o separados en siete grupos (A-1, A-2, ..., A-7) en función del tamaño de las partículas y los límites de Atterberg ofrecidos por cada suelo (granulometría y plasticidad). Los grupos establecidos corresponden a dos tipos de suelos diferentes, suelos granulares y suelos limo-arcillosos, los suelos granulares (A-1, A-2 y A-3) corresponden a

aquellos en los cuales se tiene un porcentaje de igual o menor al 35% y según sus límites de plasticidad y la cantidad de material pasante por los tamices N°200, 40 y 10 se ubicarán en alguno de los grupos anteriormente mencionados.

Se consideran materiales limo – arcillosos si más del 35% del material estudiado atraviesa el tamiz N°200 y según los datos aportados por los límites de plasticidad, el material hará parte de los siguientes grupos: A-4, A-5, A-6 o A-7. (Das, 2016)

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

**Tabla 1.** Clasificación método AASTHO. **Fuente:** (Das, 2016)

## • SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) inicialmente fue propuesto por A. Casagrande en 1942, este método de clasificación contempla suelos granulares y suelos finos. Para lograr clasificar estos dos tipos de suelo este sistema los separa por medio del tamiz No.200, en donde aquellas partículas que no traspasan este tamiz son catalogadas como partículas pertenecientes a suelos gruesos o granulares y las que si lo traspasan se consideran partículas que hacen parte de suelos finos. En el caso del S.U.C.S un suelo es considerado como granular

cuando más del 50% de la muestra representativa a estudiar no traspasa la malla No.200. Por el contrario, si más del 50% de la muestra traspasa la malla es considerado como un suelo fino.

Los suelos gruesos en este caso tienen como símbolo una letra mayúscula, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos de ese grupo, gravas, G (gravel) y arenas y suelos arenosos, S (Sand). Las gravas y las arenas son separadas por la malla N° 4 de manera que un suelo pertenece al grupo G (gravas) si más del 50% de su fracción no pasa la malla N° 4 y es del grupo S (arenas), en caso contrario. (Juarez Badillo, 2005)

Las gravas y las arenas con pocos finos o libres de ellos se subdividen en cuatro tipos, gravas bien gradadas (GW) y arenas bien gradadas (SW), en donde el requisito para pertenecer a estos subgrupos es que el contenido de las partículas finas dentro del suelo no sea mayor a un 5% en peso y cumplir con los requisitos de gradación (Ver tabla 2). Gravas pobremente gradadas (GP) y arenas pobremente gradadas (SP), en donde el material está prácticamente limpio de finos, presentan un predominio de un tamaño y satisfacen los requisitos señalados en lo referente al contenido de partículas finas (máximo 5%) pero no se cumple con uno o los dos requisitos de gradación. Los grupos GM y SM referente a materiales gruesos con cantidad apreciable de finos mayor al 12% del peso de la muestra y además sus límites de plasticidad los ubican o bien por debajo de la línea A o bien en la zona por encima de la línea A con un IP menor a 4%. los grupos GC y SC correspondientes material con cantidad apreciable de finos en su muestra el cual debe ser entre 5% y 12% en peso se ubican en la carta de plasticidad, en la zona por encima de la línea A y además su IP es mayor al 7%. (Juarez Badillo, 2005)

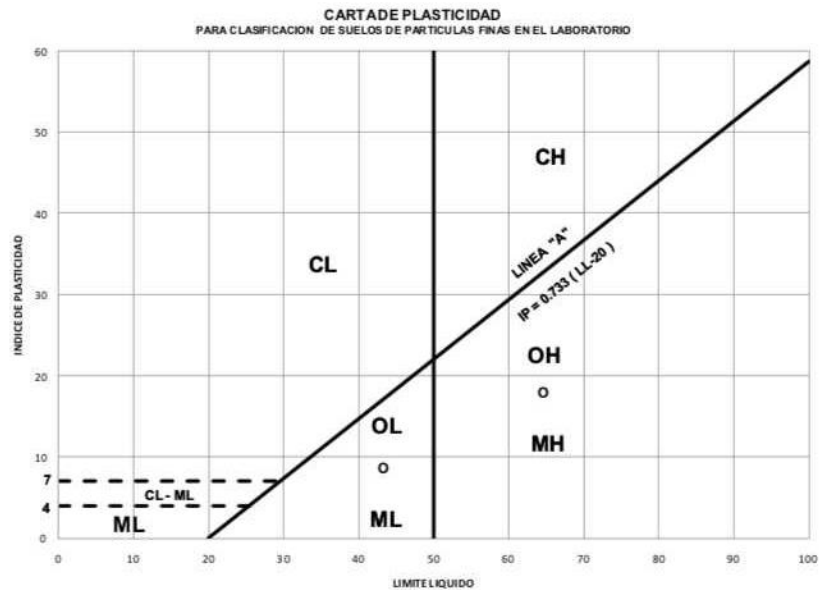
<b>SISTEMA CLASIFICACION USCS</b>							
GRUESOS (<50% pasa 0.08 mm)							
Tipo de Suelo	Símbolo	% Pasa 5mm. ***	% Pasa 0.08 mm. ***	CU	CC	**IP	
Gravas	GW	<50	<5	>4	1 a 3		
	GP			<=6	<1 ó >3		
	GM		>12				<0.73(wl-20) ó <4
	GC						<0.73(wl-20) ó >7
Arenas	SW	>50	<5		1 a 3		
	SP				<1 ó >3		
	SM		>12				<0.73(wl-20) ó <4
	SC						<0.73(wl-20) ó >7
*Entre el 5 y el 12% usar simbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC. ***respecto a la fraccion retenida en el tamiz 0.080 mm							
** Si IP= 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (wl-20), usar simbolo doble: GM-GC, SM-SC							

En casos dudosos favorecer clasifiacion menos plastica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.	
$C_u = (D_{60}) / (D_{10})$	$C_c = (D_{30}^2) / (D_{60} * D_{10})$

**Fuente: (Das, 2016)**

Como se mencionó anteriormente los suelos finos son aquellos en los cuales más del 50% en peso de una muestra representativa pasa por el tamiz No.200. Estos suelos finos se dividen en dos grandes grupos los limos y las arcillas, los primeros tienen una plasticidad que varía de baja a media, mientras que las arcillas tienen una plasticidad que varía entre media y alta. Los limos se representan por la letra M, mientras que las arcillas se representan por la letra C, a su vez arcillas y limos se subdividen de acuerdo con su compresibilidad (Alta o baja). Se considera que un limo o una arcilla es de baja compresibilidad si su límite líquido es inferior al 50%, en este caso se agrega la letra L, resultando los grupos ML y CL (Limo de baja compresibilidad y Arcilla de baja compresibilidad respectivamente). Por el contrario, se considera que los limos y las arcillas son de alta compresibilidad si su límite líquido es superior al 50%, en este caso se agrega la letra H, resultando los grupos MH y CH (Limo de alta compresibilidad y Arcilla de alta compresibilidad respectivamente). (Das, 2016)

En el caso del presente trabajo de grado el suelo de fundación escogido correspondió a un Limo inorgánico de baja compresibilidad ML, dado que su contenido de finos fue superior al 50% y los límites de plasticidad efectuados sobre la fracción del material que pasa por la malla No. 40 lo ubicaron en la carta de plasticidad de Casagrande (Ver gráfico 2) en la zona por debajo de la línea A y con un límite líquido inferior al 50%. (Juarez Badillo, 2005)



**Gráfico. 2.** Carta de plasticidad. Propiedades geotécnicas del suelo.

## • COMPACTACIÓN

Los ensayos de compactación son utilizados en el estudio de suelos para la construcción de terraplenes u obras de contención y otras obras de tierra. Son ensayos que se rigen por normas como la ASTM y adoptadas por el Instituto Nacional de Vías en el caso de Colombia y son necesarios para caracterizar un material en obra. La compactación de un suelo produce un incremento en la densidad del material, agregando beneficios como la reducción de la compresibilidad, incremento en la resistencia al corte y disminución de la permeabilidad.

Décadas atrás R.R Proctor diseño un ensayo de laboratorio con el objetivo de recrear las densidades obtenidas con equipos de la época, esas densidades se obtenían con una energía de compactación cercana a los 600 kJ/m<sup>3</sup>, la cual se alcanzaba usando dimensiones y pesos apropiados de un molde y un martillo junto con un número determinado de capas y golpes, a este ensayo se le adjudicó el nombre de Proctor estándar. Con la industrialización del mundo emergieron equipos de compactación con los que se pueden obtener densidades mayores, por lo cual se dio a conocer el Proctor modificado, ensayo cuyas dimensiones, peso del molde y martillo fueron modificados para obtener mayores energías de compactación. (Das, 2016)

La compactación de suelos por medio de ensayos como el Proctor estándar y Proctor modificado son dos de los métodos más utilizados para el estudio de compactación de suelos para la construcción de obras de tierra. En el ensayo de compactación se determinan parámetros importantes como lo son el peso específico seco máximo y la humedad con la cual este se alcanza (humedad óptima). Una vez determinados los parámetros de compactación, en obra se procede a compactar el relleno o capa con la humedad óptima y el equipo adecuado, una vez finalizado este proceso se procede a realizar un control de compactación por medio de ensayos en campo tales como el de cono y arena o por medio del densímetro nuclear. (Bowles, Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1978)

- **ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

El ensayo de corte directo se realiza para encontrar la resistencia al corte de un suelo. Esta prueba es realizada mediante la deformación de una muestra de suelo en un rango de deformación controlada. En el ensayo se realizan distintas pruebas, cada una bajo una diferente carga normal. En esencia la finalidad del ensayo es cortar una muestra de suelo de tal manera que se pueda medir la resistencia del suelo al tratar de desplazarla de manera horizontal hacia direcciones opuestas. Para esto se utiliza un marco que tiene como función hacer que la mitad de la muestra de suelo se desplace en una dirección opuesta respecto a la otra a una velocidad constante de deformación y medir la fuerza de corte que paulatinamente separa a la muestra en dos partes iguales y los datos del desplazamiento progresivo en el transcurso del ensayo desde que la muestra está intacta hasta llegar a la falla.

Este ensayo es requisito para cualquier estudio de suelos, porque en él se determinan parámetros importantes de resistencia, tales como la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo, además de su peso específico, los cuales sirven para dimensionar y diseñar obras de contención y cimentación (muros, pilotes, zapatas, etc.). (Das, 2016)

Mohr postuló una teoría, en donde afirma que el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, son las responsables de la falla de un material expresándolo de la siguiente manera:

$$\tau_f = C + \sigma \tan \phi$$

*Ecuación 4. Mohr -Coulomb*

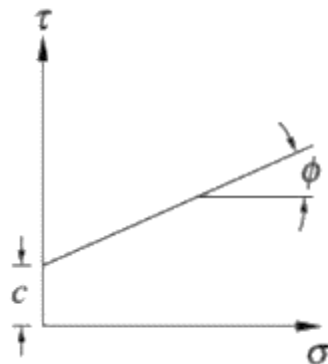
- C = Cohesión
- $\phi$  = Ángulo de fricción interna para esfuerzos efectivos.
- $\sigma$  = Esfuerzo normal efectivo

Para cada muestra se utiliza un esfuerzo normal diferente que la hace fallar con un determinado esfuerzo cortante. Para obtener la envolvente de falla se ubica en el eje de las abscisas al esfuerzo normal y en el eje de las ordenadas al esfuerzo cortante que llevó a la falla a cada muestra, obteniendo una línea cuya pendiente corresponde al ángulo de fricción interna y la distancia desde su corte con el eje de las ordenadas hasta el origen del sistema de coordenadas corresponde a la cohesión. (Ver gráfico 3)

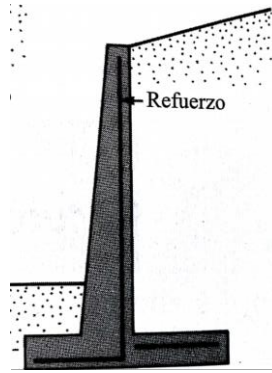
**Gráfico. 3.** Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura Mohr – Coulomb. **Fuente:** Debashis Moitra, 2017

- **MUROS DE CONTENCIÓN**

Los muros de contención son estructuras que proporcionan soporte lateral permanente a taludes con respecto al suelo. Existen distintas clases de muros de contención, uso específicamente de voladizo, el cual está delgado situado de es soportar el empuje y ejercidas por el material diseñada y construida inestabilidades de la (Bowles, Manual de Ingeniería Civil, 1978)



proporcionan soporte lateral verticales o casi verticales. Existen distintas clases de pero en este caso se hará un muro de contención en constituido por un tallo manera vertical cuya función las cargas horizontales retenido y una losa de base en función de prevenir estructura por posible volteo. laboratorio de suelos en

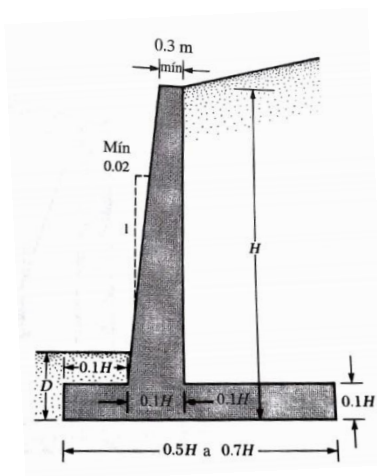


**Gráfico. 4** Muro de contención en Voladizo. **Fuente:** Braja M. Das 2012

Además de los muros en voladizo también existen los muros anclados. El modelo a escala del que se hará uso para el desarrollo del presente trabajo de grado corresponde a un muro en voladizo de un metro de altura. (Das, 2016)

- **DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN**

Para el correcto dimensionamiento de un muro de contención se deben tener en cuenta datos geotécnicos o valores básicos tanto del suelo que se va a contener, así como también del suelo de fundación, como lo son el peso específico, ángulo de fricción interna y cohesión. A partir de estos parámetros físicos se estima el empuje activo que actúa sobre el muro y después se determinará la estabilidad de este ante posibles fallas por volteo, deslizamiento y capacidad de soporte. (Das, 2016)



**Gráfico. 5.** Dimensiones aproximadas para muros de contención en voladizo. **Fuente:** Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones BRAJA M.DAS.2012

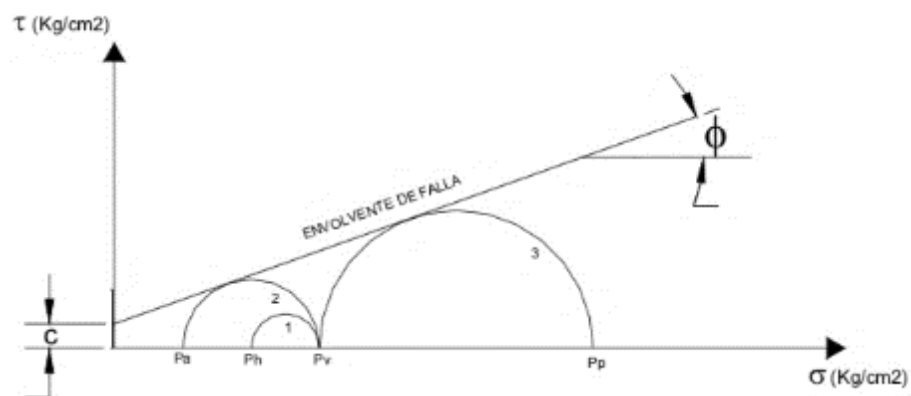
Para saber si las dimensiones escogidas para un muro de contención determinado son las apropiadas, se deberán calcular los factores de seguridad por volteo, deslizamiento y capacidad portante y comparar los valores obtenidos con los exigidos por la normativa local (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el caso de Colombia).

### ▪ TEORÍA DE RANKINE: SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN

Rankine determinó que a partir del estado de reposo (círculo 1, gráfica 4) 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 de los esfuerzos principales toca tangencialmente a la envolvente de falla). En este caso se habrá alcanzado el estado activo (círculo 2, gráfico 6).

b) Aumentando la presión horizontal hasta que esta alcanza su valor máximo posible (cuando el círculo de Mohr de los esfuerzos principales toca tangencialmente a la envolvente de falla, pero por el lado contrario). En este caso se habrá alcanzado el estado (círculo 3, gráfico 6) pasivo. (Juarez Badillo, 2005)



**Gráfico. 6** Círculo de Mohr . **Fuente:** (Juarez Badillo, 2005)

### ➤ Estado activo

El estado activo se da cuando una masa del suelo se logra mover hacia afuera de un espacio en el que se encontraba limitado, lo cual permite que su presión horizontal disminuya hasta llegar a la presión mínima a la que el suelo puede ser sometido.

Según Rankine el Coeficiente de Presión Activa de Tierras ( $K_a$ ) se determina a través de la siguiente ecuación:

$$K_a = \frac{\sigma'_v}{\sigma'_h} = \text{Tan}^2\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right)$$

*Ecuación 5. Coeficiente de presión activa de tierras.*

Y para calcular el esfuerzo horizontal Efectivo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma'_h = \sigma'_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

*Ecuación 6. Esfuerzo horizontal efectivo.*

Donde:

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

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

$C$ : Cohesión.

El empuje activo corresponde al área del diagrama de presiones totales (presión efectiva, presión de poros, presión lateral generada por sobrecargas verticales, presión sísmica, etc.) en el estado activo. (Bowles, Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1978)

En el caso del modelo a escala ensayado en el presente trabajo de grado no se colocaron sobre cargas externas verticales ni se simularon cargas dinámicas para prevenir la falla estructural de dicho modelo.

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1. Recolección de información

Primero se revisaron trabajos de grado, artículos y ponencias sobre temas similares a los del presente trabajo de grado. Así mismo se consultó en los libros disponibles en la Biblioteca de la Universidad Pontificia Bolivariana acerca de teorías existentes para el cálculo de presiones laterales de tierra y dimensionamiento de muros de contención.

## **7.2 Búsqueda del material**

Se extrajeron 50 bultos de aproximadamente 45 kilogramos de material ubicado en el sector de los parqueaderos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga requeridos para el suelo de fundación. Este material debía tener las características y especificaciones adecuadas para llevar a cabo las diferentes investigaciones. También se extrajo 15 bultos de material arenoso de aproximadamente 35 kg de la Quebrada Palmichal ubicada en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga los cuales fueron utilizados como suelo de relleno del muro de contención.

## **7.3. Clasificación del suelo**

Para la clasificación del suelo se realizaron ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla No. 200 con base en los lineamientos de la Norma INV-E-123-13 y ensayos de límites de plasticidad de acuerdo con lo estipulado en las Normas INV-E-125-13 y INV-E-126-13 en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

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

Después de clasificar el suelo de cimentación, se llevó a cabo la determinación de la humedad óptima y el peso específico por medio de ensayos de compactación Proctor modificado siguiendo las especificaciones de la norma INV-E-142-13.

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

Se realizaron tres ensayos de corte directo siguiendo las indicaciones de la norma INV-E-154-13 con los cuales se obtuvo el ángulo de fricción interna, la cohesión y la densidad del material compactado.

## **7.6. Revisión de la estabilidad del modelo a escala**

Una vez que se determinaron los parámetros de resistencia al corte del suelo de fundación, se procedió a estimar el empuje activo con el cual se produciría la falla por deslizamiento del modelo a escala, así como también los factores de seguridad de este.

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

De la zona de parqueos de la Universidad Pontificia Bolivariana se extrajo aproximadamente 50 bultos de material limoso, el cual fue utilizado para conformar el suelo de fundación del modelo a escala, para ello se compactó el material con la humedad óptima con la ayuda de cuatro pisones.

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

El traslado del muro a escala hasta su suelo de fundación se realizó por medio de una torre grúa. Con la ayuda del muro de reacción del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana se aplicaron cargas horizontales que

produjeron la falla por deslizamiento del modelo a escala, teniendo en cuenta que no se generaran daños estructurales en él.

### 7.9. Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones

Una vez obtenidas las cargas horizontales que desplazaron el modelo a escala sobre el limo inorgánico utilizado como suelo de fundación, se estimaron valores particulares de los factores K a partir de los cuales se calcularon tanto el ángulo de fricción suelo-concreto, así como también la fuerza horizontal resistente debida a la cohesión y se establecieron similitudes y diferencias con los valores encontrados en la literatura técnica en el área de geotecnia. Finalmente se concluyó con respecto a los resultados obtenidos y se brindaron recomendaciones técnicas para futuros trabajos similares.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA MALLA 200

Para este proyecto de grado se escogió como material de estudio, el suelo ubicado en el sector de los parqueaderos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, de allí se tomaron las muestras necesarias para realizar los ensayos de clasificación y caracterización del material.

Este material se utilizó como el suelo de fundación del modelo a escala para el desarrollo del presente trabajo de grado. Al tener el respectivo material, se procedió a realizar los ensayos de granulometría.

Las tablas 3,4 y 5 muestran los resultados obtenidos para los tres ensayos de granulometría.

MUESTRA 1				
Peso seco antes del lavado	1260,09	g		
Peso seco después del lavado	197,1	g		
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/8"	9,52	0	0,00	100,00
No 4	4,75	0	0,00	100,00
10	2,00	48,23	3,83	96,17
20	0,850	38,14	3,03	93,15
40	0,425	24,46	1,94	91,20
60	0,250	14,09	1,12	90,09
100	0,150	17,6	1,40	88,69
200	0,075	48,47	3,85	84,84

FONDO	-----	1069,1	84,84	0,00
	$\Sigma =$	1260,09		

**Tabla 2.** Resultados de la distribución granulométrica. Fuente: Propia.

<b>MUESTRA 3</b>				
Peso seco antes del lavado	1621,74	g		
Peso seco después del lavado	251,57	g		
<b>MALLA No.</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>% PASA</b>
3/8"	9,5	0	0,00	100,00
No 4	4,75	1,21	0,07	99,93
<b>MUESTRA 2</b>				
Peso seco antes del lavado	1237,64	g		
Peso seco después del lavado	163,24	g		
<b>MALLA No.</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>% PASA</b>
3/8"	9,5	0	0,00	100,00
No 4	4,75	0	0,00	100,00
10	2,00	6,02	0,49	99,51
20	0,850	13,31	1,08	98,44
40	0,425	24,43	1,97	96,46
60	0,250	6,78	0,55	95,92
100	0,150	15,2	1,23	94,69
200	0,075	77,24	6,24	88,45
FONDO	-----	1094,66	88,45	0,00
	$\Sigma =$	1237,64		

**Tabla 3.** Resultados de la distribución granulométrica. Fuente: Propia.

10	2,00	64,28	3,96	95,96
20	0,850	40,51	2,50	93,46
40	0,425	27,29	1,68	91,78
60	0,250	15,5	0,96	90,83
100	0,150	24,3	1,50	89,33
200	0,075	69,78	4,30	85,02
FONDO	-----	1378,87	85,02	0,00
	$\Sigma =$	1621,74		

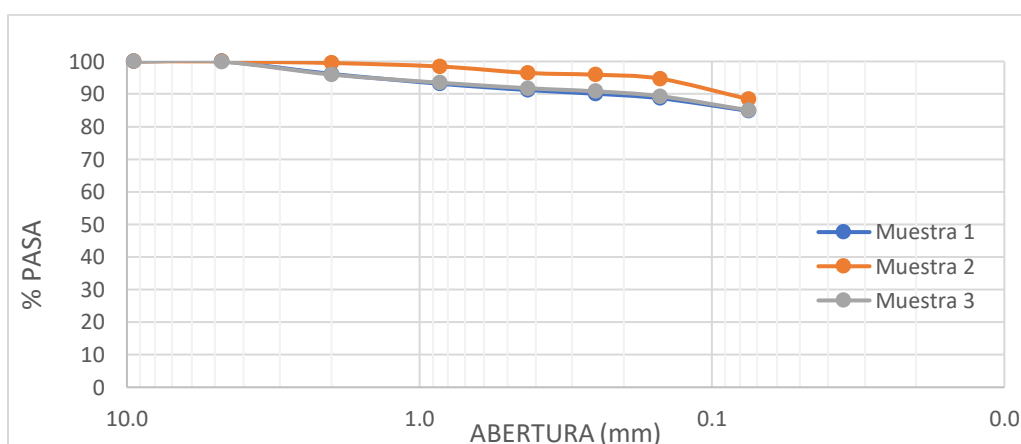
**Tabla 4.** Resultados de la distribución granulométrica. Fuente: Propia.

