	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia	Aprobado	Pág.		
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>	<b>1(163)</b>		

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Lisfeth Trigos Carrascal Victoria Quintero Marín		
<b>FACULTAD</b>	De Ingenierías		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería Civil		
<b>DIRECTOR</b>	Romel Jesús Gallardo Amaya		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Incidencia de la humedad de compactación en los valores de índice de soporte CBR		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Influence of Compaction Moisture Content on California Bearing Ratio (CBR) Values		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras)			
La investigación analizó la influencia de la humedad de compactación en el valor del CBR del suelo. Para un suelo cohesivo existe aumento del 34.08% del CBR para humedades por debajo de la óptima y una disminución por encima de esta. En suelo granular el CBR disminuyó hasta un 70.18% para humedades tanto por debajo y por encima de la óptima, siendo el suelo más sensible a esta variable			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
The research analyzed the influence of compaction moisture on the CBR value of the soil. For a cohesive soil there is an increase of 34.08% of the CBR for humidity below the optimum and a decrease above it. In granular soil, the CBR decreased up to 70.18% for humidities both below and above the optimum, being the soil more sensitive to this variable			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Humedad de compactación. Índice de Soporte CBR. Suelo granular. Suelo cohesivo.		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Compaction moisture. CBR Support Index. Granular soil. Cohesive soil.		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 163	PLANOS:0	ILUSTRACIONES: 46	CD-ROM:0



**Incidencia de la humedad de compactación en los valores de índice de soporte CBR**

**Victoria Quintero Marin**

**Lisfeth Trigos Carrascal**

**Facultad De Ingeniería, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería Civil**

**Ms.C. Romel Jesus Gallardo Amaya**

**17 de Octubre de 2023**

## Agradecimientos

*A Dios, a nuestro director de trabajo de grado Romel J. Gallardo, también a quienes donaron los materiales estudiados, esto es a la planta de agregados El Guayabal y al ingeniero Jaider Coronel. Por último a mi familia y amigos por su gran apoyo.*

*-Victoria*

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de cumplir una meta en mi vida y por todas sus bendiciones.*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido una fuente constante de apoyo e inspiración en mi vida. Han sido ellos quienes me han impulsado a ser cada día mejor y a no rendirme frente a las adversidades. Mi padre, Francisco Antonio Trigos Álvarez, por su inquebrantable determinación para que yo pudiera salir adelante. Él es un ejemplo de hombre en mi vida, lleno de amor, apoyo y humildad. Su constante lucha y sacrificio han sido fundamentales en mi desarrollo personal y en la consecución de mis metas.*

*Además, quiero agradecer de todo corazón a mi madre, Magaly Carrascal Carrascal, por su incansable lucha y su amor incondicional. Ella es un verdadero ejemplo de fortaleza y determinación. Su apoyo incondicional y su dedicación han sido pilares fundamentales en mi vida y me han dado la fuerza necesaria para superar cualquier obstáculo que se haya presentado en mi camino. Estoy eternamente agradecida por todo lo que han hecho por mí.*

*También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi novio, Julián García, por su constante apoyo en mi proceso de formación y por ayudarme a superarme. Su amor y aliento han sido fundamentales en mi crecimiento personal y profesional. Estoy realmente agradecida por tenerlo a mi lado. A mi tío Eliumer Carrascal por brindarme el apoyo necesario en momentos en los que mi esperanza de estudiar se apagaba. Su constante aliento y respaldo fueron fundamentales para que no perdiera la motivación y siguiera adelante. A mi querida madrina y profesora, Janeth Collantes, le agradezco su constante apoyo y cariño. Siempre ha estado presente en mi vida, guiándome y brindándome su apoyo incondicional. Sus enseñanzas han sido fundamentales en mi desarrollo personal y académico. Además, extender mi gratitud a toda mi familia por cada muestra de amor, apoyo y esperanza que me han brindado a lo largo de mi vida. A todos mis amigos, su apoyo y colaboración han sido invaluable.*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi compañera de tesis. Su dedicación, perseverancia, paciencia y cuidado durante todo el proceso han sido indispensables para lograr nuestro objetivo. No puedo agradecerle lo suficiente por todo el esfuerzo y compromiso que ha mostrado en este proyecto.*

*Asimismo, quiero agradecer a nuestro director de tesis por su paciencia y por brindarnos su tiempo y experiencia durante la elaboración de este informe de investigación. También agradezco a nuestros jurados por sus valiosos aportes, y a nuestro laboratorista por su inestimable ayuda.*

*Finalmente agradecer a la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindarnos la oportunidad de adquirir el conocimiento y al grupo de investigación GIGMA por su apoyo en el desarrollo del proyecto*

*-Lisfeth*

## Índice

Capítulo 1. Incidencia de la Humedad de Compactación en los Valores de Índice de Soporte	
CBR.....	12
1.1 Planteamiento del Problema .....	12
1.2 Formulación del Problema.....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Justificación .....	16
1.5 Delimitaciones .....	17
1.5.1 Delimitación Operativa.....	17
1.5.2 Delimitación Conceptual .....	18
1.5.3 Delimitación Geográfica.....	18
1.5.4 Delimitación Temporal .....	20
Capítulo 2. Marco Referencial .....	21
2.1 Marco Histórico .....	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	22
2.1.3 Antecedentes Departamentales .....	23
2.2 Marco Contextual.....	24
2.2.1 Ubicación y Límite Territorial .....	24
2.2.2 Suelos.....	25
2.3 Marco Conceptual.....	26

		4
2.3.1	Humedad.....	26
2.3.2	Capacidad de Soporte .....	26
2.3.3	Suelo .....	26
2.3.4	Densidad Real .....	27
2.3.5	Límites de Consistencia .....	27
2.3.6	Suelos Cohesivos .....	27
2.3.7	Suelos Granulares .....	28
2.4	Marco Teórico.....	28
2.4.1	Ensayo CBR.....	28
2.4.2	Ensayo Proctor Modificado .....	30
2.4.3	Cálculo de la Humedad.....	31
2.4.4	Cálculo de la Densidad .....	32
2.4.5	Ensayo de Corte Directo .....	33
2.4.6	Clasificación AASTHO .....	35
2.5	Marco Legal .....	36
2.5.1	Normas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).....	37
2.5.2	Normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM.....	38
2.5.3	Normas Técnicas ICONTEC .....	38
Capítulo 3.	Diseño Metodológico .....	39
3.1	Tipo de Investigación.....	39
3.2	Población y Muestra .....	40
3.2.1	Población.....	40
3.2.2	Muestra .....	40
3.3	Diseño de Instrumentos de Recolección de la Información y Técnicas de Análisis de	

Datos41	
3.4	Diseño Experimental..... 42
3.5	Análisis de Información..... 45
Capítulo 4.	Resultados..... 47
4.1	Establecer la relación Humedad – Densidad para suelos de tipo cohesivo y granular, para determinar su humedad óptima y densidad seca máxima. .... 47
4.1.1	Descripción de los Suelos Analizados ..... 47
4.1.2	Caracterización Física del Suelo Cohesivo..... 49
4.1.3	Caracterización Física del Suelo Granular..... 56
4.2	Obtener el índice de CBR de suelos de tipo cohesivo y granular con humedades de compactación diferentes a la humedad óptima, para establecer la variación entre los dos parámetros..... 62
4.2.1	Ensayo de CBR..... 62
4.2.2	Análisis de la Variación de los Resultados Obtenidos de CBR Vs % de Humedad del Suelo Cohesivo..... 66
4.2.3	Análisis de la Variación de los Resultados Obtenidos de CBR vs. % de Humedad del Suelo Granular ..... 72
4.3	Analizar los parámetros de resistencia al corte de suelos cohesivos compactados para el ensayo CBR con humedades diferentes a la óptima, para verificar su incidencia en el comportamiento del suelo..... 80
4.3.1	Ensayo de Resistencia al Corte ..... 80
4.3.2	Análisis de Resultados ..... 84
Capítulo 5.	Conclusiones.....89
Capítulo 6.	Recomendaciones .....92

Referencias .....	6
Referencias .....	94
Apéndice A.....	99
Apéndice B.....	100
Apéndice C.....	101
Apéndice D.....	105
Apéndice E.....	108
Apéndice F .....	110
Apéndice G.....	118
Apéndice H.....	158