Los resultados anteriores se encuentran resumidos en la tabla 6, donde se muestran las fracciones de grava, arena y finos que contiene cada una de las muestras ensayadas.

RESUMEN DE RESULTADOS			
MUESTRA	GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)
1	0,00	15,16	84,84
2	0,00	11,55	88,45
3	0,07	14,90	85,02
<b>PROMEDIO</b>	0,02	13,87	86,10

**Tabla 5.** Resultados de la distribución granulométrica. Fuente: Propia.

Con los porcentajes del material que pasa por cada uno de los tamices utilizados y la abertura de estos, se procedió a dibujar la curva granulométrica respectiva a cada ensayo. Estas curvas se muestran en el gráfico 7.



**Gráfico 7.** Resultados granulométricos. Fuente: Propia.

## 8.2. GRANULOMETRÍA ARENA DE LA QUEBRADA PALMICHAL UTILIZADA COMO MATERIAL DE RELLENO

El suelo de relleno se escogió de la Quebrada Palmichal, en el sector frente a la cafetería campestre de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Con este material se realizaron tres ensayos de granulometría con lavado por el tamiz No.200 cuyos resultados se encuentran en las tablas 7,8 y 9.

MUESTRA 1				
Peso seco antes del lavado		2009		g
Peso seco después del lavado		1985,5		g
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
1 1/2"	37,5	0	0,00	100,00
1"	25	38,64	1,92	98,08
3/4"	19,05	0	0,00	98,08
3/8"	9,52	93,84	4,67	93,41
No. 4	4,75	101,92	5,07	88,33
10	2	280,49	13,96	74,37
40	0,42	1294,08	64,41	9,96
100	0,149	124,09	6,18	3,78
200	0,074	41,33	2,06	1,72
FONDO	-----	34,6	1,72	0,00
	$\Sigma =$	2009		

**Tabla 6.** Resultados de la distribución granulométrica de la arena de la Quebrada Palmichal. **Fuente:** Propia.

MUESTRA 2				
Peso seco antes del lavado		2051	g	
Peso seco después del lavado		2026,1	g	
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
1 1/2"	37,5	0	0	100
1"	25	0	0	100
3/4"	19,05	42,8	2,09	97,91
3/8"	9,52	115,2	5,62	92,3
No. 4	4,75	177,2	8,64	83,66
10	2	306,3	14,93	68,72
40	0,42	1069,3	52,14	16,59
100	0,149	245,9	11,99	4,6
200	0,074	51,5	2,51	2,09
FONDO	-----	42,8	2,09	0
	$\Sigma =$	2051		

**Tabla 7.** Resultados de la distribución granulométrica de la arena de la Quebrada Palmichal. **Fuente: Propia.**

MUESTRA 3				
Peso seco antes del lavado		2040	g	
Peso seco después del lavado		2004,73	g	
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
1 1/2"	37,5	0	0,00	100,00
1"	25	0	0,00	100,00
3/4"	19,05	0	0,00	100,00
3/8"	9,52	89,89	4,41	95,59
No. 4	4,75	123,4	6,05	89,54
10	2	302,51	14,83	74,72
40	0,42	1317,72	64,59	10,12
100	0,149	136,1	6,67	3,45
200	0,074	27,2	1,33	2,12
FONDO	-----	43,08	2,11	0,00
	$\Sigma =$	2040		

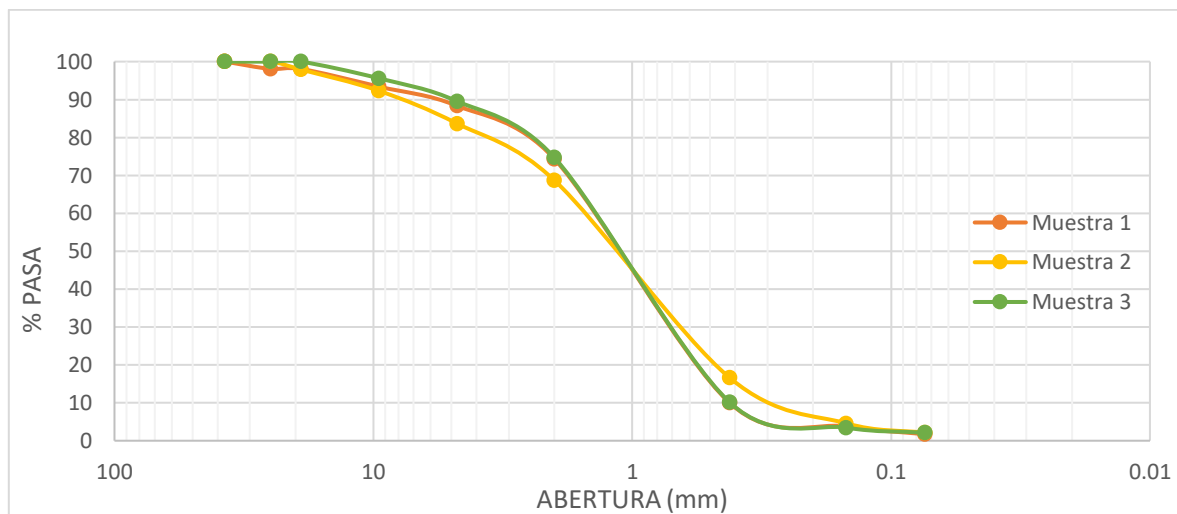
**Tabla 8.** Resultados de la distribución granulométrica de la arena de la Quebrada Palmichal. **Fuente: Propia.**

Los resultados anteriores se encuentran resumidos en la tabla 10, donde se muestran las fracciones de grava, arena y finos que contiene cada una de las muestras ensayadas.

RESUMEN DE RESULTADOS			
MUESTRA	GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)
1	1,92	96,35	1,72
2	2,09	95,82	2,09
3	0,00	97,89	2,11
<b>PROMEDIO</b>	1,34	96,69	1,97

**Tabla 9.** Resumen de los resultados granulométricos. **Fuente: Propia.**

Con los porcentajes del material que pasa por cada uno de los tamices utilizados y la abertura de estos, se procedió a dibujar la curva granulométrica respectiva a cada ensayo. Estas curvas se muestran en el gráfico 8.



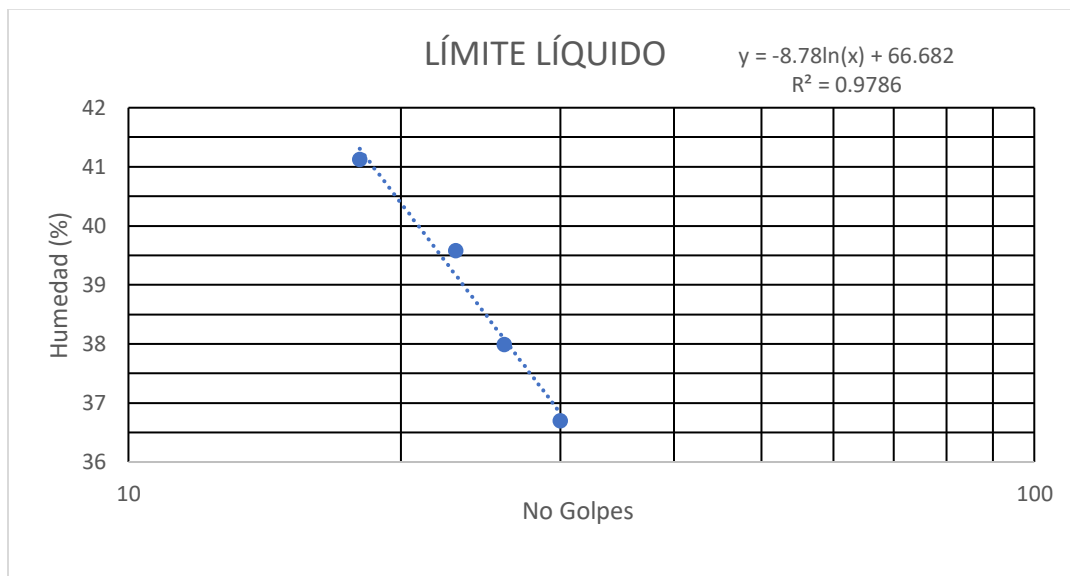
**Gráfico 8.** Resultados granulométricos. **Fuente: Propia**

### 8.3. LÍMITES DE PLASTICIDAD

Del material que se usó como suelo de fundación se tomaron 3 muestras con el fin de realizar ensayos de límites de Atterberg y evaluar la plasticidad de su fracción fina. Los resultados de dichos ensayos en las tablas 11,12 y 13 y los gráficos 9,10 y 11.

MUESTRA 1								
Prueba No.	Cápsula No.	No. Golpes	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso agua (g)	Peso cápsula (g)	Peso suelo seco (g)	Humedad (%)
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
1	13	30	36,71	32,48	4,23	20,95	11,53	36,69
2	30	26	36,46	32,16	4,30	20,84	11,32	37,99
3	12	23	54,76	50,7	4,06	40,44	10,26	39,57
4	399	18	54	50,09	3,91	40,58	9,51	41,11
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
1	304		48,99	47,09	1,9	40,55	6,54	29,05
2	23		29,7	27,82	1,88	21,09	6,73	27,93

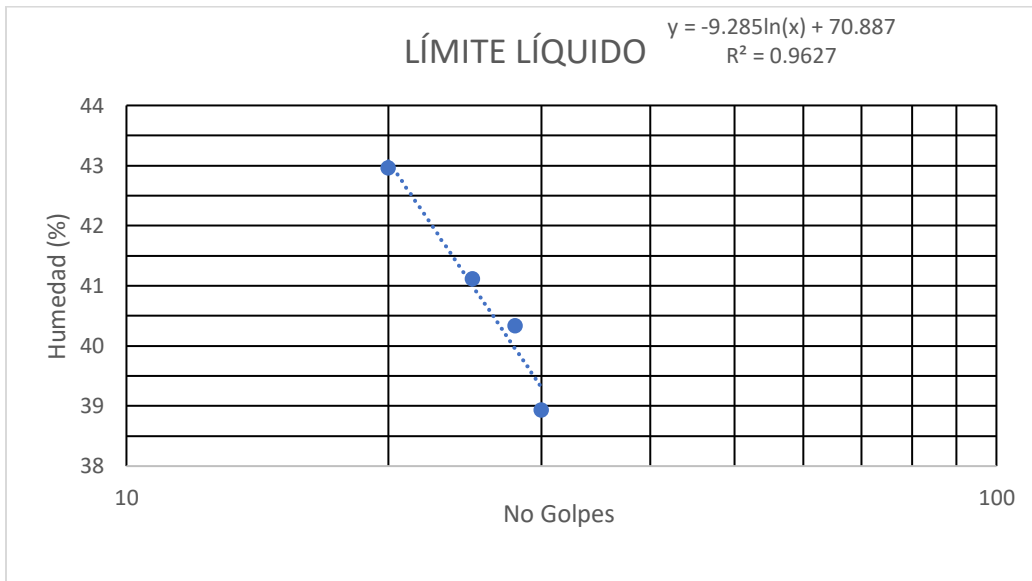
**Tabla 10.** Resultados Límite líquido y plástico muestra 1. **Fuente: Propia.**



**Gráfico 9.** Resultados Límite líquido muestra 1. **Fuente: Propia.**

MUESTRA 2								
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	No. GOLPES	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso agua (g)	Peso cápsula (g)	Peso suelo seco (g)	Humedad (%)
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
1	25	30	39,68	37,5	2,18	31,9	5,6	38,93
2	30	28	37,78	32,9	4,88	20,8	12,1	40,33
3	12	25	53,1	49,4	3,70	40,4	9	41,11
4	370	20	52,79	49,1	3,69	40,51	8,59	42,96
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
1	111		40,52	38,6	1,92	31,9	6,7	28,66
2	399		49,76	47,6	2,16	40,6	7	30,86

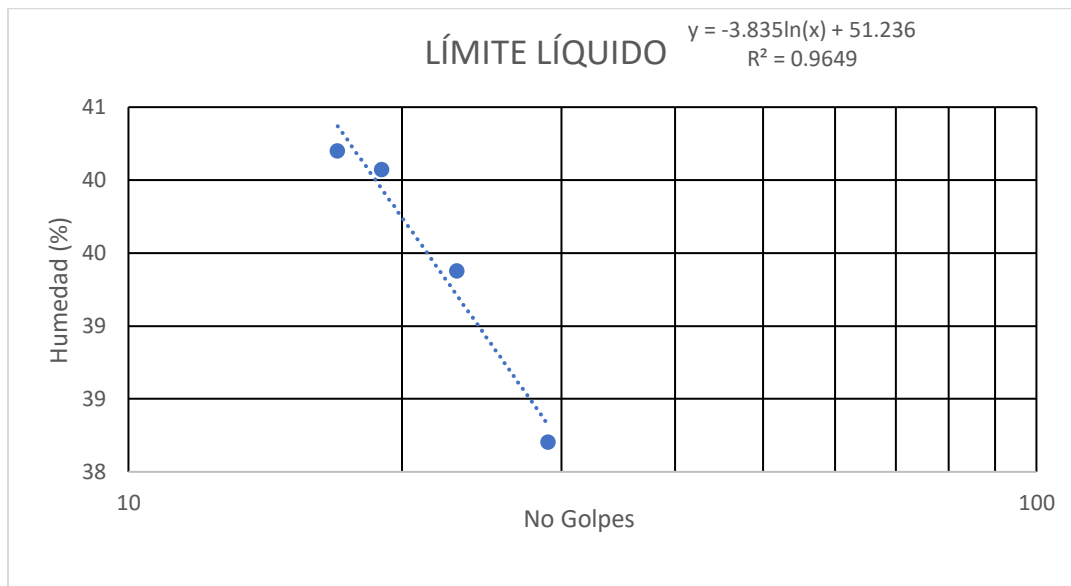
**Tabla 11.** Resultados Límite líquido y plástico muestra 2. **Fuente: Propia.**



**Gráfico. 10.** Resultados Límite líquido muestra 2. **Fuente: Propia.**

MUESTRA 3								
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	No. GOLPES	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso agua (g)	Peso cápsula (g)	Peso suelo seco (g)	Humedad (%)
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
1	380	29	53,91	50,3	3,61	40,85	9,45	38,20
2	2	23	53,65	50	3,65	40,73	9,27	39,37
3	6	19	32,77	29,4	3,37	20,99	8,41	40,07
4	304	17	53,39	49,7	3,69	40,52	9,18	40,20
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
1	51		35,45	33,3	2,15	26,93	6,37	33,75
2	13		29,31	27,5	1,81	21,03	6,47	27,98

**Tabla 12.** Resultados Límite líquido y plástico muestra 3. **Fuente: Propia.**



**Gráfico 11.** Resultados Límite líquido muestra 3. **Fuente: Propia.**

Los resultados anteriores se encuentran resumidos en la tabla 14, donde se muestra el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de cada una de las tres muestras ensayadas.

RESUMEN DE RESULTADOS			
MUESTRA	LL	LP	IP
1	38,42	28,49	9,93
2	40,99	29,76	11,23
3	38,89	30,86	8,03
<b>PROMEDIO</b>	39,43	29,70	9,73

*Tabla 13. Resultados de los límites de plasticidad. Fuente: Propia.*

Los resultados de los ensayos de granulometría y límites se usaron para clasificar tanto como el suelo de fundación como el suelo de relleno (Ver capítulo 8).

#### 8.4. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

Para conocer la humedad óptima del material utilizado como suelo de fundación del muro a escala, se realizaron ensayos de compactación tipo Proctor modificado. En total se hicieron cuatro pruebas de compactación para promediar los resultados, tanto del peso específico seco máximo como de la humedad óptima. Para la ejecución de estos ensayos se siguieron los lineamientos de la norma INV-E-142-2013.

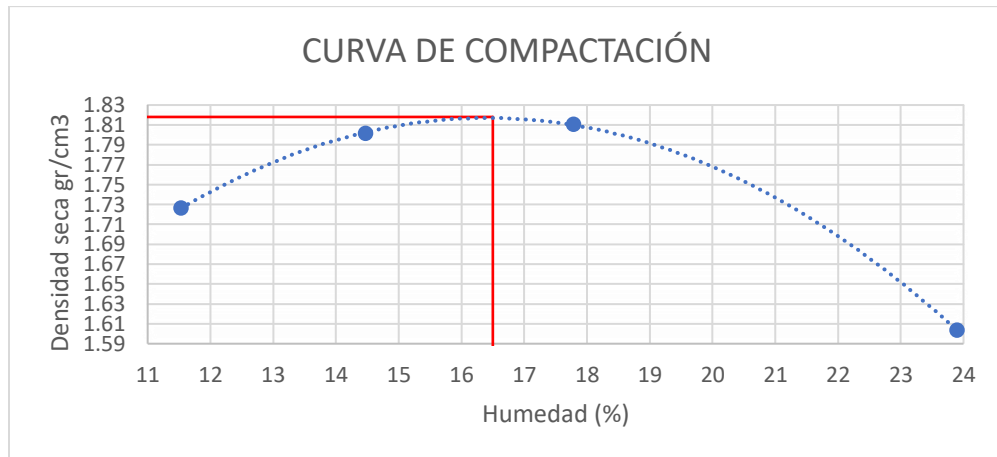
Las tablas 15,16,17 y gráficos 12,13 y 14 muestran los resultados de los cuatro ensayos de compactación, incluyendo las curvas de compactación

MOLDE	
Peso (g)	5952
Altura (cm)	11,7
Diámetro (cm)	15,2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2123,063

Prueba No. 1		1	2	3	4
Peso suelo + molde	g	10040	10330	10480	10170
Peso molde	g	5952	5952	5952	5952
Peso suelo húmedo compactado	g	4088	4378	4528	4218
Peso suelo húmedo +cápsula	g	105,50	115,40	119,10	54,80
Peso suelo seco + cápsula	g	98,80	103,50	104,30	48,30
Peso cápsula	g	40,70	21,30	21,10	21,10
Peso del agua	g	6,70	11,90	14,80	6,50

Peso del suelo seco	g	58,10	82,20	83,20	27,20
Humedad	%	11,53	14,48	17,79	23,90
Densidad suelo húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1,93	2,06	2,13	1,99
Densidad suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	1,73	1,80	1,81	1,60
<b>Densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>					
=					1,818
<b>Humedad óptima (%) =</b>					16,5

**Tabla 14.** Resultados Proctor modificado prueba No. 1. **Fuente: Propia.**



**Gráfico 12.** Curva de compactación. **Fuente: Propia.**

MOLDE	
Peso (g)	5952
Altura (cm)	11,7
Diámetro (cm)	15,2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2123,063

Prueba No. 2		1	2	3	4
Peso suelo + molde	g	10033	10352	10395	10265
Peso molde	g	5952	5952	5952	5952
Peso suelo húmedo compactado	g	4081	4400	4443	4313
Peso suelo húmedo +cápsula	g	144,00	165,30	142,90	133,36
Peso suelo seco + cápsula	g	132,16	149,30	126,80	116,87
Peso cápsula	g	26,90	40,70	40,90	40,56
Peso del agua	g	11,84	16,00	16,10	16,49
Peso del suelo seco	g	105,26	108,60	85,90	76,31
Humedad	%	11,25	14,73	18,74	21,61
Densidad suelo húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1,92	2,07	2,09	2,03
Densidad suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	1,73	1,81	1,76	1,67
<b>Densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>) =</b>					<b>1,805</b>
<b>Humedad óptima (%) =</b>					<b>15,7</b>

Tabla 15. Resultados Proctor modificado prueba No.2. Fuente: Propia.

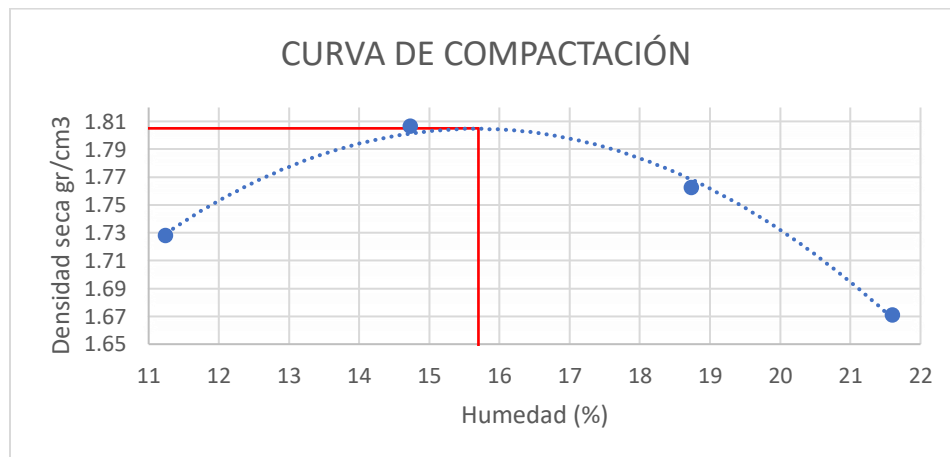


Gráfico 13. Curva de compactación. Fuente: Propia.

MOLDE	
Peso (g)	5952
Altura (cm)	11,7
Diámetro (cm)	15,2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2123,063

Prueba No. 3		1	2	3
Peso suelo + molde	G	10213	10407	10375
Peso molde	G	5952	5952	5952
Peso suelo húmedo compactado	G	4261	4455	4423
Peso suelo húmedo +cápsula	G	116,20	105,46	133,73
Peso suelo seco + cápsula	G	106,74	94,96	119,38
Peso cápsula	G	26,95	20,84	40,78
Peso del agua	G	9,46	10,50	14,35
Peso del suelo seco	G	79,79	74,12	78,60
Humedad	%	11,86	14,17	18,26
Densidad suelo húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2,01	2,10	2,08
Densidad suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	1,79	1,84	1,76

<b>Densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	
	= 1,839
<b>Humedad óptima (%) =</b>	14,65

Tabla 16. Resultados Proctor modificado prueba No. 3. Fuente: Propia.