## Lista de Figuras

Figura 1 Fisuras, piel de cocodrilo (PC) .....	14
Figura 2 Deformaciones, hundimientos (H).....	15
Figura 3 Ubicación de la zona de extracción del material cohesivo .....	18
Figura 4 Ubicación de la Planta de Agregados el Guayabal .....	19
Figura 5 Mapa geográfico de Ocaña, N STD.....	24
Figura 6 Gráfico Esfuerzo -Penetración para el cálculo de CBR.....	29
Figura 7 Densidad seca máxima vs humedad de compactación .....	30
Figura 8 Ensayo de Corte Directo.....	34
Figura 9 Gráfica con envolvente de Mohr para determinar ángulo de fricción .....	34
Figura 10 Clasificación según el sistema AASHTO.....	36
Figura 11 Nomenclatura de las variables de diseño experimental .....	44
Figura 12 Proceso de disgregación y homogenización de la muestra de suelo cohesivo .....	48
Figura 13 Recolección de muestra y materiales para granulometría por tamizado del suelo cohesivo.....	50
Figura 14 Curva granulométrica del suelo cohesivo.....	50
Figura 15 Ensayo de Límite Líquido.....	52
Figura 16 Ensayo Límite Plástico .....	52
Figura 17 Ensayo Proctor modificado de suelo cohesivo .....	54
Figura 18 Curvas ensayo Proctor modificado del suelo cohesivo .....	55
Figura 19 Ensayo de gravedad específica para la fracción gruesa del suelo granular .....	56
Figura 20 Prueba de cono para verificar SSS.....	57
Figura 21 Curva granulométrica suelo granular.....	58



Figura 22 Tabla 330- 30, Franjas granulométricas del material de base granular .....	59
Figura 23 Ensayo límite plástico suelo granular .....	60
Figura 24 Ensayo Proctor modificado de suelo granular .....	60
Figura 25 Curvas ensayo Proctor Modificado del suelo granular .....	61
Figura 26 Preparación de la muestra y proceso de compactación para ensayo de CBR.....	63
Figura 27 Extracción de la muestra compactada.....	64
Figura 28 Exudación del molde de ensayo de CBR.....	65
Figura 29 Valores de CBR vs % de humedad del suelo cohesivo .....	67
Figura 30 Variación del CBR con el cambio de la humedad de compactación con respecto al CBR obtenido para la humedad óptima .....	68
Figura 31 Gráfica de probabilidad de CBR del suelo cohesivo .....	69
Figura 32 Dispersión de datos y línea de tendencia .....	70
Figura 33 Residuos frente a valores de CBR ajustados.....	71
Figura 34 Valores de CBR vs % de humedad del suelo granular .....	73
Figura 35 Variación del CBR con el cambio de la humedad de compactación con respecto al CBR obtenido para la humedad óptima .....	74
Figura 36 Gráfica de probabilidad de CBR del suelo granular .....	75
Figura 37 Dispersión de datos y curva de tendencia.....	77
Figura 38 Gráfica de línea ajustada.....	78
Figura 39 Residuos frente a valores de CBR ajustados.....	78
Figura 40 Sistema de extracción de la muestra compactada para obtención de los especímenes de ensayo.....	82
Figura 41 Proceso de tallado de las muestras.....	82

Figura 42 Muestras falladas .....	83
Figura 43 Ensayo de Corte Directo .....	84
Figura 44 Variación de parámetros de resistencia al corte vs humedad de compactación.....	85
Figura 45 Correlación de Humedad de compactación vs Ángulo de fricción.....	86
Figura 46 Correlación de Humedad de compactación vs Cohesión.....	87

### Lista de Tablas

Tabla 1 Diseño del tamaño muestral mediante análisis factorial .....	41
Tabla 2 Síntesis del Diseño Factorial de Múltiples Niveles.....	43
Tabla 3 Diseño de experimento con realización aleatoria.....	44
Tabla 4 Resultados de gravedad específica del suelo cohesivo .....	49
Tabla 5 Proporción de tamaño de partículas del suelo cohesivo.....	51
Tabla 6 Resumen de Resultados (%LL), (%LP) e (%IP).....	53
Tabla 7 Resumen de resultados de ensayo Proctor modificado del suelo cohesivo.....	54
Tabla 8 Resumen de resultados ensayo de gravedad específica del suelo granular.....	57
Tabla 9 Resumen de resultados de ensayo Proctor Modificado del suelo granular .....	61
Tabla 10 Resumen de resultados ensayo CBR suelo cohesivo .....	67
Tabla 11 Predicción de valores según el modelo de regresión lineal .....	72
Tabla 12 Resumen de resultados ensayo CBR suelo granular .....	73
Tabla 13 Predicción de valores según el modelo de regresión cuadrática .....	79
Tabla 14 Ajuste de humedades de compactación.....	81
Tabla 15 Parámetros de corte directo.....	84

## Introducción

La humedad es un factor clave en los valores del Índice de Soporte California (CBR) del suelo, este es una medida de la resistencia del suelo bajo condiciones específicas de humedad y compactación. Por lo tanto, si el suelo se compacta en exceso de humedad, esto puede afectar negativamente los valores de CBR, ya que la cohesión y la resistencia del suelo pueden disminuir. Por otro lado, la falta de humedad adecuada también puede afectar los valores de CBR, alterando la compactación y reduciendo la fuerza de adherencia interna del suelo.

Sin embargo, comprender la repercusión de la humedad en los valores de CBR es esencial para evaluar la capacidad de carga en diferentes condiciones. Esta investigación examinó en detalle cómo la humedad puede influir en los valores de CBR de suelos cohesivos y suelos granulares, analizando la variación porcentual de los resultados respecto al valor de CBR arrojado por el espécimen compactado a humedad óptima.

Se realizaron ensayos que permitieron la caracterización física de los suelos, esto es ensayos de gravedad específica, ensayos de límites de consistencia, entre otros. Además de Ensayos Proctor Modificado y Corte Directo Para e suelo cohesivo, se consideraron 4 porcentajes de humedad diferentes a la óptima con variaciones del 3%, y para el suelo granular se consideraron variaciones del 1.5%.

## **Capítulo 1. Incidencia de la Humedad de Compactación en los Valores de Índice de Soporte CBR**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

El índice de California, conocido como CBR (California Bearing Ratio), es un indicador que posibilita la valoración de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante bajo la penetración de una carga, en condiciones óptimas de densidad y humedad. Se calcula comparando las resistencias al corte de un suelo con la de otro suelo patrón de piedra triturada. Es importante destacar que estos parámetros de CBR no son constantes, ya que varían según el estado en el que se encuentre el suelo al momento de realizar el ensayo. El CBR se expresa como un porcentaje, donde un valor más alto indica una mayor resistencia del suelo. (Puentes Morales, J. S. 2018, pp. 44-47)

Teniendo en cuenta lo anterior, se definen como suelos de calidad pobre, aquellos que presenten valores cercanos a 0% en las pruebas CBR, y aquellos próximos a 100% son considerados con una buena capacidad de soporte, siendo de referencia la piedra picada de California, la cual presenta un CBR de 100%.

Entre los elementos que pueden influir en el ensayo CBR se encuentran la composición y características del agregado utilizado. En particular, la proporción de grava presente en el espécimen del terreno puede tener un impacto significativo, en cuanto más anguloso y duro sea el agregado de grava, mayor será la resistencia del suelo al penetrar el pistón durante el ensayo CBR, esto se debe a que la grava proporciona una mayor estabilidad y capacidad de soporte al

suelo, lo que resulta en un índice de California más alto; La cantidad de arena en una muestra de suelo también influye en los resultados del índice de California (CBR), siendo este más bajo a medida que aumenta la cantidad de arena. De manera similar, la presencia de una gran cantidad de agregados finos en un espécimen de suelo puede influir en los límites de consistencia, los contenidos de humedad y, en última instancia, en la resistencia mecánica al corte, lo que a su vez afecta los valores del índice de California (CBR). No obstante, la humedad que presenta el suelo, también influye de manera significativa en su capacidad de soporte, debido a que, dependiendo de esta, se pueden obtener los valores máximos de densidad esperados (según la energía de compactación aplicada) para alcanzar valores óptimos de CBR.

Estableciendo la incidencia de la humedad como un factor clave en el comportamiento mecánico del suelo, dado que se establece que “el grado de saturación hará cambiar la resistencia del suelo produciendo diferentes valores de CBR para un mismo suelo” (Araujo Navarro, W. S. 2015, p.14). Esto se debe a que, a mayor humedad, disminuye la succión, y, por ende, baja la resistencia. La humedad presente en el suelo es significativa, dado que incide en las partículas y su disposición, lo cual a su vez altera la densidad del suelo cuando se aplica una determinada energía de compactación. Por esta razón, los suelos presentan mayor inestabilidad, cuando hay gran cantidad de agua dentro de su estructura, caso contrario, cuando el contenido de agua es menor, esta condición imposibilita alcanzar una densidad óptima en el suelo. Por ende, cuando no se realizan compactaciones acordes a las humedades óptimas para cada tipo de terreno, se presentan patologías estructurales como falla por funcionalidad en la carpeta asfáltica, falla en la resistencia por saturación en la capa base de pavimento, así como cambios en el volumen de

suelos con características expansivas que afectan la estabilidad de las estructuras que sobre ellos se soportan.

Las graves consecuencias que se pueden presentar cuando no se consideran los parámetros anteriormente descritos, podrían conllevar a cambios volumétricos que afecten de manera directa la rigidez y la resiliencia del suelo, como, por ejemplo, en pavimentos rígidos y flexibles, se pueden presentar asentamientos, baches, escalonamiento de las losas, el deterioro de las bermas y su separación con respecto al pavimento, así como la aparición de patrones de grietas y piel de cocodrilo, son fenómenos que pueden ocurrir (ver Figura 1 y 2), patologías que repercuten en la seguridad y los costos de las personas que hacen uso de estas estructuras.

### **Figura 1**

*Fisuras, piel de cocodrilo (PC)*



Nota. La imagen ilustra el fenómeno denominado "piel de cocodrilo", el cual surge como resultado de una inadecuada consolidación de las subestructuras granulares o asfálticas. Esta información fue obtenida de (Convenio Técnico-Convenio 0587-03, 2006)

**Figura 2**

*Deformaciones, hundimientos (H)*



Nota. En la figura se puede apreciar, la patología correspondiente a hundimientos, la cual es ocasionada por asentamientos en la subrasante, los cuales tienen su origen en deficiencias presentadas al momento de compactar el terreno. Tomado de (Grupo Técnico - Convenio 587-03, 2006)

**1.2 Formulación del Problema**

¿Cuál es la influencia en los valores de CBR al compactar suelos cohesivos y granulares con humedades que difieren de los valores óptimos establecidos en el ensayo Proctor?

**1.3 Objetivos**



### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la incidencia de los valores de la humedad de compactación en los valores del índice de soporte CBR para suelos de tipo subrasante y material de base en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Establecer la relación humedad – densidad para suelos de tipo cohesivo y granular, para establecer su humedad óptima y densidad seca máxima.
- Obtener el índice de CBR de suelos de tipo cohesivo y granular con humedades de compactación diferentes a la humedad óptima, para establecer la variación entre los dos parámetros.
- Analizar los parámetros de resistencia al corte de suelos cohesivos compactados para el ensayo CBR con humedades diferentes a la óptima, para verificar su incidencia en el comportamiento del suelo.

## **1.4 Justificación**

El propósito de este estudio es identificar las variaciones en los valores del índice de California (CBR) y su impacto en la aptitud de carga de los terrenos cuando estos son sometidos a humedades de compactación diferentes a los valores óptimos, debido a que, evaluando el

comportamiento con estos rangos, podremos determinar cómo incide en la formación de fallas en superficies de soporte, tanto de carreteras, terraplenes y construcciones en general.

En muchas ocasiones, es probable que no se realicen pruebas para determinar la humedad del suelo de soporte, con el fin de garantizar una correcta compactación, que proporcione una buena capacidad de carga, observando tempranas patologías estructurales, lo que resulta en incrementos en los costos de las labores de restauración, demolición y reconstrucción, perjudicando y generando riesgos a las personas que hacen uso de estas obras.

Lo anterior se realizará mediante ensayos de laboratorio de CBR con muestras de suelo cohesivos y granulares, provenientes de la zona de Ocaña, N STD. Estos resultados servirán de apoyo para la futura construcción de obras ingenieriles que busquen garantizar la estabilidad, vida útil y seguridad de las mismas.

## **1.5 Delimitaciones**

### ***1.5.1 Delimitación Operativa***

Se llevarán a cabo el ensayo Proctor, así como el ensayo de CBR con diferentes niveles de humedad de compactación y ensayos de corte directo para evaluar la resistencia al corte de los suelos, en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña.

### ***1.5.2 Delimitación Conceptual***

Este proyecto se basará en los saberes obtenidos en las asignaturas vinculadas a la mecánica de suelos y pavimentos, y se ajustará a los límites establecidos por dichas asignaturas. Además, es fundamental realizar un estudio exhaustivo del estado del arte para llevar a cabo los distintos ensayos. Se considerarán conceptos incluyendo la compactación, humedad óptima, capacidad de soporte CBR, clasificación de suelos, resistencia al corte y comportamiento de suelos de subrasante. Estos conceptos estarán respaldados por los criterios geotécnicos correspondientes y las orientaciones proporcionadas por nuestro director de proyecto.

### ***1.5.3 Delimitación Geográfica***

Las muestras de suelo a utilizar en la investigación corresponderán a suelos de tipo cohesivo y granular provenientes de materiales residuales de la formación ígnea y de materiales provenientes de la formación Algodonal. Se obtendrá el suelo cohesivo de la zona conocida como "Las Liscas", ubicada en la zona rural de Ocaña, N STD. Asimismo, se analizará un suelo granular utilizado como material de base, el cual será obtenido de la planta de agregados "Guayabal", situada en la vía Ocaña-Ábrego.

### **Figura 3**

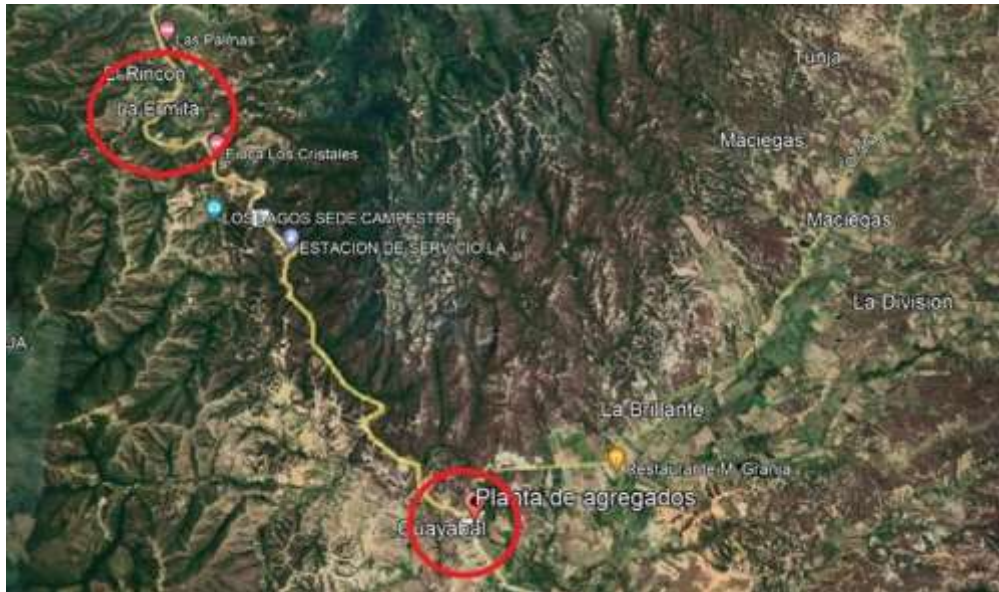
*Ubicación de la zona de extracción del material cohesivo*



Nota: La imagen satelital abarca la zona rural de Ocaña, N STD. Se señala con un círculo rojo a la izquierda la ubicación de la UFPSO, y a la derecha se indica la ubicación del lugar donde se extrajo el material cohesivo, cuyas coordenadas son  $8^{\circ}14'38.16''\text{N}$  y  $73^{\circ}18'16.88''\text{O}$ . Fuente, Google Earth Pro.