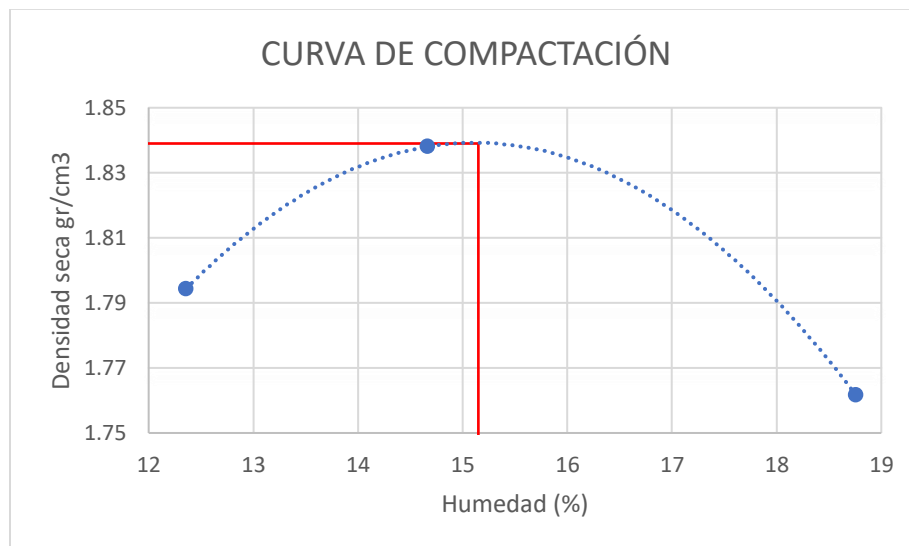


Gráfico 14. Curva de compactación. Fuente: Propia.

La tabla 18 muestra el resumen del peso específico seco máximo y la humedad óptima obtenidos en cada una de las tres pruebas, junto con los valores promedios de dichos parámetros.

ENSAYOS	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega$ (%)
1	1.818	16.5
2	1.805	15.7
3	1,832	14.65
<b>PROMEDIO</b>	1,82	15.62

*Tabla 17. Resultados de compactación. Fuente: Propia.*

La humedad óptima promedio de 15.62% se utilizó para compactar el suelo de fundación del modelo a escala, mientras que el peso específico seco máximo promedio de 1.82 g/cm<sup>3</sup> se utilizó como referencia para controlar la compactación.

La tabla 19 muestra el resumen del peso específico seco máximo y la humedad óptima obtenidos en tres pruebas de compactación realizadas sobre el material proveniente de la Quebrada Palmichal usado como relleno (Armesto Dwerlys, 2018), junto con los valores promedios de dichos parámetros.

ENSAYOS	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega$ (%)
1	1,942	10,6
2	1,958	9,3
3	1,992	11,4
<b>PROMEDIO</b>	1,964	10,43

*Tabla 18. Resultados de compactación. Fuente: (Armesto Dwerlys, 2018)*

## 8.5. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Antes de hacer el diseño de muro a escala, se realizaron tres ensayos de corte directo siguiendo los lineamientos de la norma INV-E-154-13 sobre muestras que fueron compactadas con la humedad óptima hallada en los ensayos de compactación Proctor modificado.

La tabla 20 muestra el promedio de la humedad, el peso específico, el ángulo de fricción interna y la cohesión obtenida en cada uno de los tres ensayos realizados. Con estos resultados se procedió a dibujar la envolvente de falla

ENSAYO	w (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )
1	15,11	16,17	13,00	37,93
2	15,18	15,76	12,24	40,95
3	15,24	15,15	13,07	38,77
<b>PROMEDIO</b>	15,18	15,69	12,77	39,22

Tabla 19. Ángulo de fricción interna y cohesión obtenidos en los ensayos de corte. Fuente: Propia.

El gráfico 15 muestra la envolvente de falla promedio del limo inorgánico utilizado como suelo de fundación del modelo a escala.

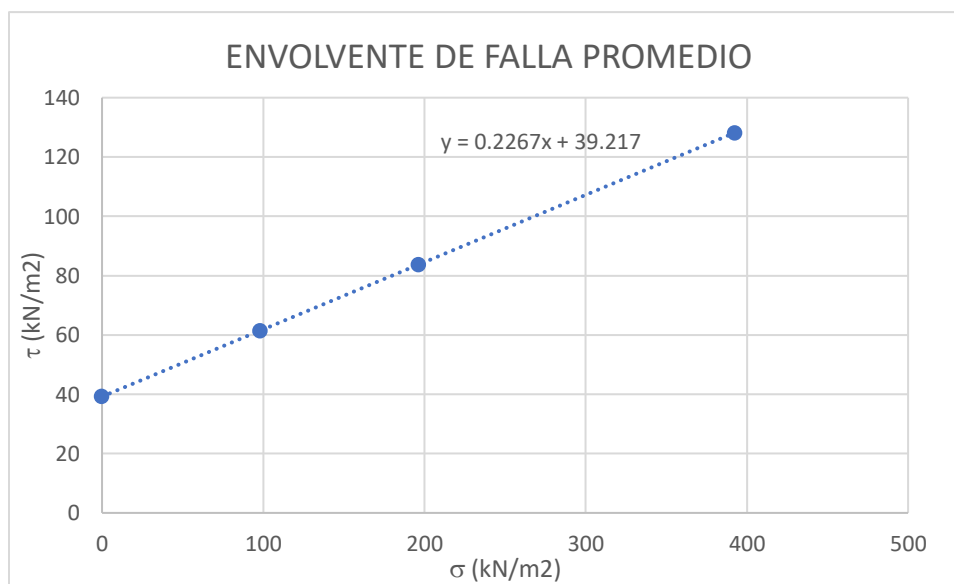


Gráfico 15. Envolvente de falla promedio. Fuente: Propia.

## 8.6. ENSAYOS CON EL MURO A ESCALA

ENSAYOS	CARGA MÁX (KN)
1	10,4
2	9,6
3	9,4
4	9,0
5	9,2

6	8,9
7	9,5
8	8,8
9	9,3
10	9,4
11	9,1
12	8,9
13	9,0
14	9,0
15	8,6
<b>PROMEDIO</b>	9,2
<b>DES. ESTANDAR</b>	0,42
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	4,53%

*Tabla 20. Resultados Fuerza horizontal máxima. Fuente: Propia*

En la tabla 21 se muestra la fuerza máxima horizontal producida por el actuador en cada ensayo realizado. El promedio de dichas fuerzas fue de 9.2 kN, una desviación estándar de 0.42 kN y un coeficiente de variación del 4.53%.

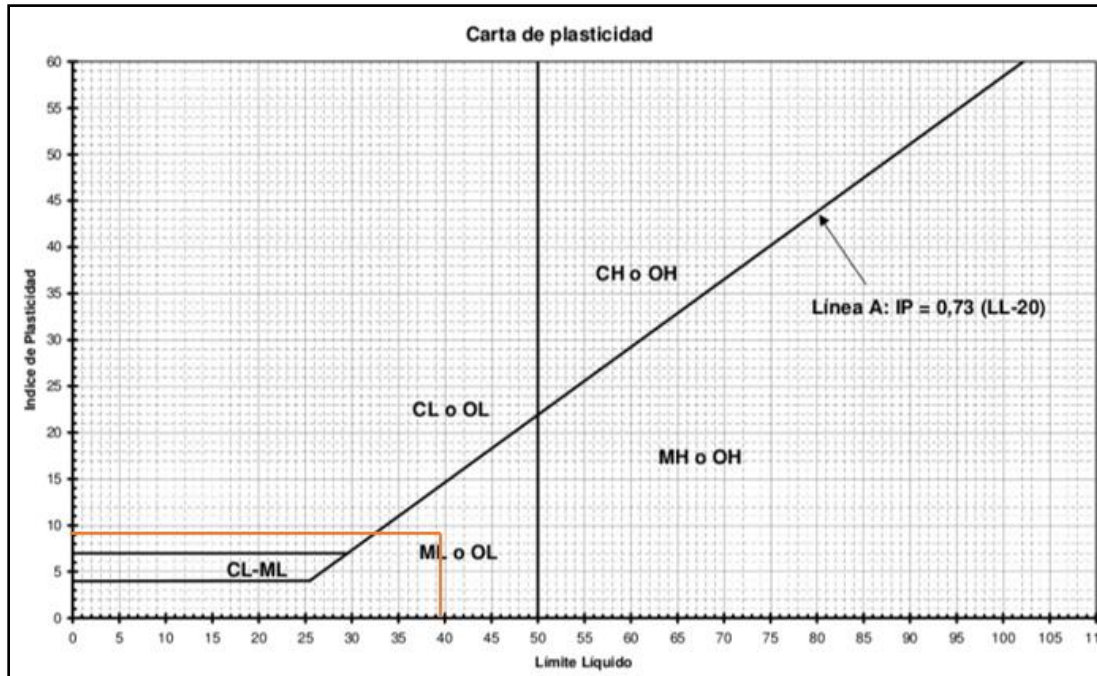
## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 9.1. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) un suelo es catalogado como fino si más del 50% de sus partículas pasa el tamiz No.200, si no es un suelo granular.

Para el presente trabajo de grado se tomó como suelo de fundación un material con un porcentaje de finos superior al 50% (86.10%), es decir que este material es un suelo predominantemente fino, el porcentaje de arenas promedio es de 13.87% y el contenido promedio de gravas es de 0.02%.

Ya sabiendo que se trataba de un suelo fino, se procedió a realizar los ensayos de Límites de Atterberg. Con el límite líquido obtenido (39.43%) y su índice de plasticidad (9.73%) se situó al material en la carta de Casagrande, quedando ubicado en la zona de los limos inorgánicos de baja compresibilidad (ML), tal como se ve en el gráfico 16.



**Gráfico 16.** Carta de Plasticidad. **Fuente:** (Juarez Badillo, 2005)

Como ya se mencionó anteriormente, como suelo de relleno se utilizó un material proveniente de la Quebrada Palmichal, en el sector frente a la cafetería Campestre de la Universidad Pontificia Bolivariana, el cual según estudios previos corresponde a una arena mal gradada (SP). (Armesto Dwerlys, 2018).

## 9.2. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

Una vez obtenida la clasificación del suelo de fundación, se procedió a realizar tres ensayos de compactación tipo Proctor modificado teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la norma (INV-E-142-13).

Estos ensayos arrojaron como resultado el peso específico promedio de 1.82 g/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima promedio de 15.62%.

La humedad óptima fue utilizada para elaborar las muestras de los ensayos de corte directo y para compactar el suelo de fundación sobre el cual se desplantó el modelo a escala. El peso específico seco máximo fue utilizado para realizar un control de la compactación de dicho suelo.

## 9.3. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Se realizaron 5 ensayos de corte directo en donde se hallaron el peso específico, el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo de fundación.

Las muestras A se obtuvieron en moldes de ensayos Proctor modificado y compactadas con la humedad óptima. Las muestras B se tomaron del suelo de fundación compactado con una humedad cercana a la óptima inmediatamente después de realizadas las pruebas sobre el modelo a escala. Los parámetros geotécnicos obtenidos tanto en los ensayos de corte realizados en muestras A y B se muestran en la tabla 22.

PROPIEDADES	MUESTRAS A	MUESTRAS B
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	15,69	15,68
$\Phi$ (°)	12,83	10,50
$\omega$ (%)	17,84	17,07
<b>C</b> (kN/m <sup>2</sup> )	38,49	39,03

**Tabla 21.** Resultados promedios de propiedades. **Fuente: Propia**

De los resultados mostrados en la tabla 22 se puede inferir que los parámetros físicos del material son prácticamente los mismos tanto en el material compactado en el laboratorio, así como en el suelo de fundación sobre el cual se apoyó el muro. Esto indica que el proceso de compactación y control de esta fue eficiente debido a que esta actividad se realizó con la ayuda de 4 personas, las cuales compactaban el material de forma simultánea y llevando un control estricto sobre la humedad.

#### 9.4. ENSAYOS SOBRE EL MURO A ESCALA

El coeficiente K que relaciona al ángulo de fricción suelo-muro con el ángulo de fricción interna, así como también a la fuerza de cohesión en la base que se opone al deslizamiento con la máxima que podría presentarse. Según varios autores el valor de K que podría usarse está entre 0.5 y 2/3, sin embargo, en trabajos similares a este, realizados sobre muros desplantados sobre suelos arenosos el valor de K varía entre 0.75 y 1.

En la literatura técnica en el área de cimentaciones se encuentra que la suma de las fuerzas horizontales resistentes está dada por una fuerza aportada por la fricción, otra fuerza aportada por la cohesión y el empuje pasivo (En el caso del presente trabajo de grado no se colocó material frente al muro que produjera un empuje pasivo), es decir que dicha suma de fuerzas horizontales que se oponen al deslizamiento viene dada por la siguiente ecuación 7:

$$\sum FH_R = N * TAN(K * \Phi) + K * C * B$$

**Ecuación 7.** Fuerzas horizontales

Donde:

N= Suma de fuerzas verticales

$\phi$ = Ángulo de fricción interna del ángulo de fundación.

C= Cohesión del suelo de fundación.

B= Ancho del muro

Con las propiedades físicas del suelo de fundación obtenidas en pruebas de corte directo y tomando un valor de K= 2/3 se había previsto que la carga con la cual debería fallar por deslizamiento el muro a escala era de 36,5 kN.

Con los resultados obtenidos en el muro de reacción y con base en la ecuación 7 se obtuvo un valor de K de 0.168. Este valor parece exageradamente bajo, razón por la cual se optó por calcular valores de k diferentes para la fuerza de cohesión (Kc) para los valores de K comúnmente reportados en la literatura que afectan al ángulo de fricción suelo-muro (K $\phi$ ), tal como se muestra en la ecuación 8.

$$\sum FH_R = N * TAN(K_\phi * \Phi) + K_C * C * B$$

**Ecuación 8.** Fuerzas horizontales.

Para valores de K $\phi$  entre 0.5 y 1 se encontró la ecuación 9 que relaciona dicho parámetro con Kc

$$Kc = -0.0802 K_\phi + 0.1812$$

**Ecuación 9.** Parámetro Kc.

Kc	K $\phi$
0.141	0.5
0.128	0.667
0.121	0.75
0.101	1

**Tabla 22.** Parámetros Kc y K $\phi$ . Fuente: Propia

La ecuación 9 fue obtenida estimando el valor de Kc que produce un factor de seguridad de 1.0 para la falla con la carga promedio del actuador para diferentes valores de K $\phi$  (Ver tabla 23).

✓ Para  $K\phi=0.5 \rightarrow Kc=0.141$

Dado que en la evaluación de las cargas verticales del muro se obtuvo una suma de las mismas de 22 kN/m, sabiendo además que el ancho de dicho muro es de 1.3 metros y usando los parámetros de resistencia al corte del suelo de fundación ( $\phi = 10.5^\circ$  y  $C=39.03\text{kN/m}^2$ ), con un valor de  $K\phi = 0.5$  y su correspondiente valor de  $Kc=0.141$  se calculó el valor de las fuerzas horizontales resistentes que debería haberse realizado en la falla y seguidamente se estimó el error para cada uno de los 15 ensayos realizados en el muro de reacción. (Ver tabla 24).

<b>Kc</b>	0,141
<b>K<math>\phi</math></b>	0,5
<b>N (kN/m)</b>	22
<b><math>\phi</math> (°)</b>	10,5
<b>C (kN/m<sup>2</sup>)</b>	39,03
<b>B (m)</b>	1,3
<b><math>\Sigma</math> FH<sub>R</sub> ESTIMADA (kN)</b>	9,18

<b>ENSAYOS</b>	<b>CARGA MÁX (KN)</b>	<b>ERROR (%)</b>
1	10,4	13,34
2	9,6	4,62
3	9,4	2,44
4	9	1,92
5	9,2	0,26
6	8,9	3,00
7	9,5	3,53
8	8,8	4,09
9	9,3	1,35
10	9,4	2,44
11	9,1	0,83
12	8,9	3,00
13	9	1,92
14	9	1,92
15	8,6	6,27
<b>PROMEDIO</b>	9,21	3,40

Tabla 23. Fuente: Propia

Para estos valores de  $K\phi$  y  $Kc$  se obtuvo una sumatoria de fuerzas horizontales resistentes estimada de **9.18** kN. Al comparar las fuerzas horizontales que condujeron al modelo a escala a la falla por deslizamiento con este valor de **9.18** kN se observa que los errores registrados varían entre un **0.26%** y un **13.34%** con un promedio de **3.4%**. (Ver tabla 24).

✓ Para  $K\phi=0.667 \rightarrow Kc=0.128$

Dado que en la evaluación de las cargas verticales del muro se obtuvo una suma de las mismas de 22 kN/m, sabiendo además que el ancho de dicho muro es de 1.3 metros y usando los parámetros de resistencia al corte del suelo de fundación ( $\phi = 10.5^\circ$  y  $C=39.03\text{kN/m}^2$ ), con un valor de  $K\phi = 0.667$  y su correspondiente valor de  $Kc=0.128$  se calculó el valor de las fuerzas horizontales resistentes que debería haberse realizado en la falla y seguidamente se estimó el error para cada uno de los 15 ensayos realizados en el muro de reacción. (Ver tabla 25).

<b>Kc</b>	0,128
<b>K<math>\phi</math></b>	0,667
<b>N (kN/m)</b>	22
<b><math>\phi</math> (°)</b>	10,5
<b>C (kN/m<sup>2</sup>)</b>	39,03
<b>B (m)</b>	1,3
<b><math>\Sigma</math> FH<sub>R</sub> ESTIMADA (kN)</b>	9,20

<b>ENSAYOS</b>	<b>CARGA MÁX (KN)</b>	<b>ERROR (%)</b>
1	10,4	13,08
2	9,6	4,38
3	9,4	2,20
4	9	2,14
5	9,2	0,03
6	8,9	3,23
7	9,5	3,29
8	8,8	4,32
9	9,3	1,12
10	9,4	2,20
11	9,1	1,06

12	8,9	3,23
13	9	2,14
14	9	2,14
15	8,6	6,49
<b>PROMEDIO</b>	9,21	3,40

Tabla 24. Fuente: Propia

Para estos valores de  $K\phi$  y  $Kc$  se obtuvo una sumatoria de fuerzas horizontales resistentes estimada de **9.21** kN. Al comparar las fuerzas horizontales que condujeron al modelo a escala a la falla por deslizamiento con este valor de **9.21** kN se observa que los errores registrados varían entre un **0.03%** y un **13.08%** con un promedio de **3.4%**. (Ver tabla 25).

✓ Para  $K\phi=0.75 \rightarrow Kc=0.121$

Dado que en la evaluación de las cargas verticales del muro se obtuvo una suma de las mismas de 22 kN/m, sabiendo además que el ancho de dicho muro es de 1.3 metros y usando los parámetros de resistencia al corte del suelo de fundación ( $\phi = 10.5^\circ$  y  $C=39.03\text{kN/m}^2$ ), con un valor de  $K\phi = 0.75$  y su correspondiente valor de  $Kc=0.121$  se calculó el valor de las fuerzas horizontales resistentes que debería haberse realizado en la falla y seguidamente se estimó el error para cada uno de los 15 ensayos realizados en el muro de reacción. (Ver tabla 26).

<b>Kc</b>	0,121
<b>K<math>\phi</math></b>	0,75
<b>N (kN/m)</b>	22
<b><math>\phi</math> (°)</b>	10,5
<b>C (kN/m<sup>2</sup>)</b>	39,03
<b>B (m)</b>	1,3
<b><math>\Sigma</math> FHR ESTIMADA (kN)</b>	9,18

<b>ENSAYOS</b>	<b>CARGA MÁX (KN)</b>	<b>ERROR (%)</b>
1	10,4	13,26
2	9,6	4,55

3	9,4	2,37
4	9	1,99
5	9,2	0,19
6	8,9	3,08
7	9,5	3,46
8	8,8	4,16
9	9,3	1,28
10	9,4	2,37
11	9,1	0,90
12	8,9	3,08
13	9	1,99
14	9	1,99
15	8,6	6,34
<b>PROMEDIO</b>	9,21	3,40

Tabla 25. Fuente: Propia

Para estos valores de  $K\phi$  y  $Kc$  se obtuvo una sumatoria de fuerzas horizontales resistentes estimada de **9.21** kN. Al comparar las fuerzas horizontales que condujeron al modelo a escala a la falla por deslizamiento con este valor de **9.21** kN se observa que los errores registrados varían entre un **0.90%** y un **13.26%** con un promedio de **3.4%**. (Ver tabla 26).

✓ Para  $K\phi=1 \rightarrow Kc=0.101$

Dado que en la evaluación de las cargas verticales del muro se obtuvo una suma de las mismas de 22 kN/m, sabiendo además que el ancho de dicho muro es de 1.3 metros y usando los parámetros de resistencia al corte del suelo de fundación ( $\phi = 10.5^\circ$  y  $C=39.03\text{kN/m}^2$ ), con un valor de  $K\phi = 1$  y su correspondiente valor de  $Kc=0.101$  se calculó el valor de las fuerzas horizontales resistentes que debería haberse realizado en la falla y seguidamente se estimó el error para cada uno de los 15 ensayos realizados en el muro de reacción. (Ver tabla 27).

<b>Kc</b>	0,101
<b>K<math>\phi</math></b>	1
<b>N (kN/m)</b>	22
<b><math>\phi</math> (°)</b>	10,5
<b>C (kN/m<sup>2</sup>)</b>	39,03
<b>B (m)</b>	1,3
<b><math>\Sigma</math> FH<sub>R</sub> ESTIMADA (kN)</b>	9,20

<b>ENSAYOS</b>	<b>CARGA MÁX (KN)</b>	<b>ERROR (%)</b>
1	10,4	13,02
2	9,6	4,32
3	9,4	2,15
4	9	2,20
5	9,2	0,02
6	8,9	3,28
7	9,5	3,24
8	8,8	4,37
9	9,3	1,06
10	9,4	2,15
11	9,1	1,11
12	8,9	3,28
13	9	2,20
14	9	2,20
15	8,6	6,54
<b>PROMEDIO</b>	9,21	3,41

*Tabla 26. Fuente: Propia*

Para estos valores de  $K\phi$  y  $K_c$  se obtuvo una sumatoria de fuerzas horizontales resistentes estimada de **9.21** kN. Al comparar las fuerzas horizontales que condujeron al modelo a escala a la falla por deslizamiento con este valor de **9.21** kN se observa que los errores registrados varían entre un **0.02%** y un **13.02%** con un promedio de **3.4%**. (Ver tabla 27).

## 10. CONCLUSIONES

- Los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado y límites de plasticidad muestran que el suelo seleccionado como soporte para el muro, corresponde a un limo inorgánico de baja compresibilidad (ML) de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) El objetivo de haber buscado un suelo con cohesión y fricción se apoya en que se requería que existieran dos fuerzas horizontales resistentes (Fuerza de Rozamiento y Fuerza de Cohesión) para poder establecer diferencias entre sí.
- Con respecto a los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante ( $C$  y  $\phi$ ), se realizaron cinco ensayos de corte directo, tres de los cuales se hicieron sobre muestras compactadas con la humedad óptima en moldes tipo Proctor y los otros dos se hicieron sobre muestras tomadas del suelo de fundación durante la ejecución de las pruebas sobre el muro a escala. Los resultados de estos ensayos de corte muestran que no existieron cambios significativos en las propiedades de resistencia al corte en uno u otro caso, de lo cual se puede concluir que la energía suministrada en la compactación del suelo de fundación es muy similar a la correspondiente a la del ensayo Proctor modificado.
- Inicialmente se había estimado que el muro debió haber fallado por deslizamiento con una carga aplicada de 36,5 kN. Este valor se obtuvo a partir de las propiedades de resistencia al corte obtenidas en ensayos de corte directo realizados sobre muestras del limo inorgánico del suelo de fundación compactadas con la humedad óptima, además de usar un valor de  $K$  de 2/3 (valor típico encontrado en la literatura técnica en el área de cimentaciones que afecta a la fricción y a la cohesión por igual). Una vez realizados los ensayos de carga sobre el muro a escala, se encontró que la fuerza horizontal promedio que provocó la falla por deslizamiento fue de 9,2 kN, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se recalculó el valor de  $K$ , el cual dio como resultado que este debería ser de 0,168, este valor parece exageradamente bajo sobre todo si se aplica para la obtención del ángulo de fricción suelo-muro. Por esta razón se decidió encontrar valores diferentes de  $K$  que afectan a la fuerza de cohesión en la base ( $K_c$ ) para los valores típicos de  $K$  con los cuales se obtiene el ángulo de fricción suelo-muro (al cual en el presente documento se le denominó  $K_\phi$ ). Una vez realizados estos ajustes se recalcularon las cargas para los valores de  $K_c$  estimados para los valores tradicionalmente usados de  $K_\phi$ , encontrando errores entre el 0,02% y el 13,34% en la obtención de la carga que produce la falla por deslizamiento.