#### **Figura 4**

*Ubicación de la Planta de Agregados el Guayabal*



Nota: La imagen satelital comprende territorios como La Ermita, N STD. (círculo rojo superior) y la entrada al corregimiento de La Playa, N STD. (círculo rojo inferior) donde se encuentra también el lugar donde se obtuvo el material granular o la base, cuyas coordenadas son  $8^{\circ} 8'41.09''N$  y  $73^{\circ}16'57.94''O$ . Fuente, Google Earth Pro.

#### ***1.5.4 Delimitación Temporal***

Se ha previsto un lapso de tiempo equivalente a un semestre académico para la realización del proyecto.

## Capítulo 2. Marco Referencial

### 2.1 Marco Histórico

Abordar los antecedentes de este estudio vincula las variables de investigación como la humedad de compactación y valores de CBR, por lo que se ha realizado una recopilación de investigaciones en bases de datos y plataformas en línea.

Para conocer los estudios que se hechos en este campo investigativo, se detallan los autores, objetivos y conclusiones de cada una de ellas. A partir de esta premisa se exponen los antecedentes a nivel internacional, nacional y local que han precedido a los estudios concernientes al impacto de la humedad en la resistencia del terreno.

#### 2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Los estudios que se han encontrado están vinculados con la incidencia de la humedad de compactación en la resistencia mecánica del suelo, así como ensayos abordados de CBR. Según Llique Mondragón y Guerrero Padilla, (2014), analiza deformaciones además de la rotura del suelo de textura franca, utilizando diferentes niveles de humedad para evaluar la cohesión, la adherencia y la resistencia máxima al corte. Los datos obtenidos de la investigación revelaron que la humedad tuvo una influencia directa en la cohesión y el módulo de deformación del suelo, pero no en la adherencia.

Se ha abordado otro estudio a nivel internacional llevado a cabo por William Bustillos Álvarez como parte de su proyecto final de grado, perteneciente al instituto tecnológico de Costa Rica. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar cómo la gran cantidad de agua afecta la obtención de la capacidad de carga de la subrasante en lo estudiado utilizando tanto el CBR de campo como el de laboratorio (Bustillos Álvarez, 2010). Concluye con valores crecientes de CBR cuando la densidad seca es mayor. Caso contrario, cuando la densidad seca es menor, los valores de CBR disminuyen.

### ***2.1.2 Antecedentes Nacionales***

En el ámbito nacional, se existe una investigación a cargo de (Calderón Acero y Mira Lozano, 2015) donde se realizó una clasificación del suelo investigado, luego de llevar a cabo pruebas de compactación utilizando el método de Proctor modificado, con el objetivo de evaluar tanto la humedad óptima de compactación como el peso específico máximo del suelo. A partir de estas premisas, se procedió a calcular tanto el ángulo de fricción interna como el valor de CBR para los suelos que fueron objeto de estudio.

En la ciudad de Cali, (Sandoval Vallejo, E. A. y Rivera Mena, W. A. 2019) publican un artículo de su estudio que tuvo como objetivo principal buscar una potencial relación entre los resultados de los ensayos de CBR y las pruebas de compresión no confinada, índice de plasticidad y clasificación de suelos en el caso de suelos de textura fina. Los resultados obtenidos a través de un modelo estadístico indican que el CBR muestra una correlación más fuerte en

condiciones naturales que en condiciones de saturación. No obstante, no hubo una conexión relevante del valor de CBR y los límites de plasticidad y la categorización del suelo.

### ***2.1.3 Antecedentes Departamentales***

En el ámbito local, se ha llevado a cabo una investigación realizada por los autores (MacGregor Torrado, A., Gallarda Amaya R. J. y Yulady Jaramillo, H., 2020) con el objetivo principal de realizar una caracterización del suelo como material de subrasante utilizando el índice CBR obtenido mediante el ensayo PDC, llegando a la conclusión de que, dicho ensayo permite clasificar las subrasantes según su desempeño, proporcionando una visión preliminar sobre la calidad del terreno.



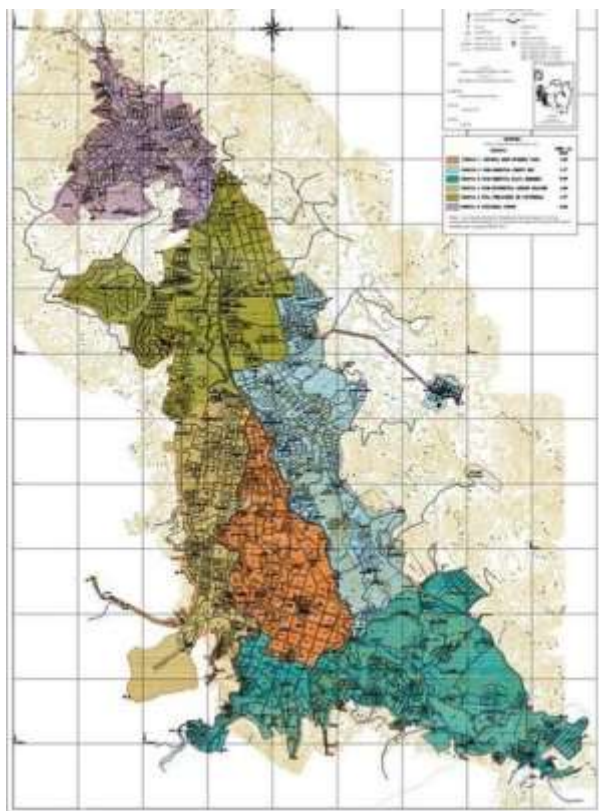
## 2.2 Marco Contextual

### 2.2.1 Ubicación y Límite Territorial

De acuerdo con la Figura 5, el desarrollo del estudio será en Ocaña, municipio localizado en el occidente del departamento de Norte de Santander. Su extensión territorial abarca aproximadamente 460 km<sup>2</sup>, con una altitud máxima de 1.202 m s.n.m. (Cámara de Comercio de Ocaña, 2018)

### Figura 5

*Mapa geográfico de Ocaña, N STD*



*Nota.* Tomado de (Alcaldía Municipal de Ocaña en N STD, 2018).

### **2.2.2 Suelos**

En Ocaña se pueden identificar dos formaciones geológicas, una de ellas es la formación algodonada (Tpa), la cual se caracteriza por ser de tipo sedimentario. Esta formación está formada por agregados que contienen fragmentos tanto de cuarzo y roca en tonalidades grises y amarillas, y se encuentran intercaladas con areniscas arcillosas de colores verde y gris. Además, también se pueden observar arcillolitas de tonalidades gris verdosa y amarillenta en esta formación geológica. La segunda formación geológica en Ocaña es el complejo intrusivo-extrusivo (Jci), el cual pertenece al complejo ígneo metamórfico conocido como "macizo Santander". Esta formación está compuesta por material piroclástico que incluye toba, brechas y aglomerados. Además, se observa una fase intrusiva compuesta principalmente por cuarzo-monzonita, pórfidos riolíticos, y diques básicos de diabasas y basalto (Angarita Muñoz & Ballesteros, 2013). Siendo el 33.3% conformados por suelos de tipo Franco- Arenoso, en los cuales, según estudios abordados en la universidad de Pamplona, predominan los suelos de tipo Arcillo-Limoso. (Castellanos González, Gonzales Pedraza, & Capacho Mogollón, 2020).

## **2.3 Marco Conceptual**

En el siguiente apartado se establecen los términos fundamentales para el desarrollo de este trabajo de grado, los cuales son esenciales para la investigación.

### **2.3.1 Humedad**

Se refiere al contenido de humedad existente en un terreno o muestra de suelo en particular. Puede expresarse como un porcentaje, o como el agua contenida en un volumen o en un peso, así como también, puede ser enunciado como pulgada de agua por pie de suelo. (Earth Observing System, 2020).

### **2.3.2 Capacidad de Soporte**

Es la característica del suelo que le permite frente a cargas que se ejercen sobre él ejercer resistencia. También se define como la mayor presión promedio que puede ejercerse sobre la superficie de cimentación sin que ocurra un fallo debido al corte o hundimiento excesivo.

(Naranjo Aguay, H. & Dranichnikov, T., 2012)

### **2.3.3 Suelo**

Estrato superior de la capa terrestre, compuesta principalmente de rocas erosionadas y rocas formadas por procesos físicos y químicos, así como por materia orgánica derivada de actividades biológicas de microorganismos y plantas. (Concepto, 2013)

#### **2.3.4 *Densidad Real***

Representa la masa por unidad de volumen de los componentes sólidos del suelo. Se calcula a partir del peso seco de una muestra de suelo y el volumen de muestra en cuestión. La medición del volumen se logra empleando un instrumento conocido como picnómetro. (Rubio Gutiérrez, A. M., 2010)

#### **2.3.5 *Límites de Consistencia***

Se refieren a niveles de humedad característicos de dicho suelo, es decir, corresponde al punto en el cual el comportamiento del mismo fluctúa. Estos límites corresponden a límite plástico, límite líquido y límite de retracción. (Arbeláez Sierra, C., 2016)

#### **2.3.6 *Suelos Cohesivos***

Son suelos compuestos mayormente por partículas de limo y arcilla las cuales actúan bajo fuerzas eléctricas y moleculares, como resultado, experimentan un aumento en su capacidad de resistir el corte, ya que las partículas se adhieren y generan una mayor resistencia. Por tal razón

cuando existe mayor cantidad de arcilla en un suelo, este será más cohesivo y tendrá menos posibilidades de derrumbarse. (IngeCivil, 2018)

### **2.3.7 Suelos Granulares**

Son suelos permeables y estables en condición de confinamiento, compuestos por grava y arena, lo cual no presentan cohesión debido al tamaño de sus partículas, las cuales actúan debido a las fuerzas gravitacionales producto de su peso. (IngeCivil, 2018)

## **2.4 Marco Teórico**

### **2.4.1 Ensayo CBR**

Ensayo para medir la resistencia al esfuerzo de corte de un suelo, que brinda datos acerca de la calidad del suelo y su capacidad para ser empleado como capa subrasante, base o subbase en la elaboración de pavimentos. En la ejecución de éste es necesario controlar la densidad del suelo y su humedad. (Castillo Briceño, P. E., 2018). El ensayo implica la compactación de un terreno utilizando moldes estandarizados, que luego se sumergen en agua, y posteriormente se introduce un pistón en ellos.

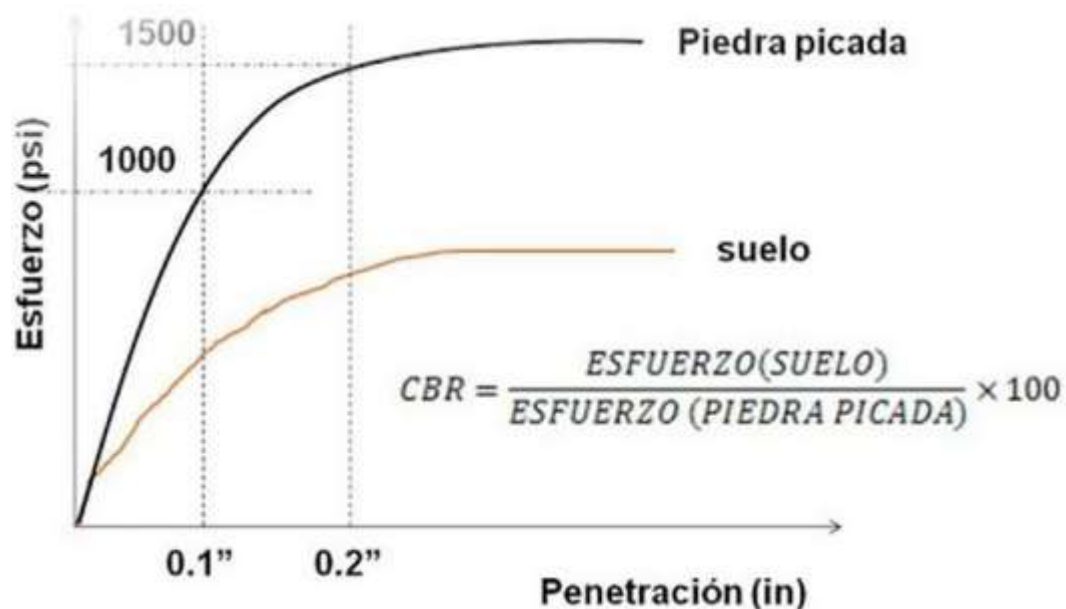
Los pasos para abordar este ensayo son los siguientes:

- Mediante el ensayo Proctor se obtiene la humedad óptima y la densidad seca máxima.

- Se compacta la muestra empleando tres moldes, que cumplan con los estándares establecidos, por capas dentro de cada molde, aplicando entre cada capa 10, 25 o 56 golpes utilizando un martillo estandarizado.
- Las muestras son enrazadas y sumergidas un tiempo normativo para luego dejar que se sequen.
- Las muestras son sometidas a cargas mediante el pistón de penetración, y se registran las mediciones de la curva de presión vs penetración.
- Después de obtener los datos, se realiza la gráfica esfuerzo – penetración, como detalla en la Figura 6.

### Figura 6

Gráfico Esfuerzo -Penetración para el cálculo de CBR



Nota. Tomado de (Sánchez Leal, F. J., 2023).

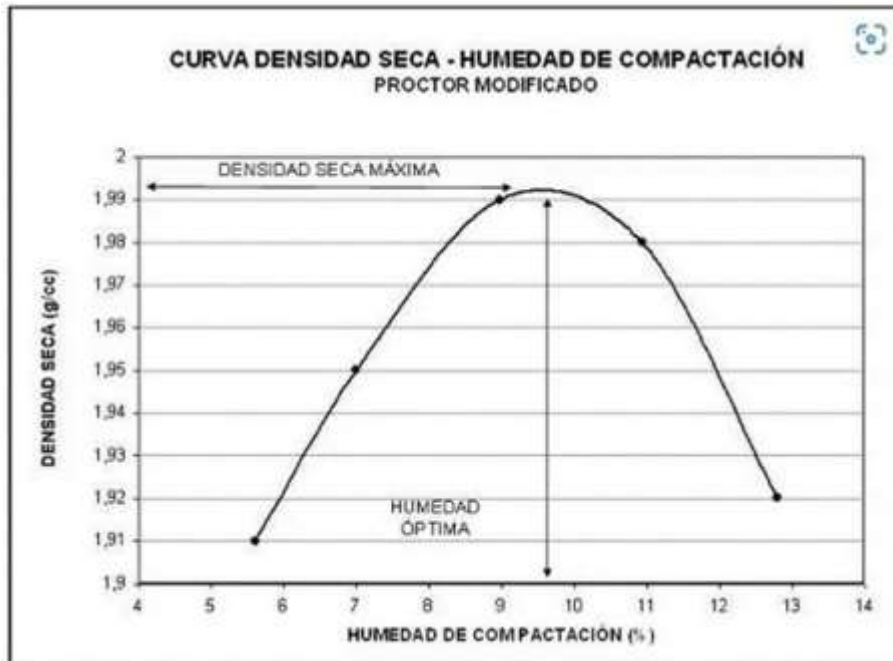
Se presenta en la Figura 6 la ecuación para calcular el CBR. Según el tipo de suelo, se obtienen un primer valor de CBR a una profundidad de penetración de 0.1" y el segundo a una profundidad de 0.2". Estos resultados proporcionan una idea de la calidad del soporte del suelo, siendo este de calidad baja cuando sus valores son cercanos al 0% y de alta calidad, cuando su CBR es próximo a 100%. (Sánchez Leal, F. J., 2023).

#### ***2.4.2 Ensayo Proctor Modificado***

Establece la relación entre el porcentaje de humedad de compactación y la densidad seca máxima y de los suelos ensayados. El objetivo de esta técnica es calcular densidades en estado seco de diversas muestras con niveles de humedad variables, a fin de construir una gráfica que relacione estas dos variables, ver Figura 7.

#### **Figura 7**

*Densidad seca máxima vs humedad de compactación*



*Nota.* Tomado de (ETSI Caminos Canales y Puertos & Universidad Politécnica de Madrid, 2015).