- De acuerdo con lo evidenciado en el presente trabajo de grado, se puede concluir que, sobre el muro a escala ensayado y apoyado sobre un suelo limoso de baja compresibilidad, la cohesión tuvo muy poca incidencia al actuar como oposición al desplazamiento, ya que para los valores típicos de  $K\phi$  se encontró que el aporte de la fuerza de cohesión varía únicamente entre el 10% y el 14% del valor máximo que podría en algún momento generar la cohesión. Esta situación se corroboró con la huella (casi nula) dejada por el muro una vez producido el desplazamiento, así mismo se pudo observar poca adherencia entre el suelo de fundación y la base del muro (ver registro fotográfico en el anexo A)
- Para los valores de  $K$  registrados no solamente en libros técnicos de cimentaciones sino también en investigaciones similares a esta, se encontró que el ángulo de fricción suelo-concreto correspondiente a la interface entre el limo de baja compresibilidad del suelo de fundación y la base del muro varía entre  $5,25^\circ$  y  $10,5^\circ$ .
- En el momento de la falla la fuerza horizontal suministrada por el actuador permanecía constante por un instante y luego disminuía. Esto evidencia que, una vez generado el deslizamiento del muro, la carga requerida para continuar el movimiento horizontal del mismo podía incluso ser menor que la máxima.

## 11. RECOMENDACIONES

- Para proyectos de grado similares se recomienda utilizar un vibro compactador para el suelo de fundación, ya que con esta herramienta se reduce la cantidad del tiempo utilizado para la compactación con respecto a la realizada por medio de un pisón, además de reducir el esfuerzo físico de los operadores.
- Cuando se quiera compactar suelos finos, se recomienda mantener el material almacenado con una baja humedad (por debajo de la óptima) ya que es más fácil agregar agua que secar el material debido a que en suelos muy finos, esto último tarda demasiado. En el caso del presente trabajo de grado el material fue tomado con una humedad muy por encima de la óptima y el proceso de secado duró aproximadamente un mes.
- Para garantizar una mayor adherencia entre el suelo de fundación y la base del muro se recomienda hacer surcos en el suelo de fundación en el área que posteriormente será ocupada por la cimentación del muro.
- Tanto en este trabajo de grado como en anteriores realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana no se compactó suelo frente al muro, es decir no se tuvo en cuenta el efecto del empuje pasivo. Se recomienda en futuros trabajos, analizar la incidencia del empuje pasivo en la estabilidad de los muros.
- Con el muro construido por estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga se ha estimado el ángulo de fricción suelo- concreto para suelos arenosos con bajo y alto contenido de finos, así como también en suelos limosos. Para complementar estos trabajos se recomienda utilizar suelos arcillosos como material de fundación.
- Para futuros trabajos de grado se recomienda utilizar elementos que ayuden a contrarrestar el deslizamiento tales como dentellones, o rellenos frente al muro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Armesto Duarte, D., & Pinto Luquez, Y. N. (2018). *Determinación del ángulo de fricción suelo-muro para dimensionamientos de muros de contención sobre suelos arenosos*. Bucaramanga.
- Armesto Dwerly, P. Y. (2018). *Determinación del ángulo de fricción suelo-muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos de la Quebrada Palmichal*. Bucaramanga: UPB.
- Bowles, J. (1978). *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*.
- Bowles, J. (1997). *Foundation analysis and design*. Mc Grow Hill.
- Das, B. M. (2016). *Fundamentos de ingeniería de fundaciones*. México: Cengage Learning .
- Estupiñan Báez, E. L., & Sánchez Hernández, M. d. (2016). *Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre arena arcillosa*. Bucaramanga.
- Juarez Badillo, E. (2005). *Mécanica de suelos*. Mexico: Limusa.
- Montoya, G. I. (2013). *Parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo-concreto*. Bogotá.
- Navarro Garcia, J. C., & Hernandez Ayala, A. R. (2019). *Determinación del ángulo de fricción suelo-muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos de la quebrada Zapamanga*. Bucaramanga.
- Parra Gómez, J. J., & Tajan Melón, Z. (2018). *Determinación de parámetros para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos mal gradados de la quebrada Aguablanca*. Bucaramanga.
- Pineda, J., & Colmenares, J. (2011). *Peak and residual shear strength parameters of soft clay-concrete interfaces*. Bogotá.
- Solano, C. T. (2014). *Influencia de la cohesión en el dimensionamiento de muros de contención cimentados sobre limos inorgánicos*. Bucaramanga.
- Suarez, G. I. (2013). *Parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo-concreto*. Bogotá.

# **ANEXOS**



# **ANEXO A.**

# **REGISTRO FOTOGRÁFICO**

# ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO ESCOGIDO

Búsqueda del suelo de fundación



Granulometría



## Proctor Modificado



## LÍMITES Y CORTE DIRECTO



**SECADO DEL MATERIAL DEL SUELO DE FUNDACIÓN**



**ARMADO DE LA FORMAleta DEL SUELO DE FUNDACIÓN**



## RELLENO DE LA FORMAleta DEL SUELO DE FUNDACIÓN Y EL MURO DE CONTENCIÓN



**COMPACTACIÓN SUELO DE FUNDACIÓN**



**PRUEBAS EN EL MURO-REACCIÓN**



## HUELLA EN EL SUELO-MURO DESPUÉS DE LOS ENSAYOS



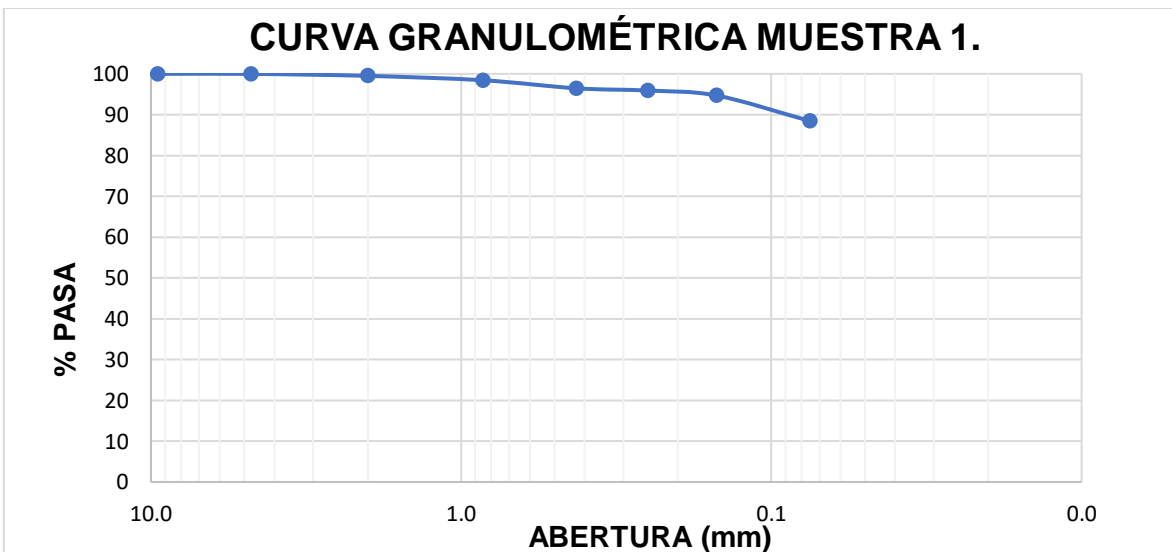


# **ANEXO B. GRANULOMETRÍA**

<b>Peso seco antes del lavado (g):</b>	1260,09
<b>Peso seco después del lavado (g):</b>	197,1

<b>MALLA No.</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>% PASA</b>
3/8"	9,5	0	0,00	100,00
No 4	4,75	0	0,00	100,00
10	2,00	48,23	3,83	96,17
20	0,850	38,14	3,03	93,15
40	0,425	24,46	1,94	91,20
60	0,250	14,09	1,12	90,09
100	0,150	17,6	1,40	88,69
200	0,075	48,47	3,85	84,84
FONDO	-----	1069,1	84,84	0,00
	SUMA	1260,09		

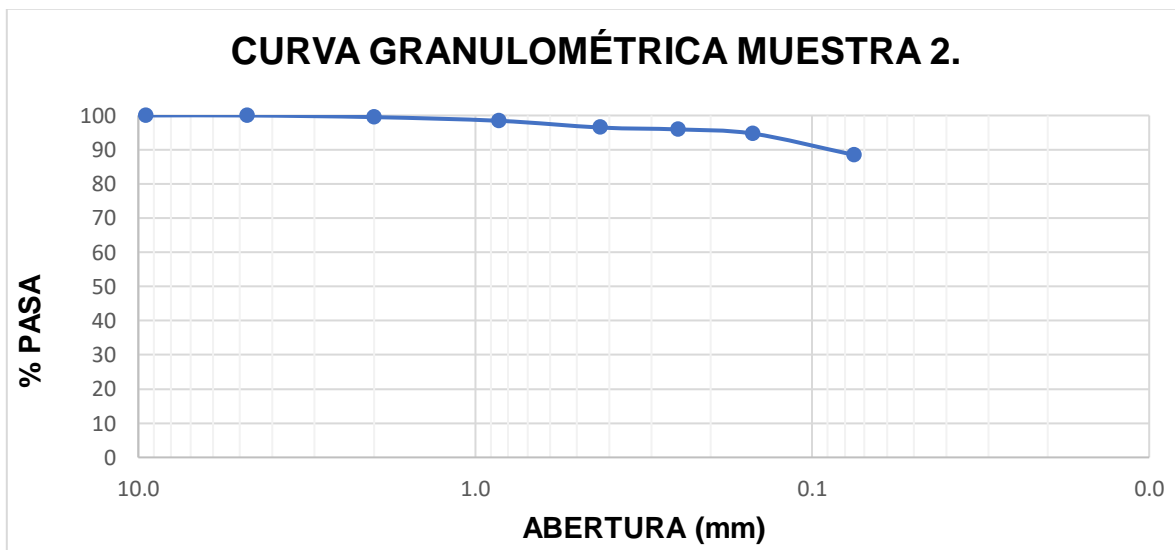
GRAVAS:	0,00	%
ARENAS:	15,16	%
FINOS:	84,84	%



<b>Peso seco antes del lavado (g):</b>	1237,64
<b>Peso seco después del lavado (g):</b>	163,24

MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/8"	9,5	0	0,00	100,00
No 4	4,75	0	0,00	100,00
10	2,00	6,02	0,49	99,51
20	0,850	13,31	1,08	98,44
40	0,425	24,42	1,97	96,47
60	0,250	6,76	0,55	95,92
100	0,150	15,2	1,23	94,69
200	0,075	77,24	6,24	88,45
FONDO	-----	1094,69	88,45	0,00
	SUMA	1237,64		

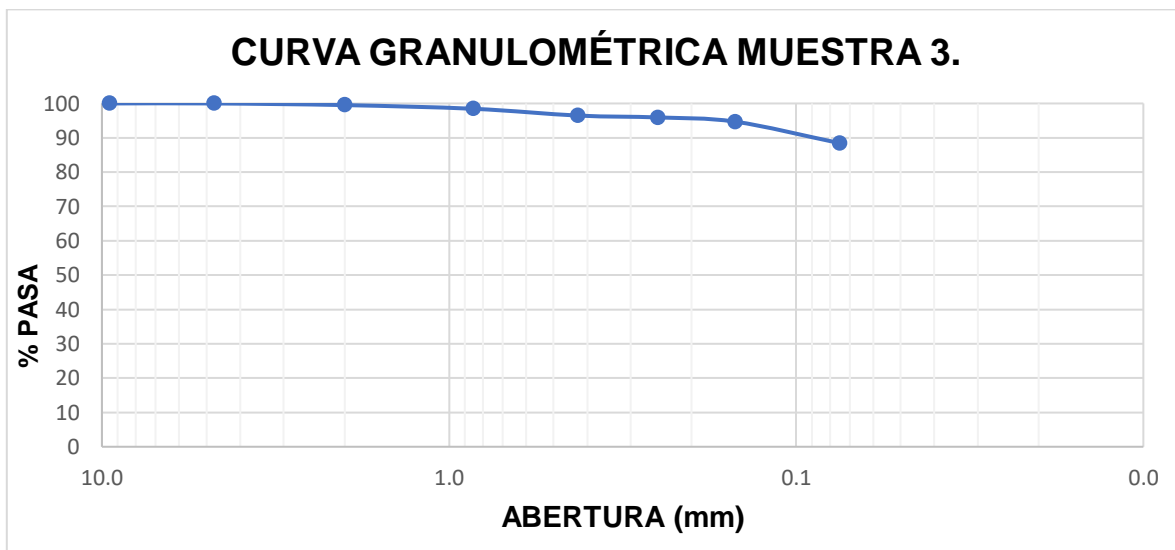
GRAVAS:	0,00	%
ARENAS:	11,55	%
FINOS:	88,45	%



<b>Peso seco antes del lavado (g):</b>	1621,74
<b>Peso seco después del lavado (g):</b>	251,57

MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% PASA
3/8"	9,5	0	0,00	100,00
No 4	4,75	1,21	0,07	99,93
10	2,00	64,28	3,96	95,96
20	0,850	40,51	2,50	93,46
40	0,425	27,29	1,68	91,78
60	0,250	15,5	0,96	90,83
100	0,150	24,3	1,50	89,33
200	0,075	69,78	4,30	85,02
FONDO	-----	1378,83	85,02	0,00
	SUMA	1621,7		

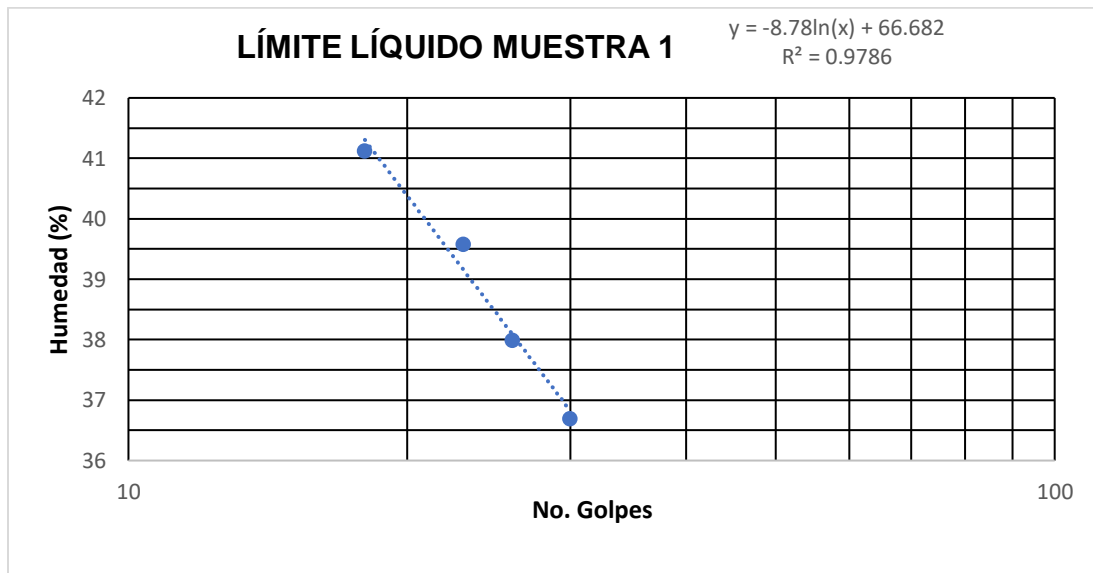
GRAVAS:	0,07	%
ARENAS:	14,90	%
FINOS:	85,02	%



# **ANEXO C. LÍMITES DE ATTERBERG**

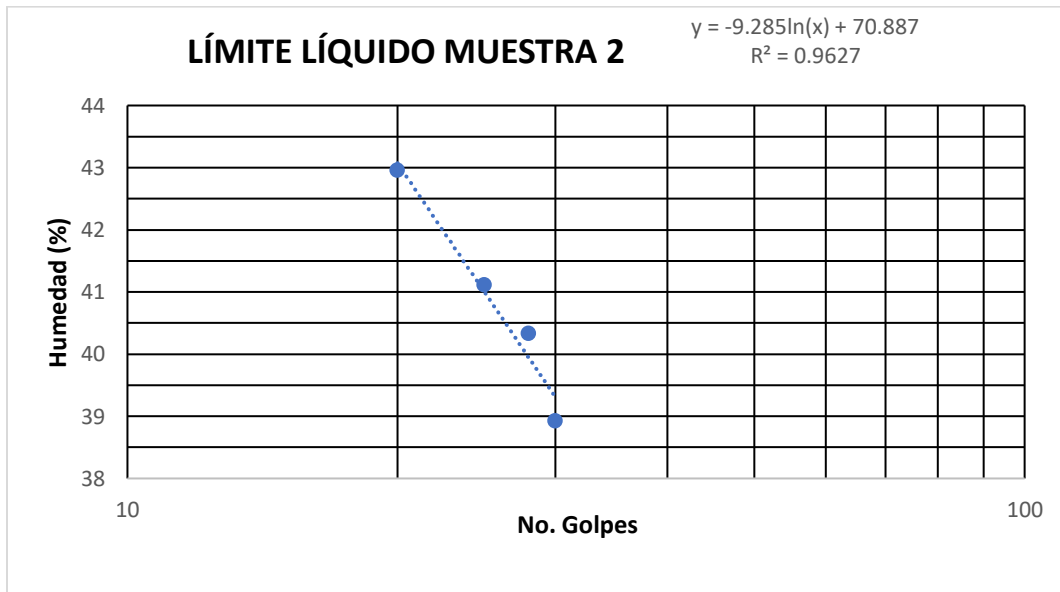
PRUEBA No	CAPSULA No	No GOLPES	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso agua (g)	Peso cápsula (g)	Peso suelo seco (g)	Humedad (%)
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
1	13	30	36,71	32,48	4,23	20,95	11,53	36,69
2	30	26	36,46	32,16	4,30	20,84	11,32	37,99
3	12	23	54,76	50,7	4,06	40,44	10,26	39,57
4	399	18	54	50,09	3,91	40,58	9,51	41,11
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
1	304		48,99	47,09	1,9	40,55	6,54	29,05
2	23		29,7	27,82	1,88	21,09	6,73	27,93

LL=	38,42	%
LP=	28,49	%
IP=	9,93	%



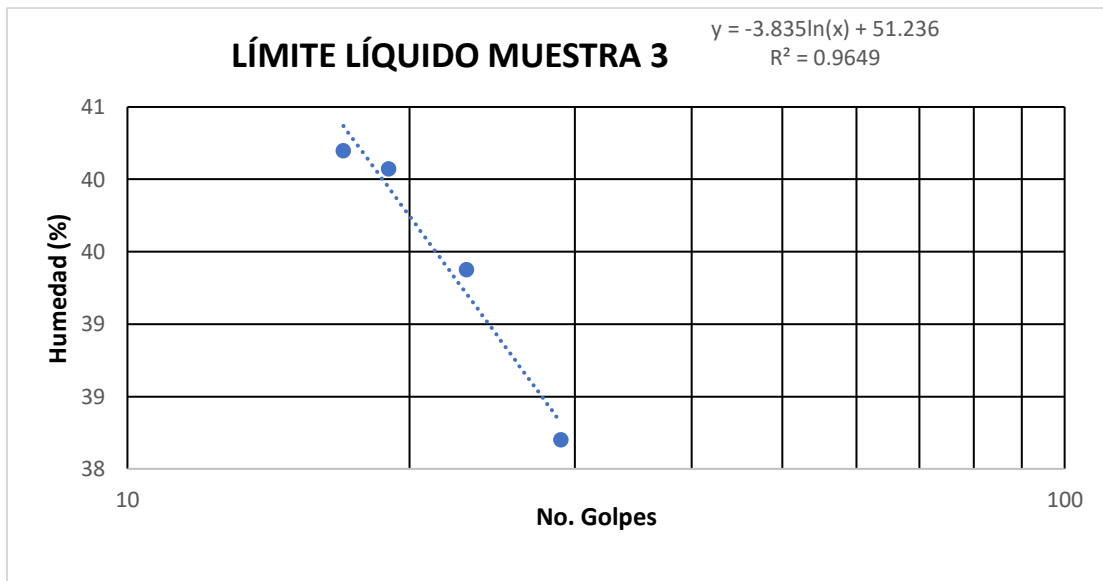
PRUEBA No	CAPSULA No	No GOLPES	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso agua (g)	Peso cápsula (g)	Peso suelo seco (g)	Humedad (%)
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
1	25	30	39,68	37,5	2,18	31,9	5,6	38,93
2	30	28	37,78	32,9	4,88	20,8	12,1	40,33
3	12	25	53,1	49,4	3,70	40,4	9	41,11
4	370	20	52,79	49,1	3,69	40,51	8,59	42,96
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
1	111		40,52	38,6	1,92	31,9	6,7	28,66
2	399		49,76	47,6	2,16	40,6	7	30,86

LL=	40,99	%
LP=	29,76	%
IP=	11,23	%



PRUEBA No	CÁPSULA No	No GOLPES	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso agua (g)	Peso cápsula (g)	Peso suelo seco (g)	Humedad (%)
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
1	380	29	53,91	50,3	3,61	40,85	9,45	38,20
2	2	23	53,65	50	3,65	40,73	9,27	39,37
3	6	19	32,77	29,4	3,37	20,99	8,41	40,07
4	304	17	53,39	49,7	3,69	40,52	9,18	40,20
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
1	51		35,45	33,3	2,15	26,93	6,37	33,75
2	13		29,31	27,5	1,81	21,03	6,47	27,98

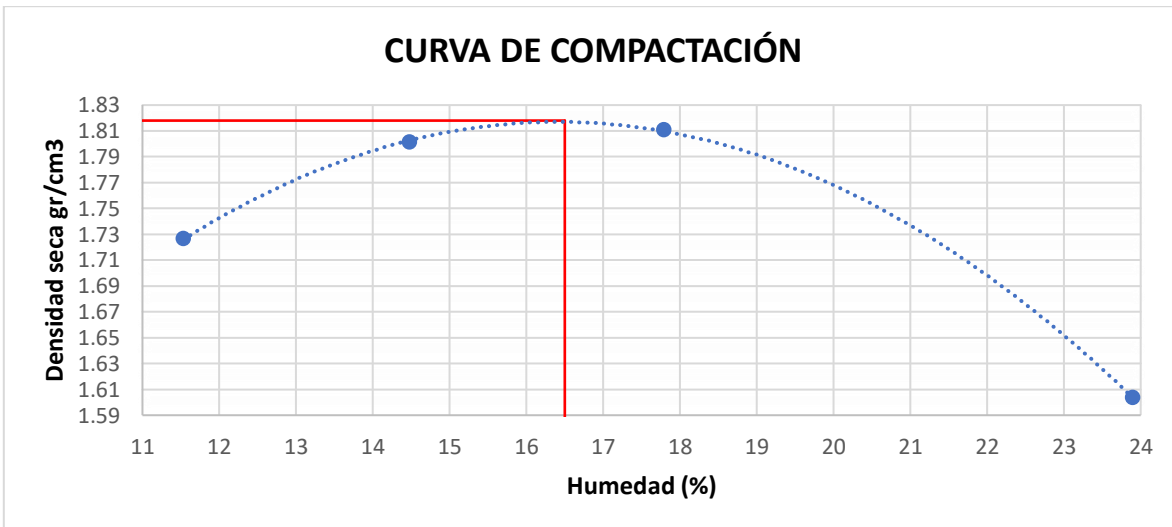
<b>LL=</b>	<b>38,89</b>	<b>%</b>
<b>LP=</b>	<b>30,86</b>	<b>%</b>
<b>IP=</b>	<b>8,03</b>	<b>%</b>