### 2.4.3 Cálculo de la Humedad

En la siguiente ecuación, se enuncian las variables que interfieren en la fórmula, en donde,  $w$  corresponde a la humedad,  $W_s$  al peso de los sólidos y  $W_w$  al peso del agua:

$$\%w = \frac{W_w}{W_s} \quad (1)$$

En la determinación de la humedad se utiliza el horno para el secado del suelo. Este método implica pesar una muestra en su estado inicial y luego someterla a una temperatura promedio de 110°C durante 24 horas para secarla por completo.



#### 2.4.4 Cálculo de la Densidad

Para calcular la densidad de un suelo se pesa el material a ensayar y se calcula el volumen de la muestra. Por lo tanto, la densidad se obtiene con el peso total del espécimen entre el volumen total a ser ensayado, como se muestra en la siguiente fórmula.

$$y = \frac{W(s + w)}{V} \quad (2)$$

Existen varias clases de densidades, las cuales permiten tener una noción más amplia de las características con las que cuenta un terreno, las cuales se enuncian a continuación:

- Densidad aparente: Consiste en la proporción entre la masa total de la muestra (que incluye tanto el material sólido como el líquido) y su volumen.

$$\gamma_a = \frac{W(s + w)}{V} \quad (3)$$

- Densidad seca: Proporción del peso del material sólido (sin agua) entre el volumen.

$$\gamma_a = \frac{Ws}{V} \quad (4)$$

- Densidad saturada: Cociente del peso de los sólidos y el peso del agua que ocupa todos los poros sobre el volumen total de la muestra.

$$\gamma_{sat} = \frac{Ws + Wwsat}{V} \quad (5)$$

- Densidad sumergida: Esta se define como la diferencia entre la densidad saturada menos la densidad del agua.

$$g = g_{sat} - g_w \quad (6)$$

#### 2.4.5 *Ensayo de Corte Directo*

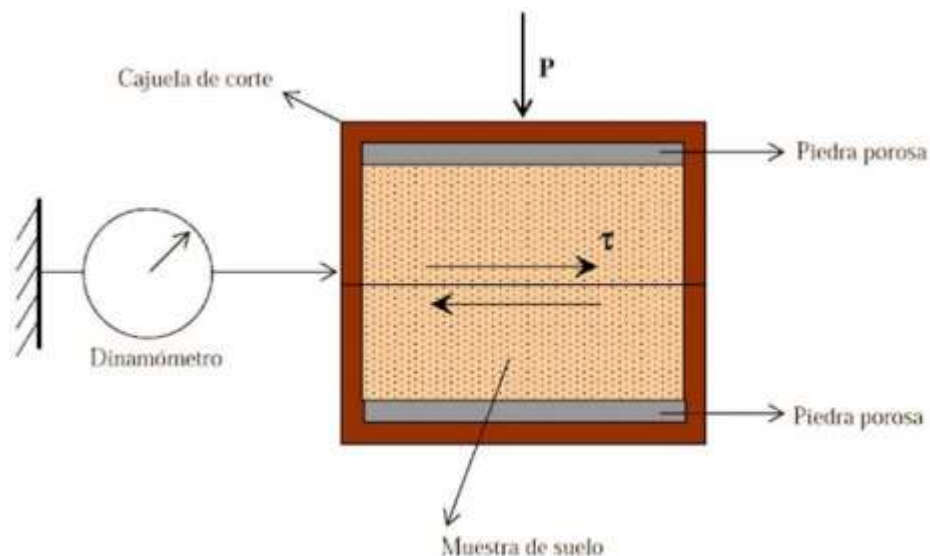
Las muestras de este ensayo se someten a una fuerza de corte horizontal que se incrementa gradualmente, así mismo, son sometidas a una fuerza normal. Es decir, la muestra es sometida a dos tipos de fuerzas, una horizontal (cortante) y una vertical, con el fin de hacerla fallar en un punto determinado. Este ensayo adquiere relevancia al permitir determinar las propiedades de resistencia al corte, como la cohesión y el ángulo de fricción, de un suelo que ha experimentado consolidación natural debido a cargas verticales.

El procedimiento a emplear en este ensayo, consta de los siguientes pasos:

- La muestra extraída se coloca entre dos placas porosas.
- A la muestra, se somete al plano a una carga vertical. Se efectúa la consolidación, la cual se registra junto con las lecturas de tiempo.
- Una vez se conozcan estas variables, es posible determinar la velocidad a la cual se está produciendo dicho fenómeno y, por consiguiente, poder determinar los desplazamientos horizontales, ver Figura 8.

## Figura 8

### Ensayo de Corte Directo



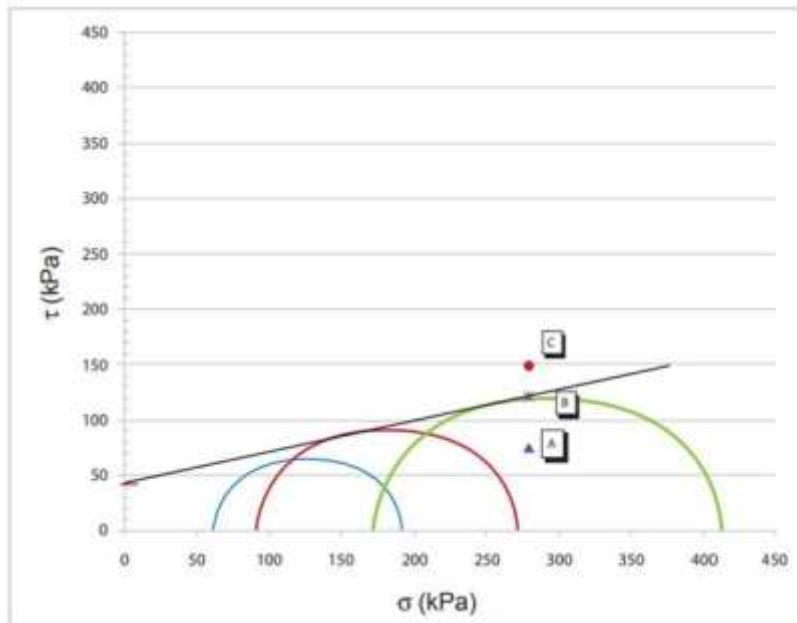
Nota. Tomado de (La Librería Del Ingeniero, s.f.).

- Una vez terminado el ensayo, se repite el proceso con varias muestras de características similares con el fin de calcular el ángulo de inclinación que se relaciona con el ángulo de fricción interna, junto con su intercepto, que determina la cohesión. (La Librería Del Ingeniero, s.f.)

El ángulo formado por los esfuerzos normales y la tangente de Mohr en el punto de ruptura de una muestra corresponde al ángulo de fricción interna, ver Figura 9.

## Figura 9

### Gráfica con envolvente de Mohr para determinar ángulo de fricción



Nota. Tomado de (Valerio Salas, 2011).

La ecuación que define la envolvente de falla se expresa a continuación:

$$\tau_f = C + \sigma \tan \phi \quad (7)$$

Dónde:

$\tau_f$  = Esfuerzo cortante.

$C$  = Cohesión.

$\sigma$  = Esfuerzo normal sobre el plano de falla.

$\phi$  = Angulo de fricción interna.

#### 2.4.6 Clasificación AASTHO

Este sistema clasifica los suelos en ocho grupos en función de su granulometría, determinada por la cantidad pasante de material a través de tamices, así como por los límites de

consistencia. Los suelos de grano grueso van del grupo A-1 al A-3. Por otro lado, los suelos de grano fino comprenden los grupos desde A-4 al A-7. Por último, el grupo A-8 incluye suelos con elevada concentración de material orgánico, turba y compostas orgánicas. (Duque Escobar, G. & Escobar, C. E., 2016), ver Figura 10.

**Figura 10**

*Clasificación según el sistema AASHTO*

Clasificación General		Materiales granulares 35% o menos pasan la malla 200							Materiales limosos y arcillosos más del 35% pasa la malla No 200				
Grupos		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
		A-1-a	a-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis por mallas.	10	50 Max											
% que pasa la malla	40	30 Max	50 Max	51 Min									
No	200	15Max	25 Max	10 Max	35 Max	35 Max	35 Max	35 Max	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min
Característica de la fracción que pasa la malla 40	LL				40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	41 Min
Índice de grupo	LP	6 Max	6 Max	NP	10 Max	10Max	11 Min	11 Min	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min	11 Min
		0	0	0	0	4 Max	8 Max	4 Max	8 Max	12 Max	16 Max	20 Max	20 Max
Tipo usual de materiales constituyentes		Piedra Grava Arena		Arena	Arena limosa o arcillosa, arena			Suelos limosos			Suelos arcillosos		
Comportamiento general como subbase		EXELENTE A BUENO					ACEPTABLE A MALO						

**Nota:** En la división A-7, cuando IP > 30, el grupo A-7-5. Si el IP < 30 el grupo es A-7-6

*Nota.* Tomado de (Duque Escobar, G. & Escobar, C. E., 2016).

Además, es necesario tener en cuenta el índice de plasticidad (IP), el límite líquido (LL), y el índice de grupo (IG).

## 2.5 Marco Legal

Los documentos utilizados para establecer los criterios que, los suelos deben cumplir en términos de características de subrasante, materiales como bases y subbases y los controles que se deben aplicar para la aceptación de obras, son el Manual de interventoría y de especificaciones

técnicas de INVIAS. Seguidamente se enuncia la normativa que tienen relación con el objetivo de este estudio.

### **2.5.1 Normas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS)**

- INV- E – 102-13: Descripción E Identificación De Suelos (Procedimiento Visual Y Manual).
- INV - E – 122-13: Determinación En El Laboratorio Del Contenido De Agua (Humedad) De Muestras De Suelo, Roca Y Mezclas De Suelo –Agregado.
- INV E- 123-13: Determinación De Los Tamaños De Las Partículas De Los Suelos.
- INV E- 125-131: Determinación Del Límite Líquido De Los Suelos.
- INV E- 126-13: Límite Plástico E Índice De Plasticidad De Los Suelos.
- INV E- 128-13: Determinación De La Gravedad Específica De Las Partículas Sólidas De Los Suelos Y Del Llenante Mineral, Empleando Un Picnómetro Con Agua.
- INV E- 202-13: Reducción De Muestras De Agregado Por Cuarteo.
- INV E- 222-13: Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Fino.
- INV E- 223-13: Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Grueso
- INV-E-142-13: Relaciones Humedad – Peso Unitario Seco En Los Suelos (Ensayo Modificado De Compactación)
- INV-E-148: CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestrainalterada.
- INV E-154: Ensayo De Corte Directo En Condición Consolidada Drenada.

- INV E-202: Reducción De Muestras De Agregados Por Cuarteo.
- Artículo 330-13: Base granular. Capítulo 3 Afirmados Subbases y Bases.

### ***2.5.2 Normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM***

- ASTM D1883: Ensayo California Bering Ratio (C.B.R.) - En laboratorio.
- ASTM D1557: Ensayo Proctor Modificado.
- ASTM D2487: Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitosde Ingeniería.
- ASTM D-698: Ensayo Proctor Estándar.

### ***2.5.3 Normas Técnicas ICONTEC***

- NTC 2122:2013: Método De Ensayo Para CBR (California Bering Ratio) De Suelos Compactados En Laboratorio
- NTC 1495:2013: Suelos. Método De Ensayo Para Determinar En El LaboratorioEl Contenido De Agua (Humedad) De Suelos Y Rocas, Con Base En La Masa.

## Capítulo 3. Diseño Metodológico

### 3.1 Tipo de Investigación

El proyecto actual se ha realizado utilizando un enfoque experimental de tipo cuantitativo. Se realizará la extracción de material en campo, como primera etapa del proyecto, seguida de la ejecución de ensayos de laboratorio. Estos ensayos permitirán determinar la correlación entre diferentes valores de humedad de compactación y resultados obtenidos del CBR para las muestras de suelos escogidos para el estudio presentes en el municipio de Ocaña. Para finalizar esta investigación, se tomó como referencia el estado del arte disponible y los estudios preliminares, los cuales servirán como base para este proyecto y su desarrollo, además de servir como referencia para investigaciones futuras.

Se determinó que el análisis se realizara mediante un diseño experimental ya que este se ha concebido con la intención de establecer relaciones de causa y efecto con el máximo nivel de confiabilidad, para lo cual uno o varios grupos son expuestos a estímulos experimentales y los comportamientos resultantes son contrastados con los comportamientos de ese mismo grupo u otros (Agudelo et al., 2008). Por lo tanto, para efectos de este estudio se toma como grupo de control los moldes para ensayos de CBR que tendrán como humedad de compactación la que se considere humedad óptima.

En el presente proyecto las variables a tener en cuenta serán la humedad de compactación y el tipo de suelo que se ensayará en cada molde mediante el equipo de CBR con el fin de



determinar si existe o no un nivel correlación entre dichas variables, ya que algunos autores como (Llique Mondragón R. H. y Guerrero Padilla A. M, p.11) mencionan que la humedad del suelo es un factor crucial en el proceso de compactación, ya que su cantidad o porcentaje influye en la capacidad de los minerales y partículas para reorganizarse según la energía de compactación. Así mismo, la humedad condiciona las propiedades finales del suelo.

## **3.2 Población y Muestra**

### **3.2.1 Población**

La población corresponde a suelos cohesivos y granulares, los cuales, se encuentran en el área urbana y rural de Ocaña, N STD, con dosificaciones diferentes de agua como humedad de compactación en los ensayos de CBR y Corte Directo.

### **3.2.2 Muestra**

Mediante un análisis factorial, se determinará el número de muestras a ensayar necesarios con el propósito de adquirir datos acerca de la variación de los valores de CBR cuando el suelo es compactado bajo diferentes porcentajes de humedad.

En esa dirección se propusieron diferentes porcentajes de humedad respecto a la humedad óptima, estos comprenden la humedad óptima menos el 6%, la humedad óptima menos 3%, la humedad óptima más el 6%, la humedad óptima más el 3% y por ende la humedad óptima como

grupo de control o muestra patrón para evaluar las posibles variaciones en los resultados del ensayo de CBR de ambos tipos de suelo y corte directo.

La identificación de los factores y niveles que se utilizarán en la investigación están implicados en el análisis factorial. En este estudio, se han establecido los factores como los diversos porcentajes de humedad de compactación mencionados anteriormente los cuales representa 5 niveles, junto con el factor tipo de suelo, que por su lado consta de 2 niveles. Esta información se encuentra resumida en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Diseño del tamaño muestral mediante análisis factorial*

% Humedad						
		HO-6%	HO-3%	HO	HO+3%	HO+6%
Tipo de suelo	Cohesivo					
Granular		Resultados de ensayo de CBR				

*Nota.* HO quiere decir Humedad óptima.

### **3.3 Diseño de Instrumentos de Recolección de la Información y Técnicas de Análisis de Datos**

Se utilizarán las siguientes técnicas para el análisis de resultados:

- Exploración y obtención de información y estudios relacionados con el impacto de la humedad en los valores de CBR, a través de publicaciones en sitios web, bases de datos de revistas científicas, repositorios de universidades y libros.
- Empleo de material de laboratorio requerido para realizar los ensayos de humedad, Proctor, CBR y Corte Directo.
- Registro de la información recolectada en los formatos de laboratorio disponibles en la UFPSO.
- Uso de herramientas informáticas como Microsoft Excel para el registro de datos y construcción de gráficas que contengan los datos de los ensayos de laboratorio que permitan obtener conclusiones de los mismos.
- Diseño de experimentos mediante la herramienta informática Minitab.

### **3.4 Diseño Experimental**

El diseño experimental es un estudio en el que el investigador maneja y regula la(s) variable(s) independiente(s), mientras observa la o las variables dependientes para evaluar los cambios simultáneos (Agudelo et al., 2008, p. 2). Se empleó el método factorial, el cual consiste en aplicar correlaciones a diversas variables, teniendo en cuenta diferentes factores que no son observables.

Para el diseño del mismo, se empleó el software estadístico Minitab, proporcionando el cálculo de las influencias de los factores para cada variable presente en el análisis. Esta versión está disponible por un lapso de 30 días, y sujeto a condiciones de uso<sup>1</sup>. No obstante, la

implementación de esta herramienta, se basó específicamente con propósitos educativos, con el fin de aplicar una estrategia precisa en el desarrollo de las pruebas de laboratorio, necesarias en el progreso del proyecto en cuestión. (Ver Apéndice A). La Tabla 2, detalla las condiciones experimentales a abordar.