**ANEXO D.  
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN  
PROCTOR MODIFICADO**

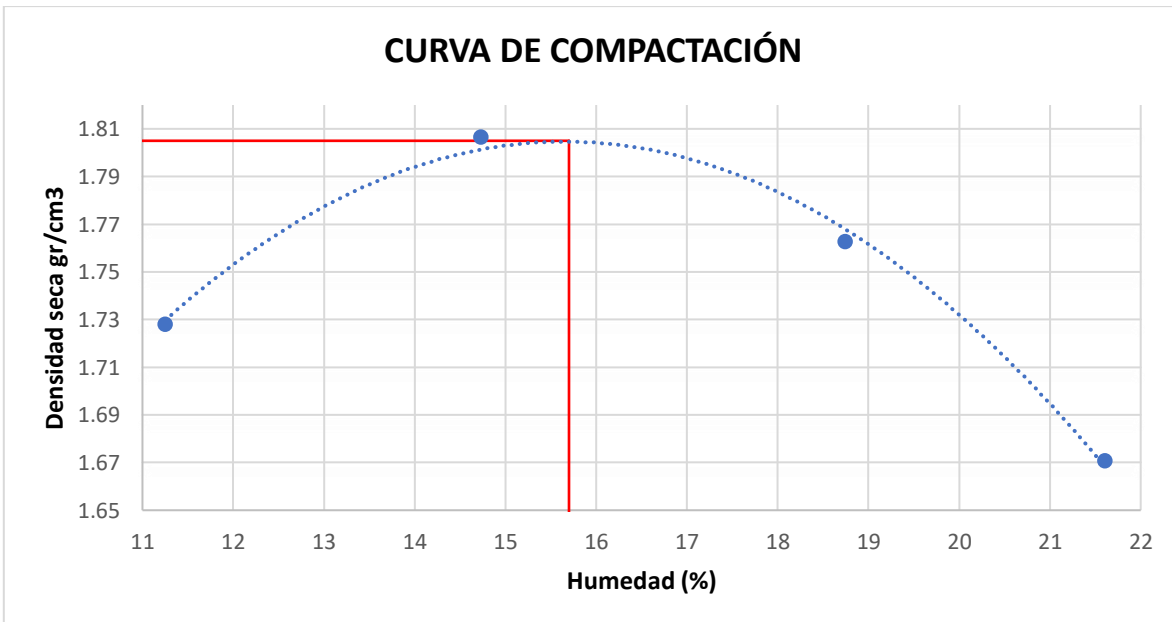
MOLDE	
Peso (g)	5952
Altura (cm)	11,7
Diámetro (cm)	15,2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2123,063

Prueba No.		1	2	3	4
Peso suelo + molde	g	10040	10330	10480	10170
Peso molde	g	5952	5952	5952	5952
Peso suelo húmedo compactado	g	4088	4378	4528	4218
Peso suelo húmedo + cápsula	g	105,50	115,40	119,10	54,80
Peso suelo seco + cápsula	g	98,80	103,50	104,30	48,30
Peso cápsula	g	40,70	21,30	21,10	21,10
Peso del agua	g	6,70	11,90	14,80	6,50
Peso del suelo seco	g	58,10	82,20	83,20	27,20
Humedad	%	11,53	14,48	17,79	23,90
Densidad suelo húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1,93	2,06	2,13	1,99
Densidad suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	1,73	1,80	1,81	1,60
<b>Densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)=</b>					<b>1,818</b>
<b>Humedad óptima (%)=</b>					<b>16,5</b>



<b>MOLDE</b>	
Peso (g)	5952
Altura (cm)	11,7
Diámetro (cm)	15,2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2123,063

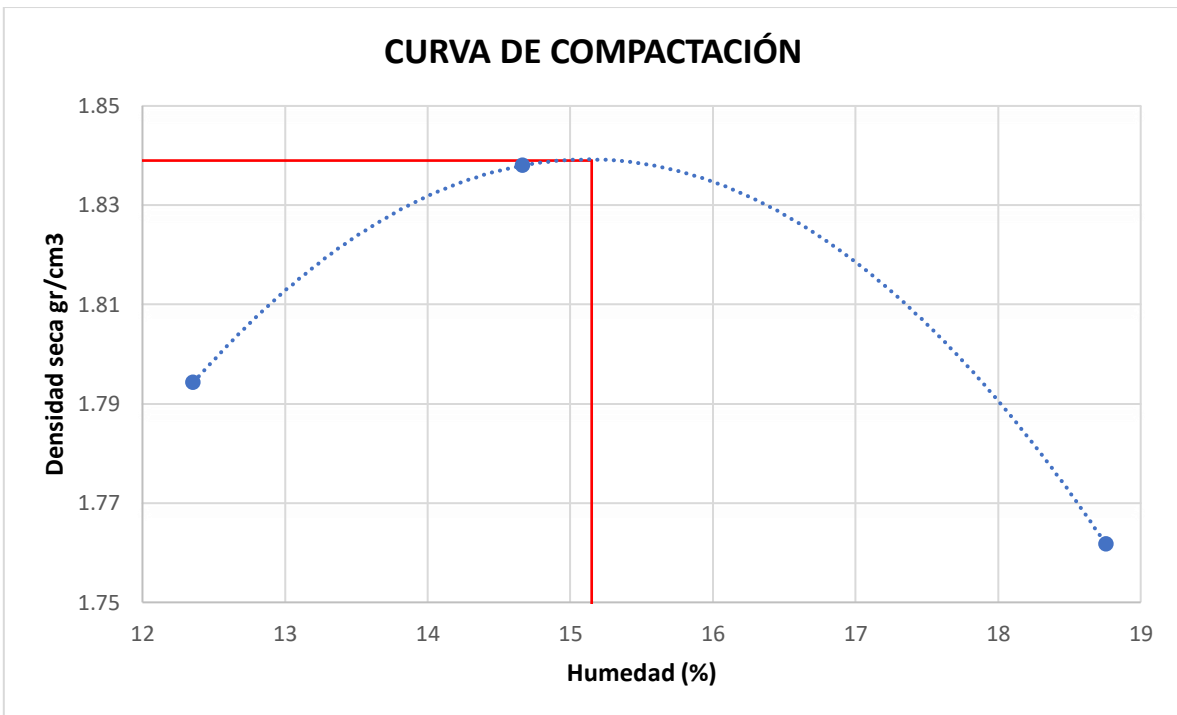
Prueba No.		1	2	3	4
Peso suelo+molde	g	10033	10352	10395	10265
Peso molde	g	5952	5952	5952	5952
Peso suelo húmedo compactado	g	4081	4400	4443	4313
Peso suelo húmedo +cápsula	g	144,00	165,30	142,90	133,36
Peso suelo seco + cápsula	g	132,16	149,30	126,80	116,87
Peso cápsula	g	26,90	40,70	40,90	40,56
Peso del agua	g	11,84	16,00	16,10	16,49
Peso del suelo seco	g	105,26	108,60	85,90	76,31
Humedad	%	11,25	14,73	18,74	21,61
Densidad suelo húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1,92	2,07	2,09	2,03
Densidad suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	1,73	1,81	1,76	1,67
<b>Densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)=</b>					<b>1,805</b>
<b>Humedad óptima (%)=</b>					<b>15,7</b>



MOLDE	
Peso (g)	5952
Altura (cm)	11,7
Diámetro (cm)	15,2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2123,063

Prueba No.		1	2	3
Peso suelo+molde	g	10213	10407	10375
Peso molde	g	5952	5952	5952
Peso suelo húmedo compactado	g	4261	4455	4423
Peso suelo húmedo +cápsula	g	116,20	105,46	133,73
Peso suelo seco + cápsula	g	106,74	94,96	119,38
Peso cápsula	g	26,95	20,84	40,78
Peso del agua	g	9,46	10,50	14,35
Peso del suelo seco	g	79,79	74,12	78,60
Humedad	%	11,86	14,17	18,26
Densidad suelo húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2,01	2,10	2,08
Densidad suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	1,79	1,84	1,76

Densidad seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )=	1,839
Humedad óptima (%)=	14,65



**ANEXO E.**  
**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.**

**CORTES DIRECTOS TIPO A**  
**(TOMADAS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO)**

**CORTE No.1 (TIPO A)**

**MUESTRA No.1**

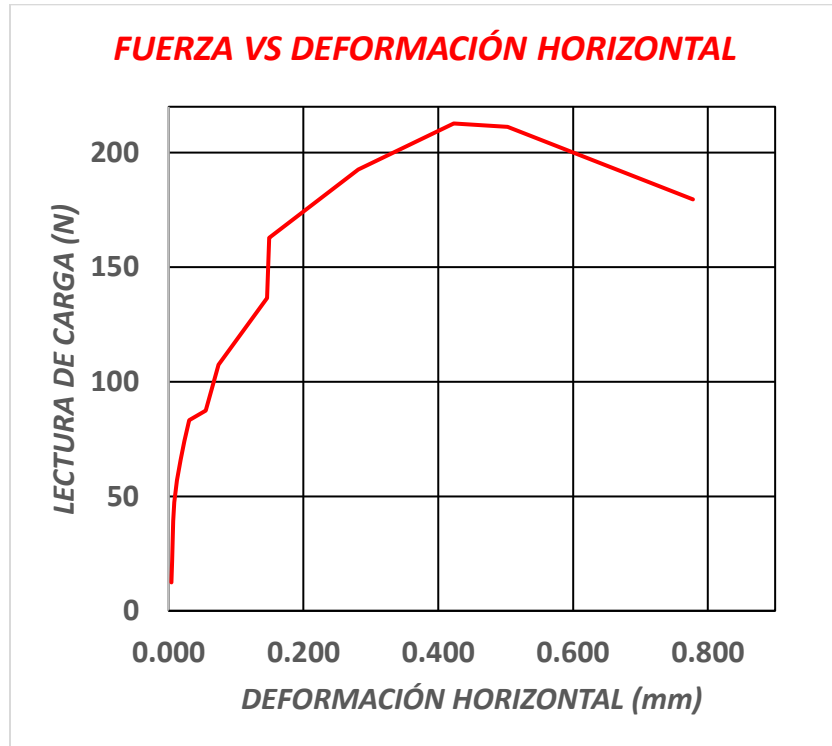
**DATOS DE LA MUESTRA No.1**

	MUESTRA 1 – CORTE 1	
<b>MUESTRA N°</b>	1	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	87,7	g
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	220,4	g
<b><math>\sigma</math></b>	1	kg/cm <sup>2</sup>

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.1**

<b>CAPSULA N°</b>	12	
<b>PESO CAPSULA</b>	40,8	g
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	83,9	g
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	77,69	g
<b>HUMEDAD</b>	16,83	%

## GRÁFICA DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.1



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.1

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>LECTURA DE CARGA (N)</b>	<b>DEF. HORIZONTAL (mm)</b>
<b>0,5</b>	12,4	0,004
<b>1</b>	21,8	0,005
<b>1,5</b>	30,5	0,006
<b>2</b>	39,2	0,007
<b>2,5</b>	47,3	0,008
<b>3</b>	56,9	0,012
<b>3,5</b>	66,0	0,018
<b>4</b>	74,2	0,023
<b>4,5</b>	83,1	0,030
<b>5</b>	87,4	0,055
<b>6</b>	107,5	0,074

<b>8</b>	136,6	0,146
<b>10</b>	162,8	0,149
<b>13</b>	192,6	0,281
<b>16</b>	212,7	0,423
<b>20</b>	211,3	0,503
<b>25</b>	179,5	0,778

### MUESTRA No.2

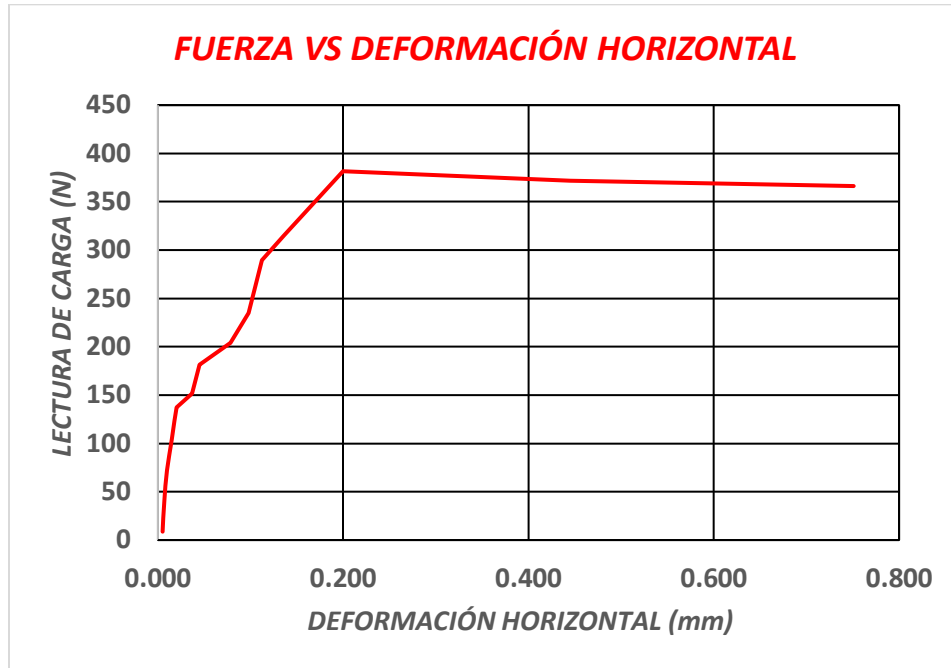
#### DATOS DE LA MUESTRA No.2

	MUESTRA 2 – CORTE 1	
<b>MUESTRA N°</b>	2	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	87,4	g
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	227,1	g
<b><math>\sigma</math></b>	2	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.2

<b>CAPSULA N°</b>	300	
<b>PESO CAPSULA</b>	26,9	g
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	67,8	g
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	61,47	g
<b>HUMEDAD</b>	18,31	%

## GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.2



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.2

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>LECTURA DE CARGA (N)</b>	<b>DEF. HORIZONTAL (mm)</b>
0,5	8,7	0,005
1	23,1	0,006
1,5	40,2	0,007
2	55,9	0,008
2,5	72,0	0,010
3	87,1	0,012
3,5	104,2	0,015
4	123,4	0,018
4,5	137,0	0,020
5	151,7	0,037
6	181,5	0,045
8	204,3	0,078
10	235,1	0,098
13	289,7	0,112

16	314,8	0,136
20	381,6	0,200
25	371,9	0,445
30	366,3	0,751

### MUESTRA No.3

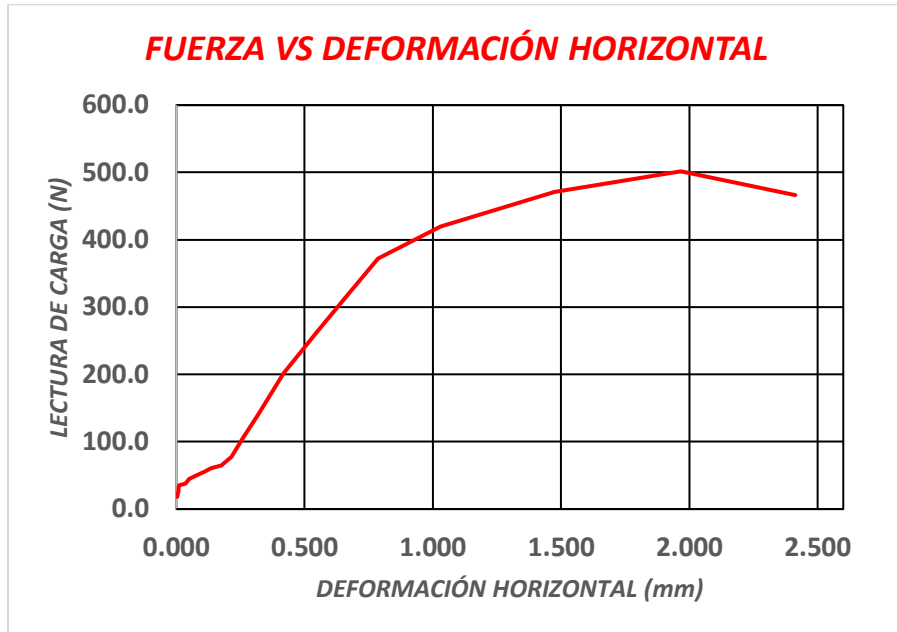
#### DATOS DE LA MUESTRA No.3

	MUESTRA 3 – CORTE 1	
<b>MUESTRA N°</b>	3	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	85,83	g
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	213,5	g
<b><math>\sigma</math></b>	4	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.3

<b>CAPSULA N°</b>	49	
<b>PESO CAPSULA</b>	11,5	g
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	34,1	g
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	30,6	g
<b>HUMEDAD</b>	18,29	%

### GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.3



### TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.3

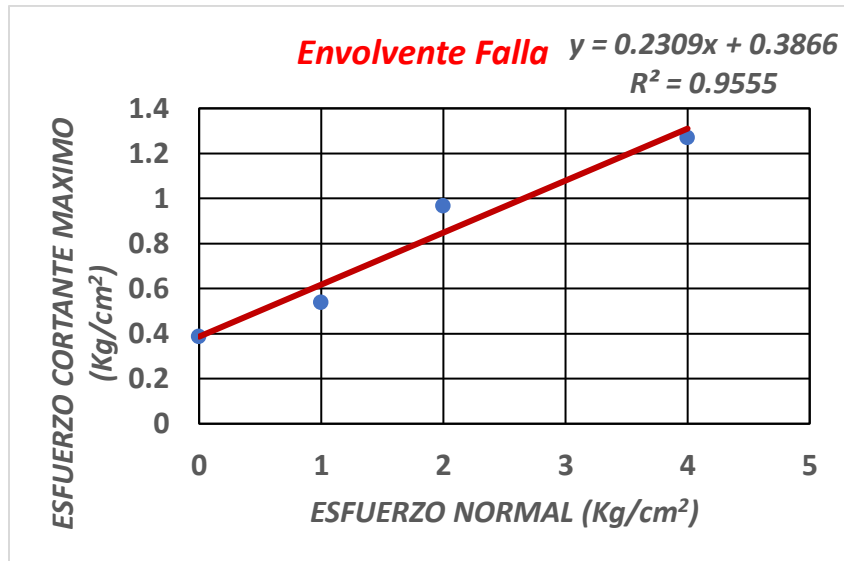
<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
0,5	18,1	0,003
1	27,1	0,008
1,5	31,5	0,009
2	35,2	0,011
2,5	37,7	0,035
3	45,2	0,050
3,5	51,9	0,089
4	55,6	0,112
4,5	60,5	0,135
5	64,9	0,175
6	77,0	0,215
8	105,8	0,260
10	139,7	0,319

13	201,6	0,418
16	263,9	0,549
20	319,2	0,670
25	371,7	0,786
30	419,2	1,030
40	470,9	1,474
50	501,7	1,967
60	466,2	2,413

### ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.1 (TIPO A)

<b>MUESTRA N°</b>		
<b>VEL. ENSAYO</b>	<b>0,05</b>	mm/min
<b>CARGA</b>	<b><math>\tau</math> Máx</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>
<b>0</b>	<b>0,417</b>	
1	0,561271636	18,84%
2	0,960949723	17,37%
4	1,248677421	17,50%
$\phi$	12,2	°
<b>C</b>	0,417	Kg/cm <sup>2</sup>
$\omega$	17,9	%
$\gamma$	1,61	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	1,36	g/cm <sup>3</sup>

### GRÁFICA DE LA ENVOLVENTE DE FALLA CORTE No.1 (TIPO A)



### CORTE No.2 (TIPO A)

#### MUESTRA No.1

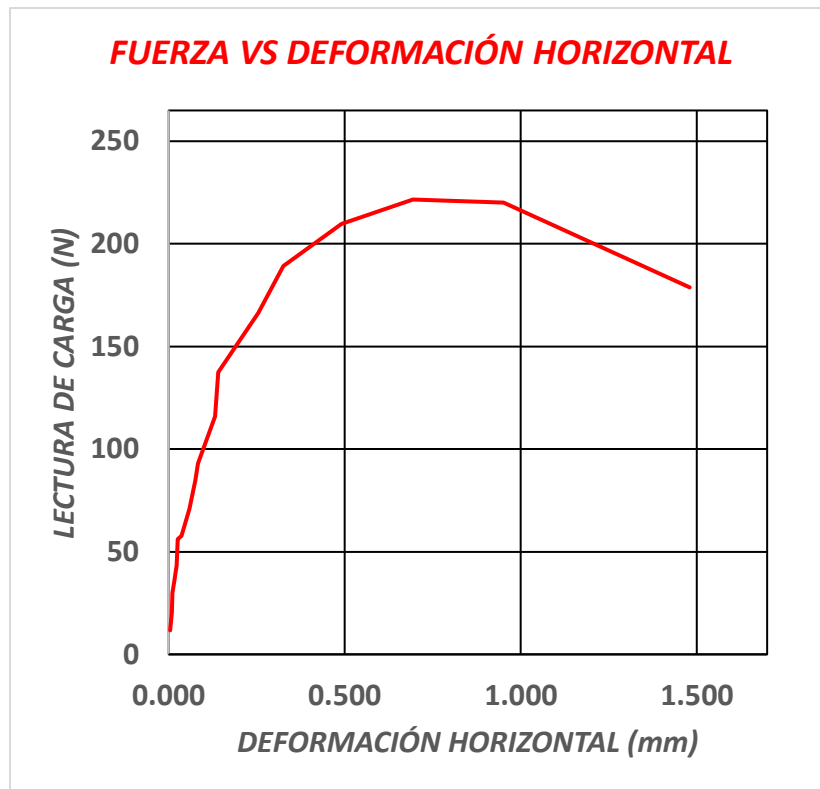
#### DATOS DE LA MUESTRA No.1

	MUESTRA 1 - CORTE 2	
MUESTRA N°	1	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	cm
PESO MOLDE	88,2	g
PESO MUESTRA + MOLDE	221,7	g
$\sigma$	1	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.1

CAPSULA N°	19	
PESO CAPSULA	31,9	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	81,1	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	73,3	g
HUMEDAD	18,84	%

## GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.1



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.1

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
<b>0,5</b>	11,7	0,004
<b>1</b>	20,4	0,009
<b>1,5</b>	29,8	0,011
<b>2</b>	36,5	0,017
<b>2,5</b>	43,5	0,023
<b>3</b>	56,2	0,025
<b>3,5</b>	57,6	0,036
<b>4</b>	64,6	0,049
<b>4,5</b>	71,0	0,059
<b>5</b>	84,7	0,075

<b>6</b>	93,1	0,083
<b>8</b>	115,9	0,131
<b>10</b>	137,6	0,141
<b>13</b>	166,2	0,254
<b>16</b>	189,3	0,326
<b>20</b>	209,7	0,490
<b>25</b>	221,6	0,694
<b>30</b>	220,2	0,952
<b>40</b>	178,8	1,480

### MUESTRA No.2

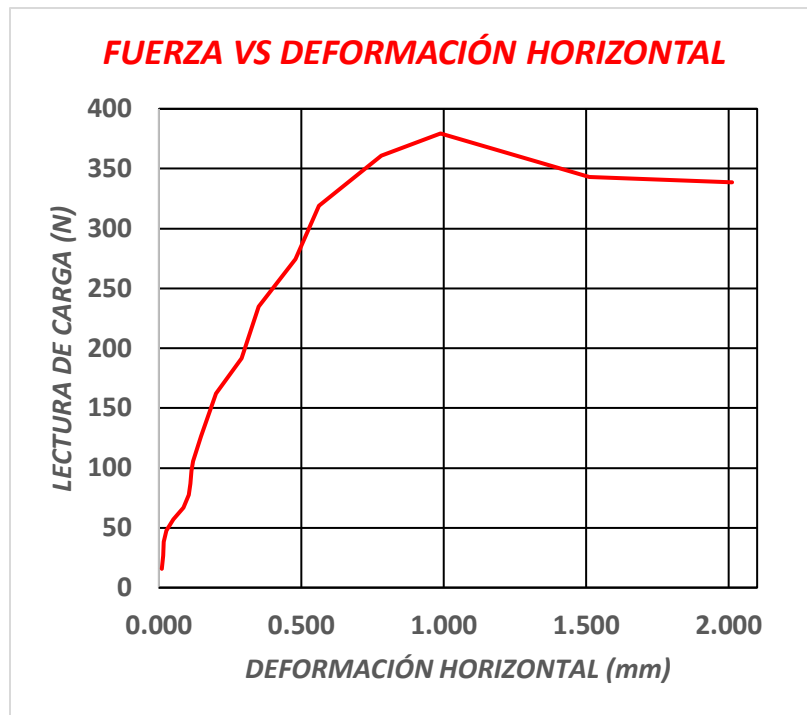
#### DATOS DE LA MUESTRA No.2

FECHA DE ENSAYO	MUESTRA 2 – CORTE 2	
MUESTRA N°	<b>2</b>	
VEL. ENSAYO	<b>0,05</b>	mm/min
AREA MUESTRA	<b>40,26</b>	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	<b>2,01</b>	cm
PESO MOLDE	<b>88,23</b>	g
PESO MUESTRA + MOLDE	<b>220,37</b>	g
$\sigma$	<b>2</b>	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.2

CAPSULA N°	24	
PESO CAPSULA	18,52	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	46,43	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	42,3	g
HUMEDAD	17,37	%

## GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.2



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.2

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
0,5	15,7	0,010
1	26,8	0,015
1,5	38,2	0,016
2	47,6	0,027
2,5	56,9	0,051
3	67,0	0,086
3,5	77,4	0,104
4	86,7	0,110
4,5	97,5	0,114
5	105,5	0,120
6	126,3	0,147

8	162,1	0,200
10	191,6	0,290
13	234,8	0,350
16	274,6	0,480
20	319,2	0,561
25	360,7	0,780
30	379,4	0,989
40	342,9	1,511
50	338,6	2,012

### MUESTRA No.3

#### DATOS DE LA MUESTRA No.3

FECHA DE ENSAYO	MUESTRA 3 – CORTE 2	
MUESTRA N°	3	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	cm
PESO MOLDE	87,21	g
PESO MUESTRA + MOLDE	211,68	g
$\sigma$	4	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.3

CAPSULA N°	148	
PESO CAPSULA	11	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	24,9	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	22,8	g
HUMEDAD	17,50	%

## GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.3



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.3

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
0,5	5,4	0,004
1	7,4	0,004
1,5	13,4	0,005
2	26,8	0,011
2,5	30,5	0,014
3	46,9	0,061
3,5	57,9	0,097
4	73,3	0,135
4,5	79,4	0,136
5	84,3	0,136

6	89,4	0,137
8	103,5	0,280
10	130,6	0,291
13	182,5	0,398
16	231,7	0,483
20	289,7	0,612
25	344,6	0,730
30	392,8	0,896
40	468,2	1,335
50	493	1,820
60	491	2,108
70	490	2,697

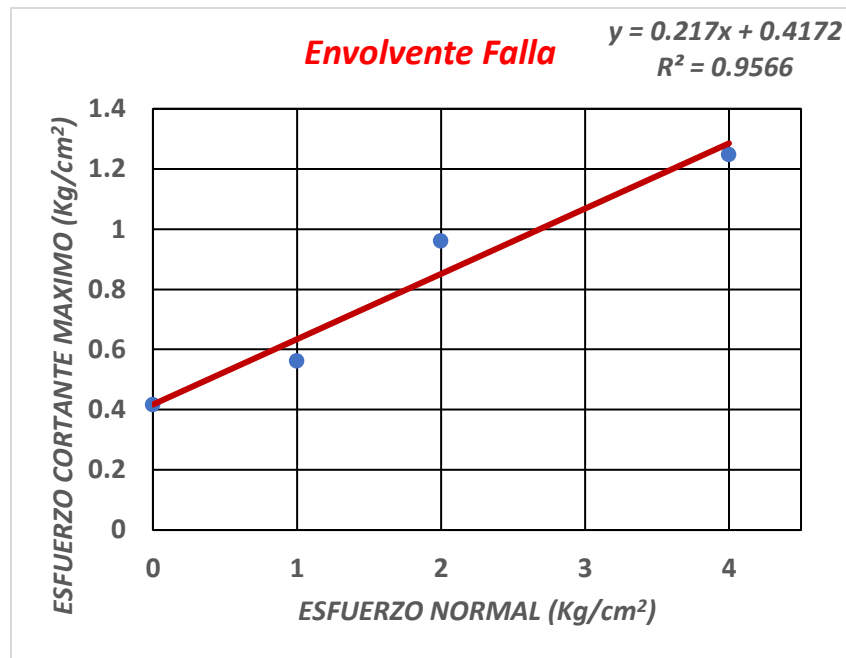
### ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.2 (TIPO A)

<b>MUESTRA N°</b>		
<b>VEL. ENSAYO</b>	<b>0,05</b>	mm/min
<b>CARGA</b>	<b><math>\tau</math> Máx</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>
<b>0</b>	<b>0,417</b>	
1	0,561271636	18,84%
2	0,960949723	17,37%
4	1,248677421	17,50%

$\phi$	12,2	°
C	0,417	Kg/cm <sup>2</sup>

$\omega$	17,9	%
$\gamma$	1,61	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	1,36	g/cm <sup>3</sup>

## GRÁFICA DE ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.2 (TIPO A)



## CORTE No.3 (TIPO A)

### MUESTRA No.1

#### DATOS DE MUESTRA No.1

	MUESTRA 1 – CORTE 3	
MUESTRA N°	1	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	cm
PESO MOLDE	88,1	g
PESO MUESTRA + MOLDE	204,13	g
$\sigma$	1	kg/cm <sup>2</sup>

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.1

CAPSULA N°	102	
PESO CAPSULA	20,8	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	46,9	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	42,8	g
HUMEDAD	18,63	%

### GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.1



**TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.1**

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>LECTURA DE CARGA (N)</b>	<b>DEF. HORIZONTAL (mm)</b>
0,5	13,4	0,014
1	24,1	0,062
1,5	33,5	0,069
2	41,2	0,084
2,5	49,6	0,112
3	55,9	0,138
3,5	62,6	0,137
4	68,7	0,144
4,5	75,0	0,147
5	81,4	0,161
6	91,8	0,195
8	113,2	0,205
10	130,6	0,318
13	155,4	0,436
16	177,2	0,541
20	199,3	0,663
25	214,3	0,923
30	211,7	1,067
40	181,2	1,619

**MUESTRA No.2**

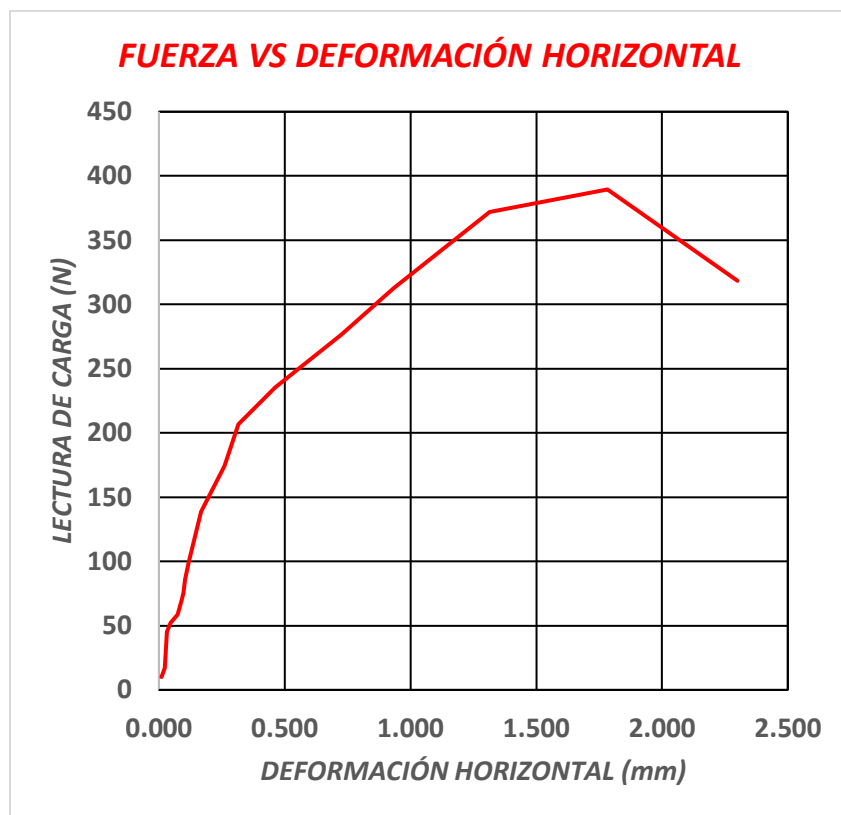
**DATOS DE LA MUESTRA No.2**

	<b>MUESTRA 2 – CORTE 3</b>	
<b>MUESTRA N°</b>	2	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	88,1	g
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	219,44	g
<b><math>\sigma</math></b>	2	kg/cm <sup>2</sup>

## CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.2

CAPSULA N°	13	
PESO CAPSULA	21,3	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	48,99	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	44,9	g
HUMEDAD	17,33	%

## GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.2



**TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.2**

<b><i>TIEMPO (min)</i></b>	<b><i>LECTURA DE CARGA (N)</i></b>	<b><i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i></b>
0,5	10,0	0,010
1	16,9	0,024
1,5	24,1	0,026
2	31,1	0,027
2,5	38,2	0,029
3	45,2	0,032
3,5	52,2	0,046
4	58,6	0,075
4,5	69,0	0,089
5	75,4	0,097
6	86,1	0,104
8	99,5	0,118
10	138,6	0,167
13	174,5	0,260
16	206,6	0,315
20	235,4	0,462
25	276,6	0,726
30	312,5	0,932
40	372,1	1,315
50	389,5	1,782
60	318,5	2,300

## MUESTRA No.3

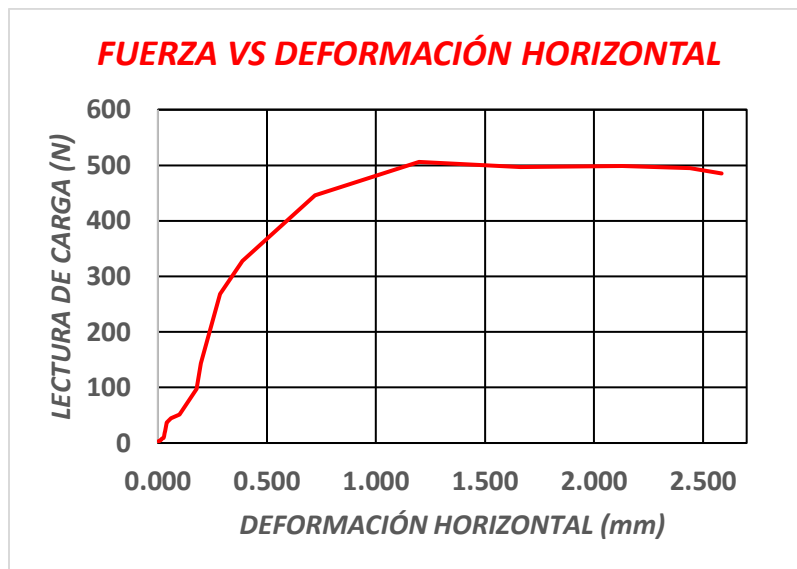
### DATOS DE LA MUESTRA No.3

	MUESTRA 3 – CORTE 3	
MUESTRA N°	3	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	Cm
PESO MOLDE	83,98	g
PESO MUESTRA + MOLDE	211,49	g
$\sigma$	4	kg/cm <sup>2</sup>

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.3

CAPSULA N°	24	
PESO CAPSULA	18,5	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	74	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	65,7	g
HUMEDAD	17,51	%

### GRÁFICA DEL CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.3



**TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.3**

<b><i>TIEMPO (min)</i></b>	<b><i>LECTURA DE CARGA (N)</i></b>	<b><i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i></b>
0,5	3,3	0,002
1	3,7	0,005
1,5	4,7	0,009
2	5,6	0,013
2,5	7,2	0,016
3	8,4	0,020
3,5	8,7	0,024
4	9,4	0,025
4,5	11,7	0,029
5	17,3	0,031
6	21,9	0,034
8	36,5	0,040
10	44,2	0,060
13	50,9	0,100
16	97,3	0,176
20	143,3	0,197
25	268,3	0,285
30	327,5	0,387
40	445,7	0,720
50	506,0	1,196
60	496,6	1,663
70	499	2,128
80	494,6	2,440
85	484,9	2,585

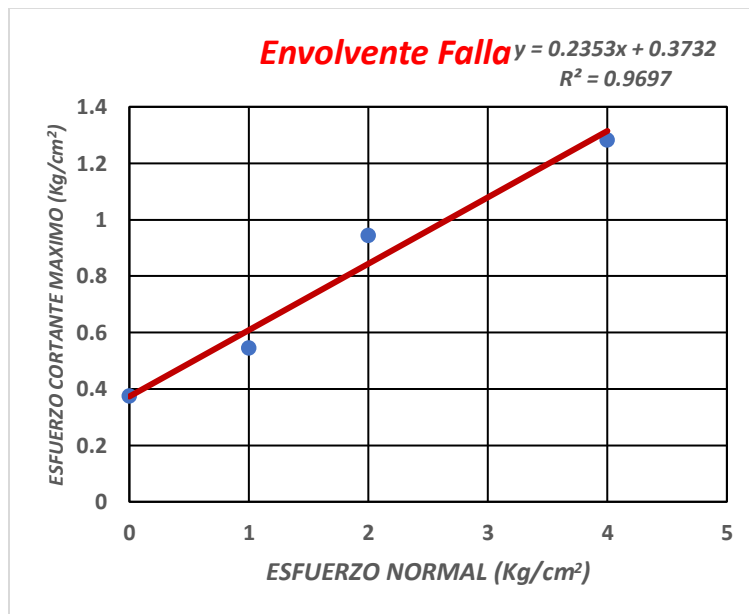
### ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.3

MUESTRA N°		
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
CARGA	$\tau$ Máx	CONTENIDO DE HUMEDAD
1	0,542782092	18,63%
2	0,94246018	17,33%
4	1,281604007	17,51%

$\phi$	13,2	°
C	0,373	Kg/cm <sup>2</sup>

$\omega$	17,82	%
$\gamma$	1,54	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	1,31	g/cm <sup>3</sup>

### GRÁFICA E LA ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.3



**CORTES DIRECTOS TIPO B**  
**(MUESTRAS TOMADAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN)**

**CORTE No.1 (TIPO B)**

**MUESTRA No.1**

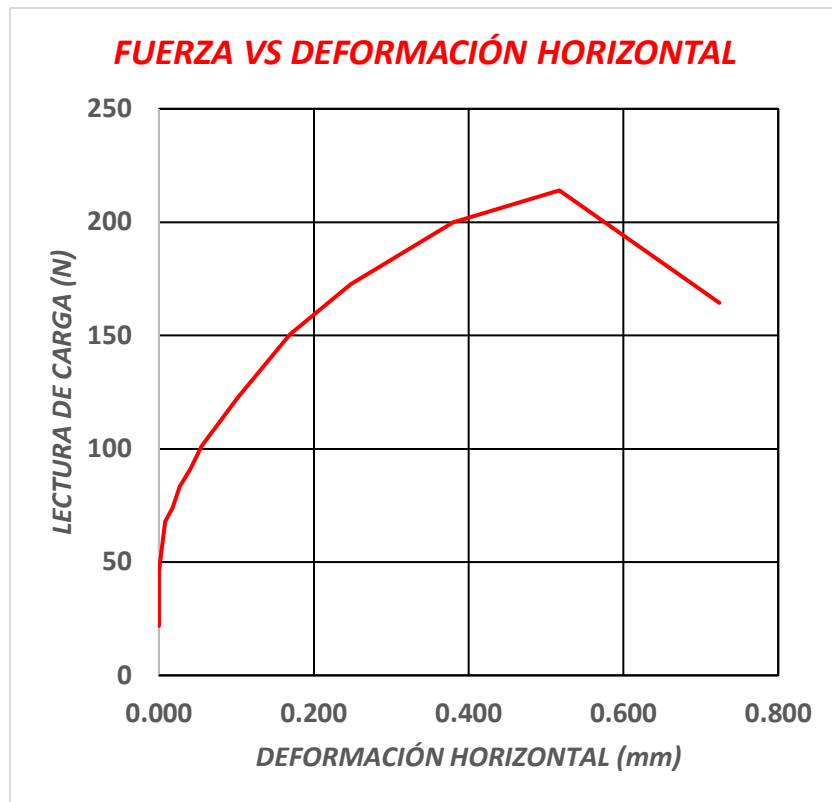
**DATOS DE LA MUESTRA No.1**

	MUESTRA 1 – CORTE 1	
<b>MUESTRA N°</b>	1	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	84	g
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	200,5	g
$\sigma$	1	kg/cm <sup>2</sup>

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.1**

<b>CAPSULA N°</b>	774	
<b>PESO CAPSULA</b>	21,2	g
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	65,9	g
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	59,3	g
<b>HUMEDAD</b>	17,32	%

## GRÁFICA DEL CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.1



## TABLA DE DATOS DE A MUESTRA No.1

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>LECTURA DE CARGA (N)</b>	<b>DEF. HORIZONTAL (mm)</b>
0,5	21,8	0,000
1	34,8	0,000
1,5	45,9	0,000
2	68,0	0,008
2,5	74,0	0,018
3	83,1	0,027
3,5	91,4	0,041
4	101,1	0,055
4,5	122,2	0,101

<b>5</b>	150,4	0,169
<b>6</b>	172,5	0,248
<b>8</b>	199,9	0,380
<b>10</b>	214,0	0,517
<b>13</b>	164,4	0,724

### MUESTRA No.2

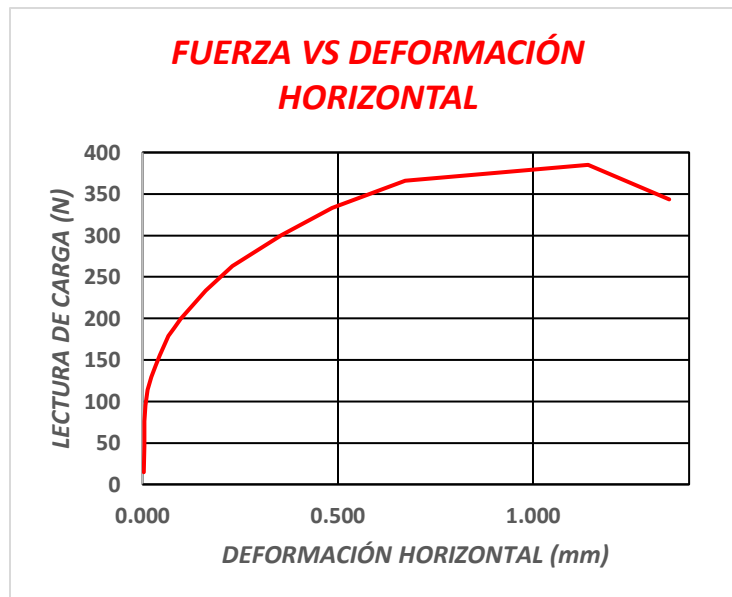
#### DATOS DE LA MUESTRA No.2

FECHA DE ENSAYO	MUESTRA 2 – CORTE 1(B)	
MUESTRA N°	2	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	cm
PESO MOLDE	86,7	g
PESO MUESTRA + MOLDE	216,6	g
$\sigma$	2	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DEHUMEDAD DE LA MUESTRA No.2

CAPSULA N°	333	
PESO CAPSULA	27	g
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	84,2	g
PESO SUELO SECO + CAPSULA	75,9	g
HUMEDAD	16,97	%

## GRÁFICA DE CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.2



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.2

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
0,5	14,7	0,003
1	46,5	0,004
1,5	76,0	0,004
2	95,4	0,007
2,5	114,2	0,013
3	129,3	0,022
3,5	143,0	0,033
4	155,7	0,044
4,5	167,4	0,055
5	178,8	0,066
6	188,9	0,081
8	199,3	0,098
10	233,8	0,161
13	263,2	0,230

16	300,7	0,355
20	333,2	0,485
25	365,7	0,672
30	385,1	1,141
40	343,3	1,349

### MUESTRA No.3

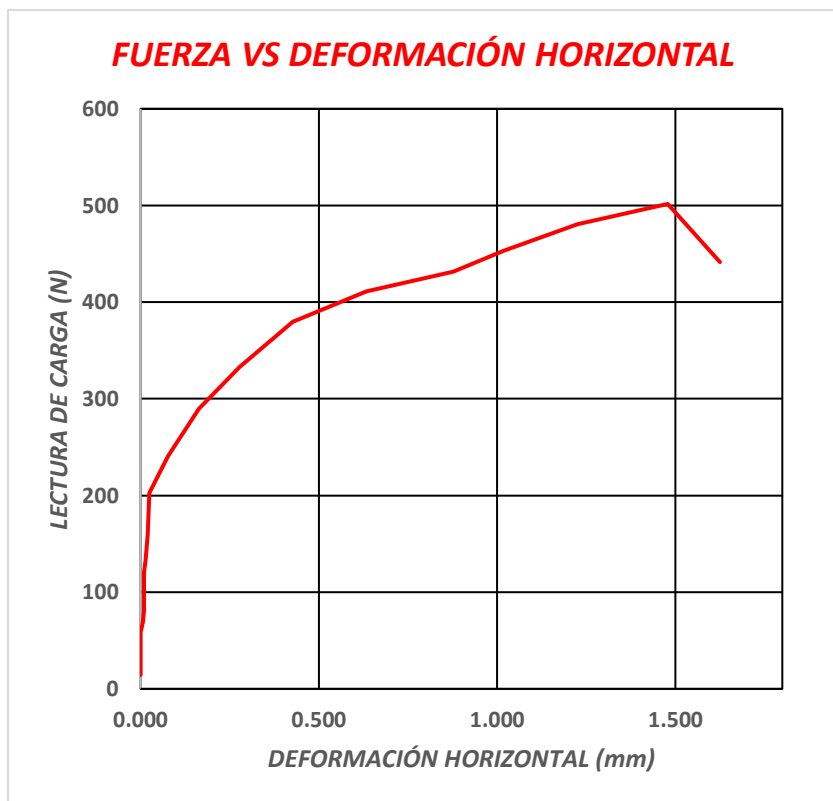
#### DATOS DE LA MUESTRA No.3

<b>MUESTRA N°</b>	3	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	88,23	gr
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	216,23	gr
<b><math>\sigma</math></b>	4	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.3

<b>CAPSULA N°</b>	2	
<b>PESO CAPSULA</b>	11,5	gr
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	34,1	gr
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	30,8	gr
<b>HUMEDAD</b>	17,00	%

#### GRÁFICA DEL CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.3



**TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.3**

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>LECTURA DE CARGA (N)</b>	<b>DEF. HORIZONTAL (mm)</b>
0,5	14,4	0,000
1	30,8	0,000
1,5	43,2	0,000
2	58,6	0,000
2,5	69,3	0,006
3	80,7	0,009
3,5	95,4	0,009
4	105,2	0,009
4,5	120,2	0,009
5	133,0	0,014
6	159,4	0,020
8	202,6	0,025

10	240,8	0,077
13	290,0	0,163
16	332,9	0,277
20	379,8	0,427
25	410,9	0,633
30	431,4	0,877
35	453,2	1,018
40	480,4	1,225
50	501,6	1,478
60	441,4	1,625

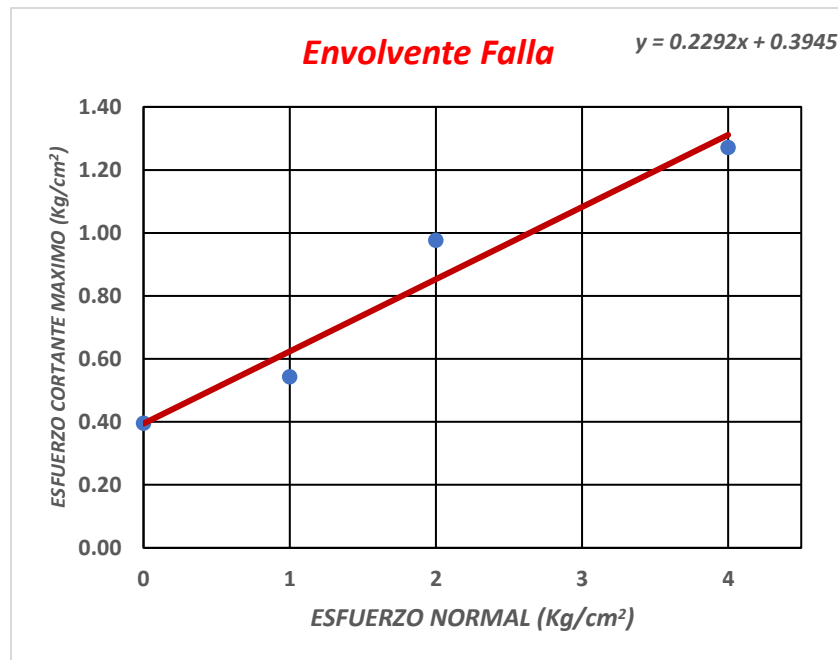
### ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.1 (TIPO B)

<b>MUESTRA N°</b>	1	
<b>VEL. ENSAYO</b>	<b>0,05</b>	mm/min
<b><math>\sigma</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\tau</math> Máx (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
0	0,3945	
1	0,54	17,32
2	0,98	16,97
4	1,27	17,00

$\phi$	12,9	°
C	0,3945	Kg/cm <sup>2</sup>

$\omega$	17,10	%
$\gamma$	1,54	gr/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	1,32	gr/cm <sup>3</sup>

## GRÁFICA DE LA ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.1 (TIPO B)



## CORTE No.2 (TIPO B)

### MUESTRA No.1

#### DATOS DE LA MUESTRA No.1

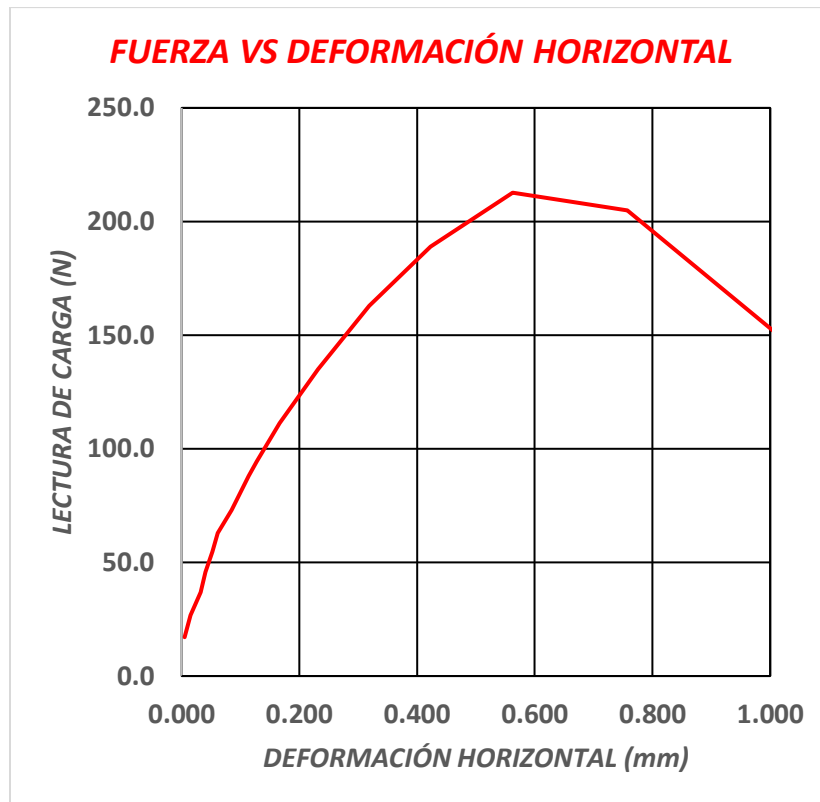
MUESTRA N°	1	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	cm
PESO MOLDE	88,1	gr
PESO MUESTRA + MOLDE	226,3	gr
$\sigma$	1	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.1

CAPSULA N°	8	
------------	---	--

<b>PESO CAPSULA</b>	18,6	gr
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	48,8	gr
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	44,4	gr
<b>HUMEDAD</b>	17,05	%

### GRÁFICA DEL CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.1



### TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.1

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>LECTURA DE CARGA (N)</b>	<b>DEF. HORIZONTAL (mm)</b>
<b>0,5</b>	17,1	0,005
<b>1</b>	26,8	0,015

1,5	36,8	0,032
2	45,9	0,040
2,5	54,6	0,052
3	63,0	0,061
3,5	73,0	0,085
4	79,0	0,097
4,5	88,1	0,114
5	94,4	0,127
6	111,2	0,166
8	135,0	0,232
10	162,8	0,319
13	188,9	0,423
16	212,7	0,562
20	205,0	0,757
25	128,9	1,113

### MUESTRA No.2

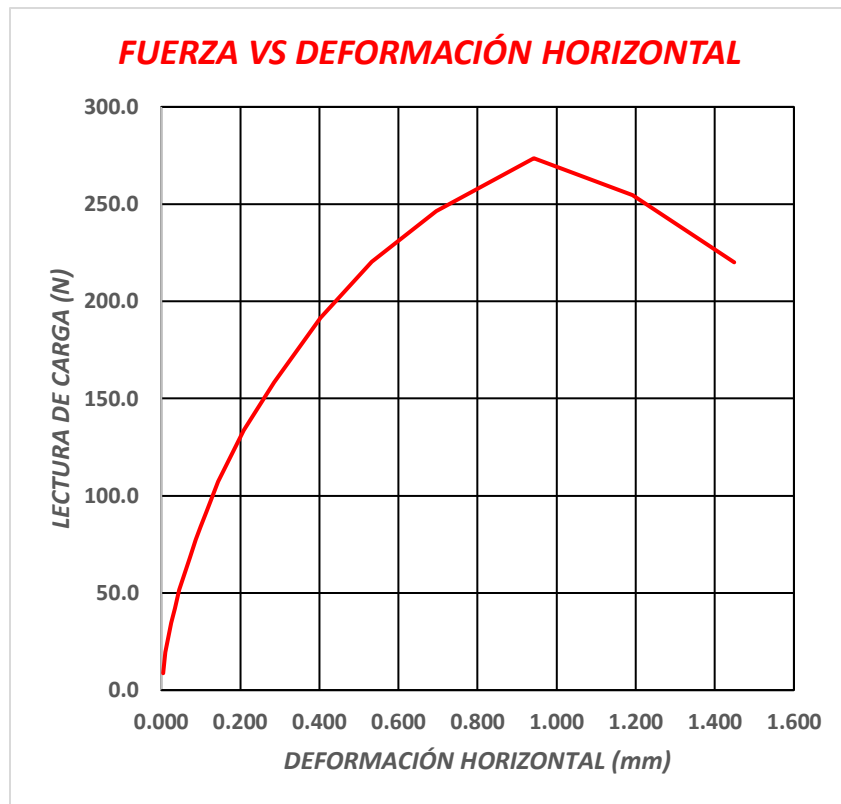
#### DATOS DE LA MUESTRA No.2

MUESTRA N°	2	
VEL. ENSAYO	0,05	mm/min
AREA MUESTRA	40,26	cm <sup>2</sup>
ALTURA MUESTRA	2,01	cm
PESO MOLDE	86,7	gr
PESO MUESTRA + MOLDE	216,6	gr
$\sigma$	2	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.2

CAPSULA N°	2	
PESO CAPSULA	18,4	gr
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	65,7	gr
PESO SUELO SECO + CAPSULA	58,55	gr
HUMEDAD	17,81	%

## GRÁFICA DEL CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.2



## TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.2

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
<b>0,5</b>	8,7	0,005
<b>1</b>	19,6	0,011
<b>1,5</b>	34,5	0,025
<b>2</b>	41,9	0,035
<b>2,5</b>	51,6	0,046
<b>3</b>	58,9	0,058
<b>3,5</b>	68,0	0,073
<b>4</b>	77,4	0,087
<b>4,5</b>	84,1	0,099

<b>5</b>	91,8	0,114
<b>6</b>	107,2	0,144
<b>8</b>	133,6	0,209
<b>10</b>	158,4	0,285
<b>13</b>	191,6	0,403
<b>16</b>	220,4	0,533
<b>20</b>	246,5	0,696
<b>25</b>	273,6	0,942
<b>30</b>	254,5	1,192
<b>40</b>	220,0	1,449

### MUESTRA No.3

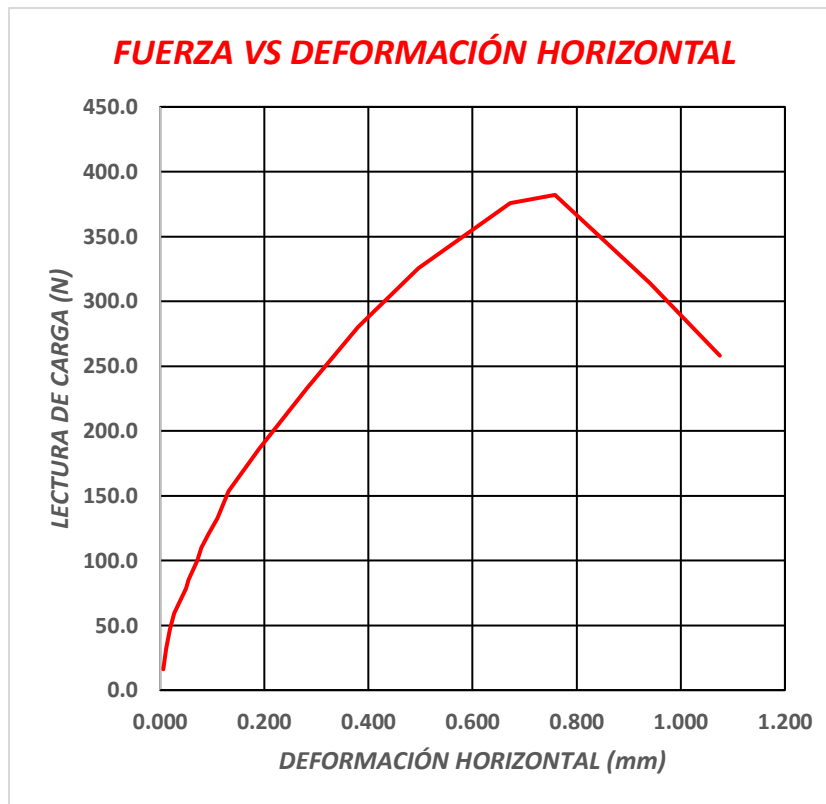
#### DATOS DE LA MUESTRA NO.3

<b>MUESTRA N°</b>	3	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b>AREA MUESTRA</b>	40,26	cm <sup>2</sup>
<b>ALTURA MUESTRA</b>	2,01	cm
<b>PESO MOLDE</b>	84,1	Gr
<b>PESO MUESTRA + MOLDE</b>	217,6	Gr
<b><math>\sigma</math></b>	4	kg/cm <sup>2</sup>

#### CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA No.3

<b>CAPSULA N°</b>	7	
<b>PESO CAPSULA</b>	18,1	gr
<b>PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA</b>	57,7	gr
<b>PESO SUELO SECO + CAPSULA</b>	52,17	gr
<b>HUMEDAD</b>	16,23	%

### GRÁFICA DEL CORTE DIRECTO DE LA MUESTRA No.3



### TABLA DE DATOS DE LA MUESTRA No.3

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>LECTURA DE CARGA (N)</i>	<i>DEF. HORIZONTAL (mm)</i>
<b>0,5</b>	16,1	0,006
<b>1</b>	32,2	0,012
<b>1,5</b>	46,9	0,019
<b>2</b>	59,3	0,027
<b>2,5</b>	78,4	0,049
<b>3</b>	85,4	0,055
<b>3,5</b>	99,5	0,071
<b>4</b>	109,8	0,079
<b>4,5</b>	120,2	0,092

<b>5</b>	132,6	0,110
<b>6</b>	153,4	0,131
<b>8</b>	186,2	0,190
<b>10</b>	233,1	0,282
<b>13</b>	280,3	0,380
<b>16</b>	325,5	0,496
<b>20</b>	375,8	0,672
<b>25</b>	382,1	0,758
<b>30</b>	314,1	0,941
<b>40</b>	258,2	1,075

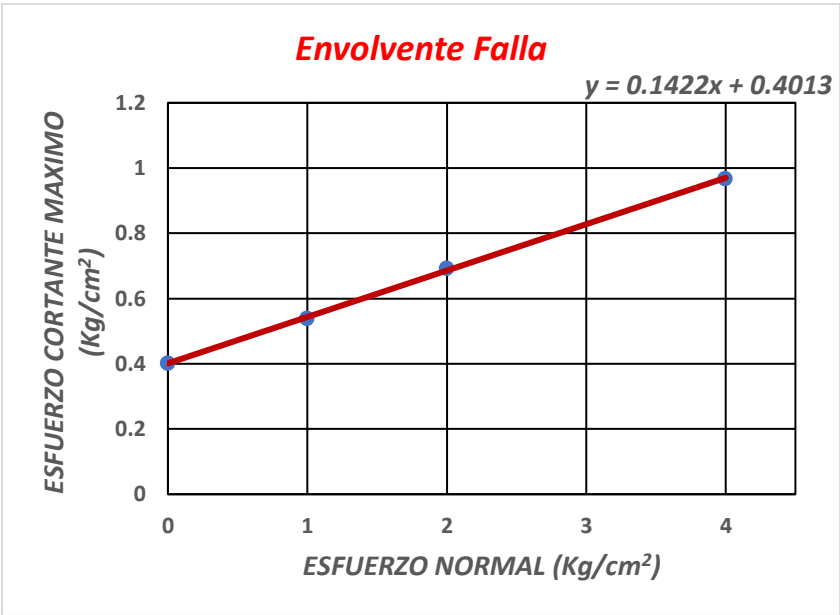
### ENVOLVENTE DEL CORTE DIRECTO No.2(TIPO B)

<b>MUESTRA N°</b>	2	
<b>VEL. ENSAYO</b>	0,05	mm/min
<b><math>\sigma</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\tau</math> Máx (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
0	0,4013	
1	0,54	17,05
2	0,69	17,81
4	0,97	16,23

<b><math>\phi</math></b>	8,1	°
<b>C</b>	0,4013	Kg/cm <sup>2</sup>

<b><math>\omega</math></b>	17,03	%
<b><math>\gamma</math></b>	1,65	gr/cm <sup>3</sup>
<b><math>\gamma_d</math></b>	1,41	gr/cm <sup>3</sup>

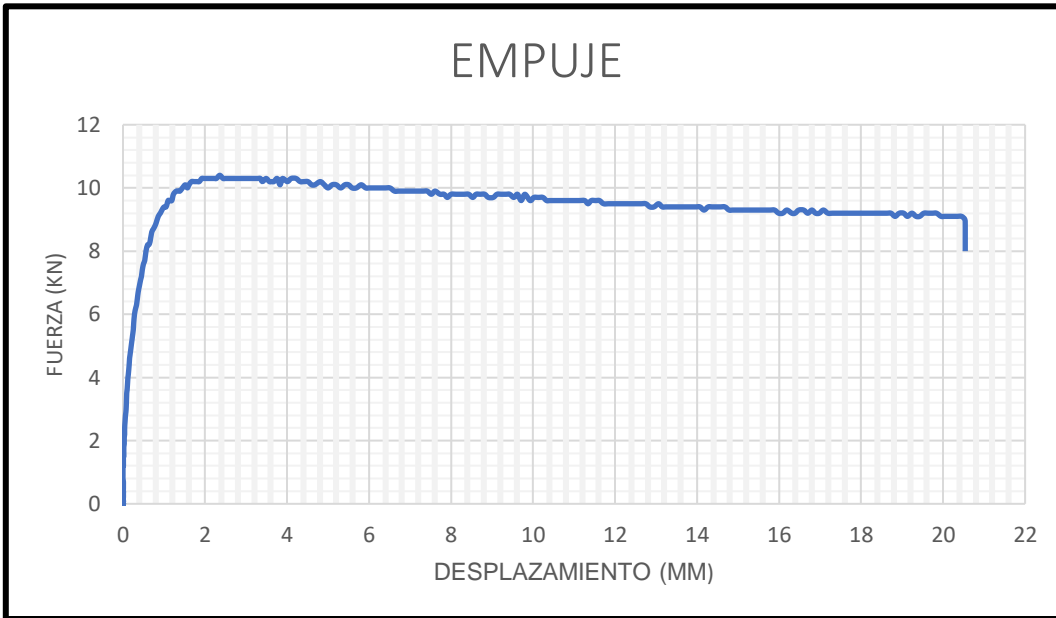
### GRÁFICA DE LA ENVOLVENTE DE FALLA DEL CORTE No.2 (TIPO B)



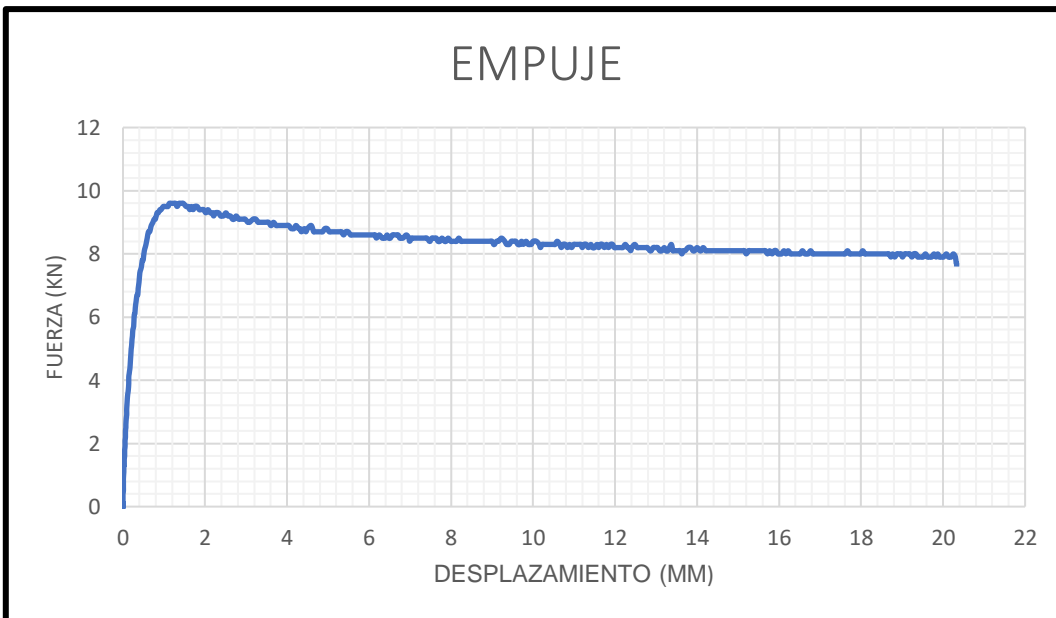
# **ANEXO F.**

## **ENSAYOS MURO DE REACCIÓN**

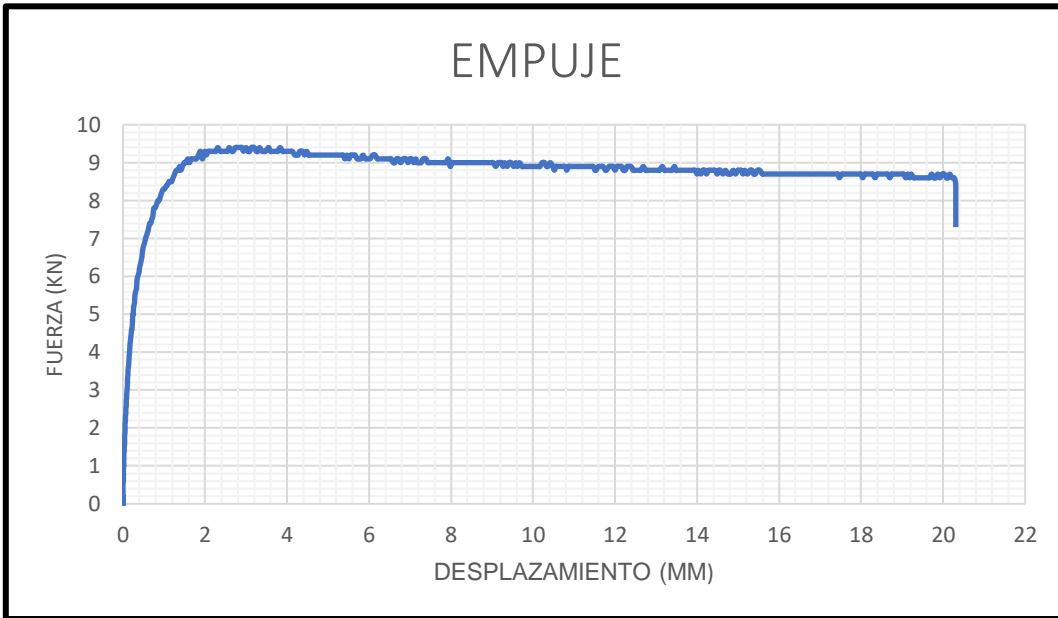
## ENSAYO 1



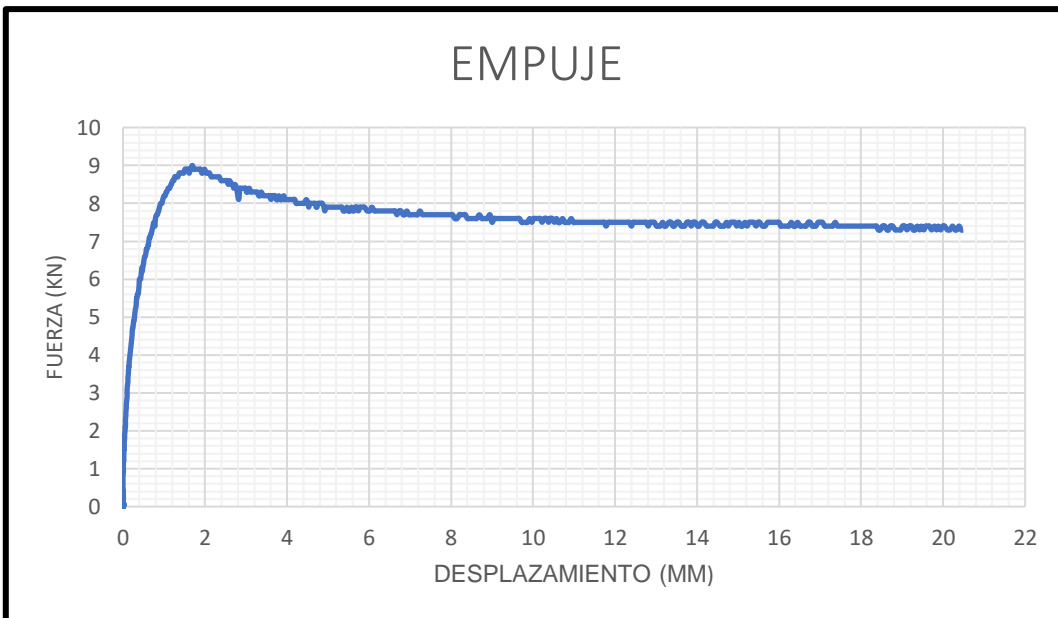
## ENSAYO 2



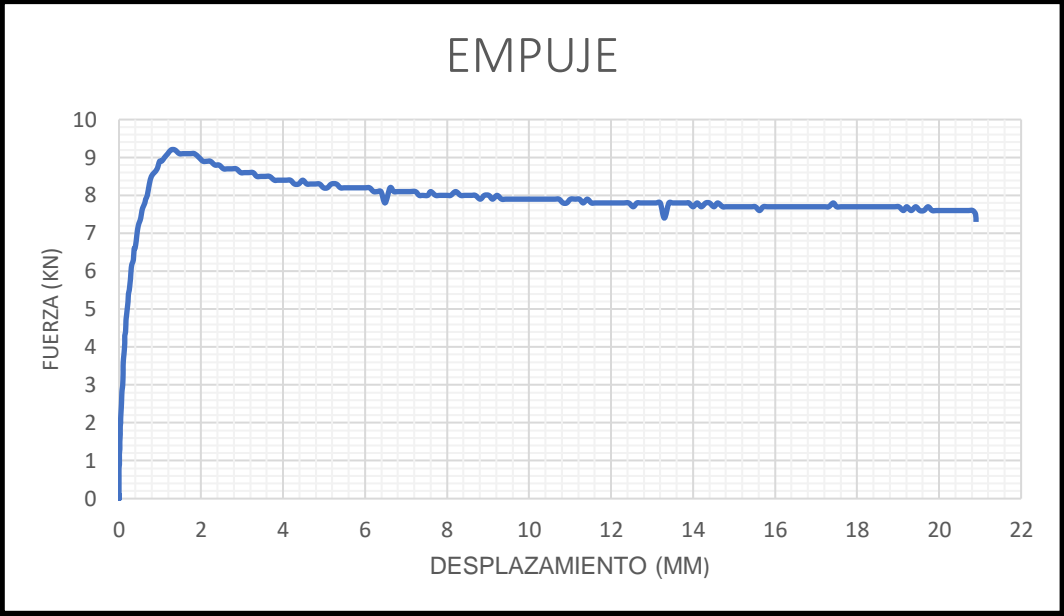
### ENSAYO 3



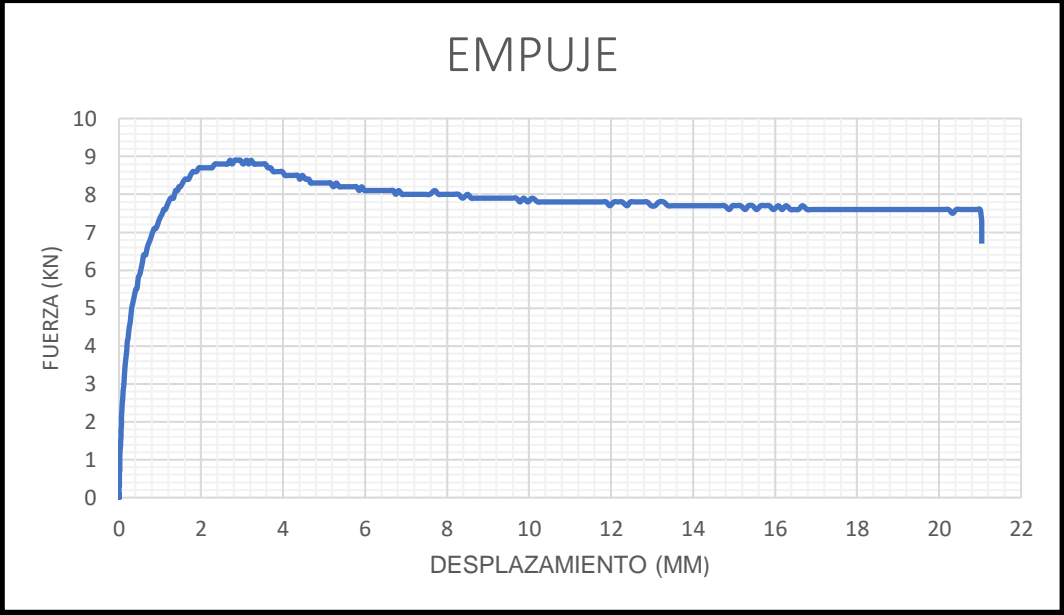
### ENSAYO 4



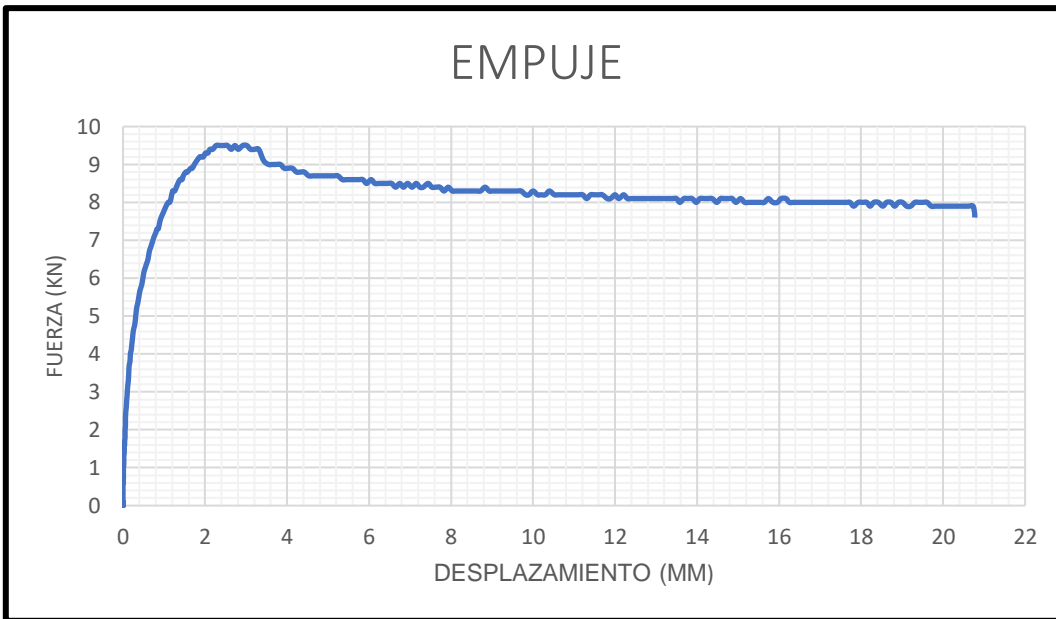
**ENSAYO 5**



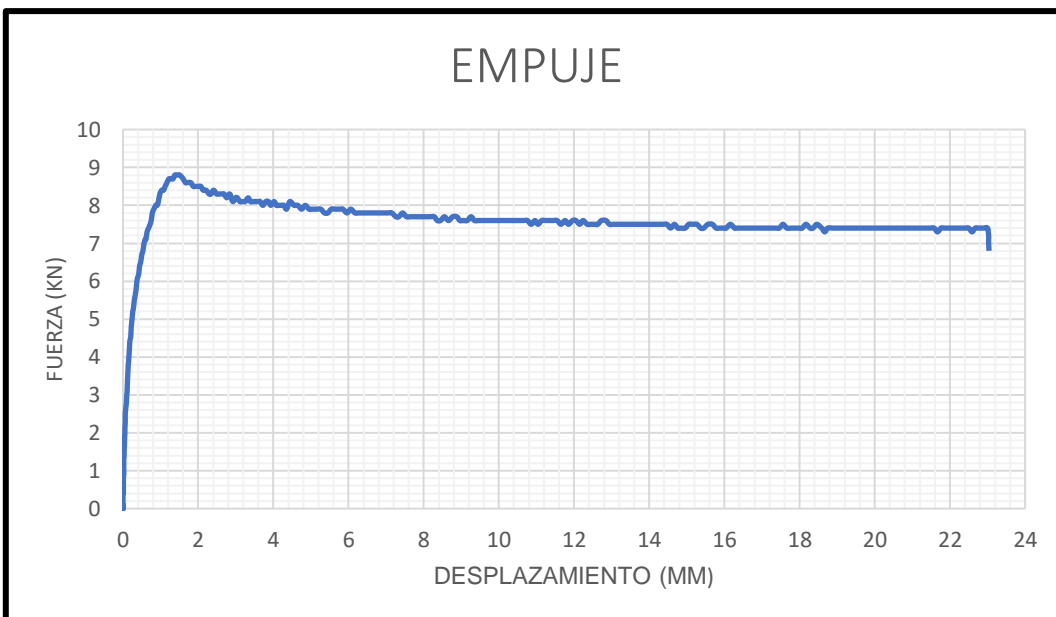
**ENSAYO 6**



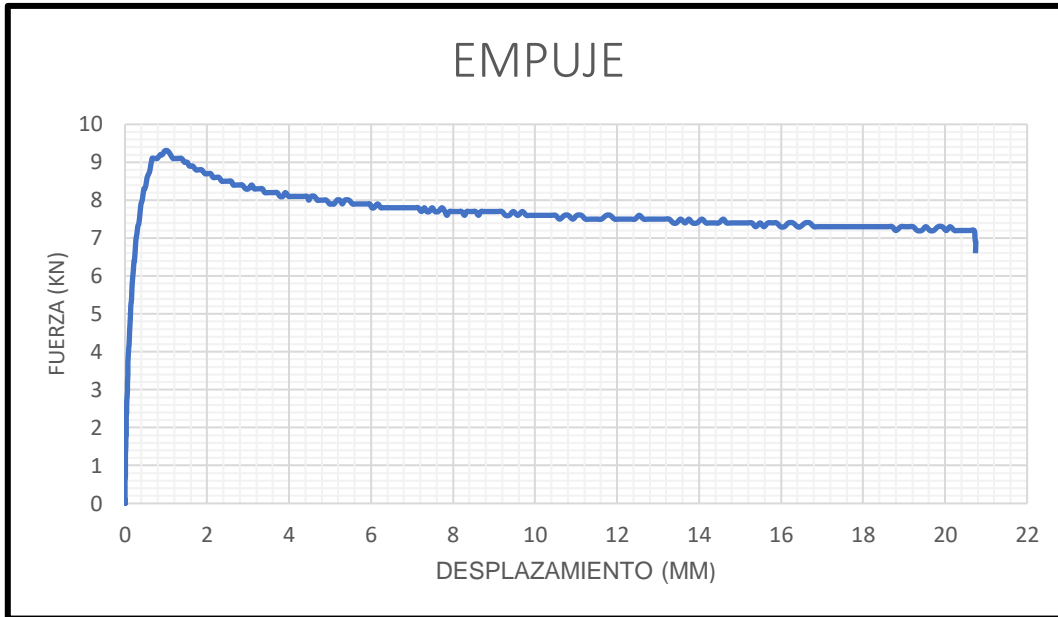
## ENSAYO 7



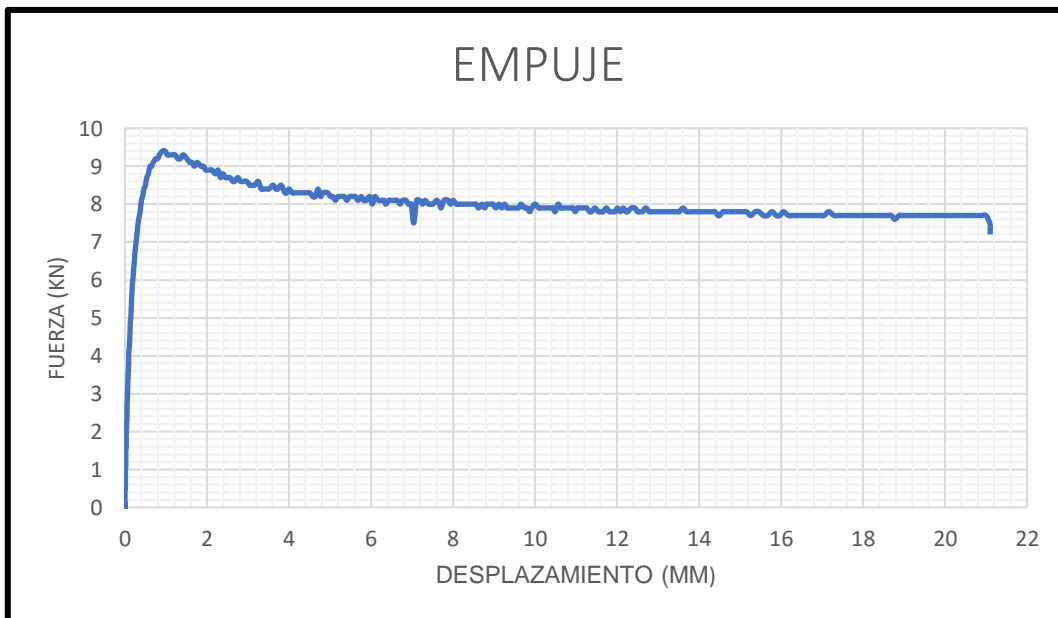
## ENSAYO 8



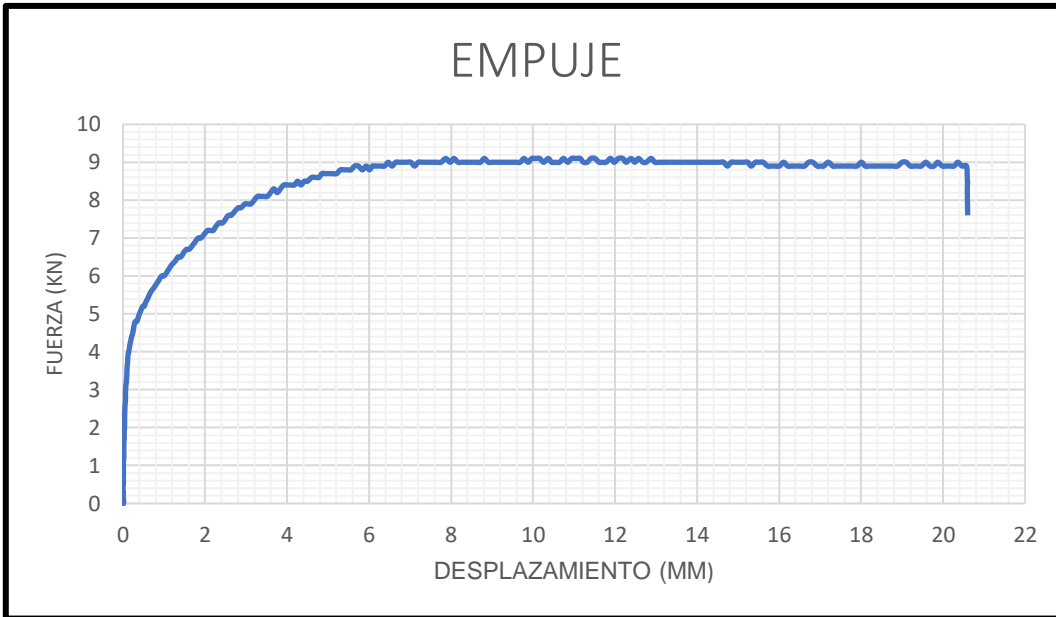
## ENSAYO 9



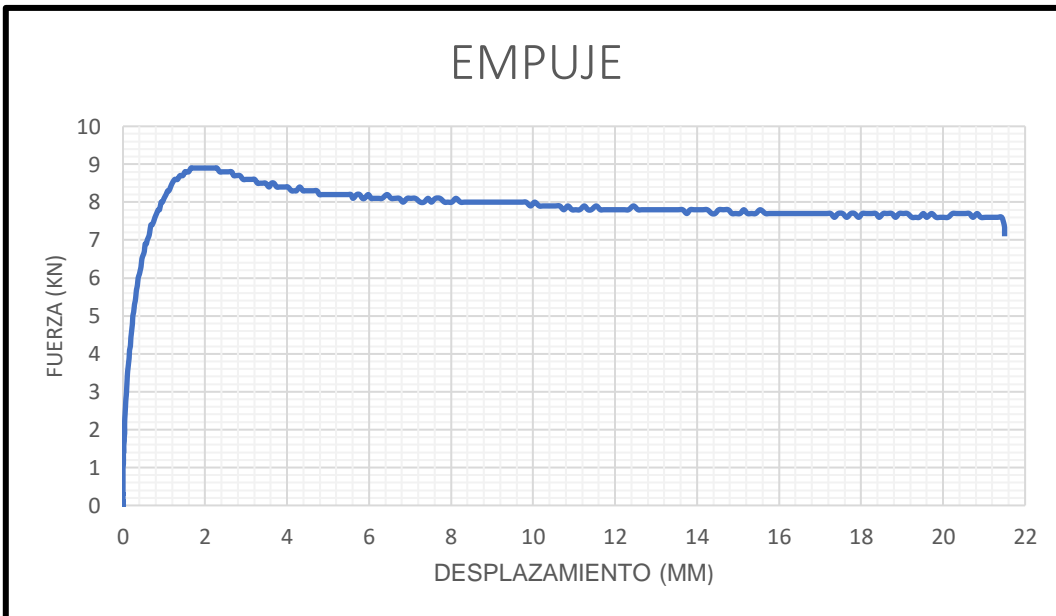
## ENSAYO 10



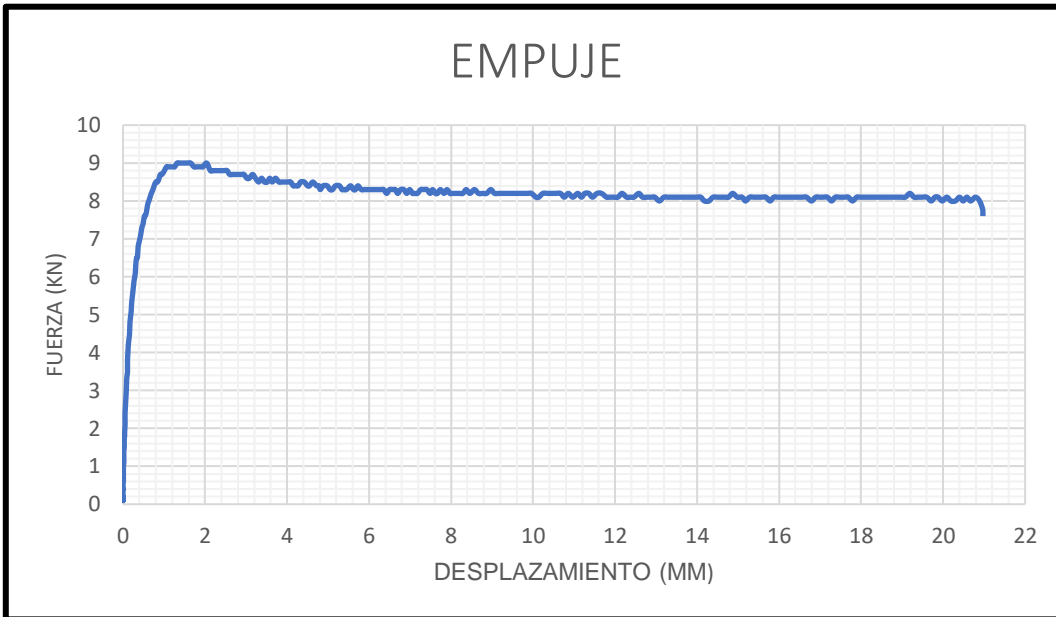
## ENSAYO 11



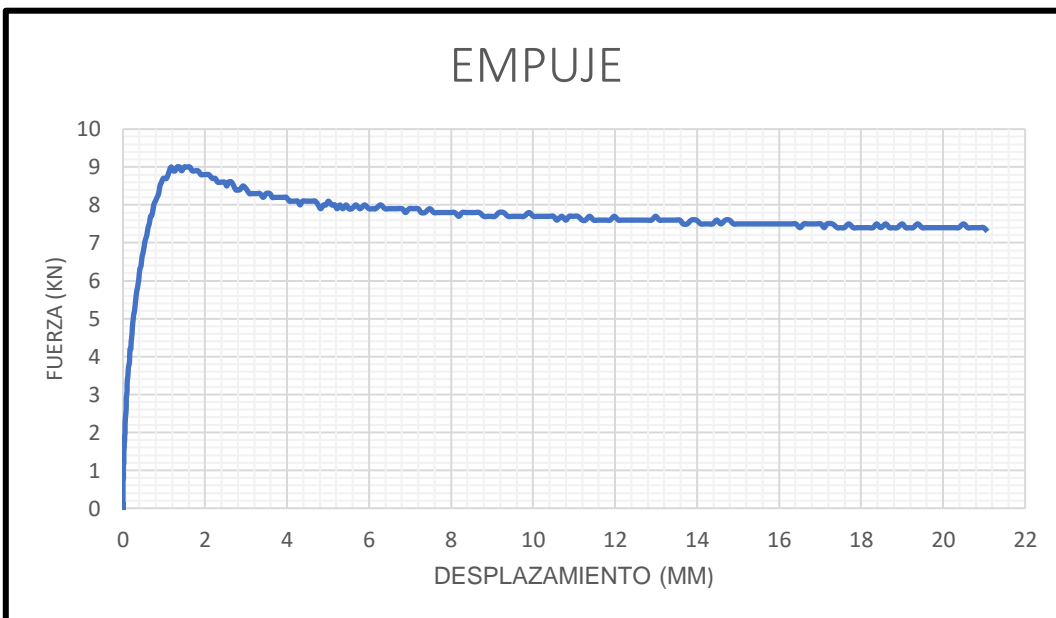
## ENSAYO 12



### ENSAYO 13



### ENSAYO 14



**ENSAYO 15**