**Tabla 2**

*Síntesis del Diseño Factorial de Múltiples Niveles*

Factores	2
Replicas	2
Corridas base	10
Total, corridas	20
Bloques base	1
Total, bloques	1

*Nota.* Obtenido de Minitab 2021, versión gratuita.

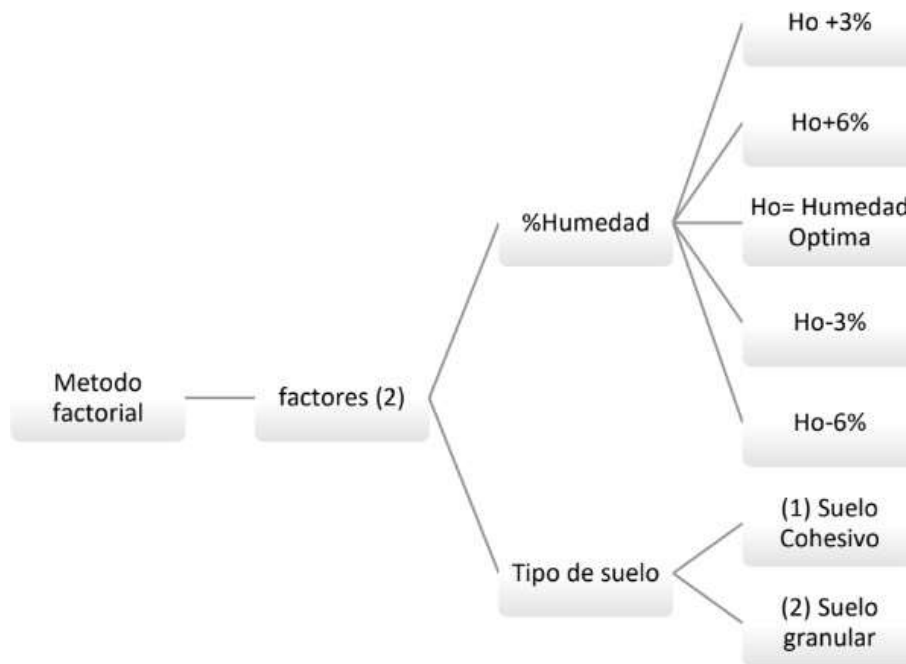
A partir de la Tabla 2, el diseño de experimentos consideró llevar a cabo 20 ensayos CBR, con 2 repeticiones, ensayadas a 10, 25 y 56 golpes, para un total de 60 moldes a ensayar. En la Tabla 3, se detallan los porcentajes de humedad a los que serán sometidos los bloques que contienen las muestras correspondientes a los suelos cohesivos y granulares a ensayar.

**Tabla 3***Diseño de experimento con realización aleatoria*

OrdenEst	OrdenCorrida	Bloques	Humedad	Tipo de suelo
2	1	1	Ho-6%	granular
9	2	1	Ho+6%	cohesivo
6	3	1	Ho	granular
4	4	1	Ho-3%	granular
1	5	1	Ho-6%	cohesivo
10	6	1	Ho+6%	granular
5	7	1	Ho	cohesivo
3	8	1	Ho-3%	cohesivo
7	9	1	Ho+3%	cohesivo
8	10	1	Ho+3%	granular
17	11	2	Ho+3%	cohesivo
12	12	2	Ho-6%	granular
16	13	2	Ho	granular
20	14	2	Ho+6%	granular
11	15	2	Ho-6%	cohesivo
19	16	2	Ho+6%	cohesivo
14	17	2	Ho-3%	granular
13	18	2	Ho-3%	cohesivo
18	19	2	Ho+3%	granular
15	20	2	Ho	cohesivo

Teniendo en cuenta la información siniestrada en la Tabla 3, en la Figura 11 se detalla la nomenclatura de las variables a tener en cuenta en la ejecución de los ensayos.

**Figura 11***Nomenclatura de las variables de diseño experimental*



Las variaciones de CBR se realizarán a 0.1/1000 y 0.2/1500 con respecto a la humedad. Adicionalmente, el suelo cohesivo será extraído del sector correspondiente a la vereda Las Liscas del municipio de Ocaña, N STD. y el suelo granular corresponde a material granular de base de la planta Guayabal ubicada en el PR 13+7008 de la vía Ocaña- Cúcuta. El abordaje de los ensayos experimentales de CBR, se realizarán en el siguiente orden.

### 3.5 Análisis de Información

Se extrajo material correspondiente a suelos cohesivos y granulares de Ocaña, en zonas que tienen características de estos materiales. Posteriormente se realizan los ensayos de Proctor los cuales permiten la obtención de la humedad óptima que debe contener el suelo a compactar. A partir de este valor, se lleva a cabo el ensayo CBR sometido a diferentes porcentajes de humedad con respecto al óptimo, teniendo en cuenta las normas que regulan la ejecución de estos

ensayos, tales como la INV E-142, INV E-148 y la INV E-154, las cuales son una guía instructiva para el correcto desarrollo de estos experimentos, permitiendo obtener información precisa que amplíe acerca de cómo se comporta un objeto o sistema desde el punto de vista mecánico. que tendrá el suelo de soporte cuando es sometido a mencionadas condiciones de humedad. Por último, se llevan a cabo los ensayos para determinar los parámetros de resistencia al corte, es decir, el ensayo de Corte Directo.

Una vez terminados todos los ensayos definidos en el diseño de experimento se procederá a realizar el análisis de la información para determinar la correlación de las variables, para ello se utilizará el software Minitab y una hoja de cálculo.

## Capítulo 4. Resultados

### **4.1 Establecer la relación Humedad – Densidad para suelos de tipo cohesivo y granular, para determinar su humedad óptima y densidad seca máxima.**

#### ***4.1.1 Descripción de los Suelos Analizados***

Las muestras de suelo utilizadas correspondieron a un suelo de tipo cohesivo y uno granular. El suelo cohesivo correspondió a un material de origen residual de la formación ígnea denominada Cuerpo Intrusivo-Extrusivo (Jci), presente en la localidad de Ocaña, N.S. Fue obtenido de una subrasante en un carreteable de la vereda las Liscas del municipio de Ocaña, N.S.

En cuanto al suelo granular correspondió a un material de base granular suministrado por la planta de agregados El Guayabal, ubicada en el PR 13+7008 de la vía Ocaña-Cúcuta.

Se extrajo el material de la subrasante siguiendo un proceso que incluyó la identificación del lugar donde se tomarían las muestras, la limpieza del área de extracción y la excavación de una zanja con la profundidad adecuada para obtener las muestras necesarias. Posteriormente, se colocaron las muestras en costales de plástico para evitar la pérdida de material fino y se transportaron al laboratorio.



En cuanto al material de base, éste fue donado por la Planta de Agregados El Guayabal y solo fue necesario la extendida del mismo sobre un plástico para lograr secarlo naturalmente.

Después de su extracción, el material cohesivo o de subrasante presentaba una composición en forma de terrones, siendo necesario realizar un proceso de disgregación mediante un pisón adecuado para no cambiar las características granulométricas propias del material, ver Figura 12. Este proceso de disgregación de los grumos fue repetido hasta tener la cantidad necesaria de suelo para lograr las pruebas de laboratorio estipuladas.

### Figura 12

*Proceso de disgregación y homogenización de la muestra de suelo cohesivo*



*Nota: (a) Material antes de disgregar y homogenizar. (b) Proceso de disgregación con pisón. (c) Material homogenizado y disgregado.*

## 4.1.2 Caracterización Física del Suelo Cohesivo

**4.1.2.1 Gravedad Específica.** Inicialmente, se realizó el ensayo de gravedad específica en el suelo cohesivo para adquirir ese dato el cual se empleó posteriormente en la realización de la granulometría por hidrómetro de dicho suelo. Este ensayo se realizó de acuerdo en lo establecido en la norma INV E –128, para el material cohesivo, ver resultados en la Tabla 4. (Ver Apéndice E)

**Tabla 4**

*Resultados de gravedad específica del suelo cohesivo*

Densidad 1	2.69 g/cm <sup>3</sup>
Densidad 2	2.64 g/cm <sup>3</sup>
Densidad 3	2.68 g/cm <sup>3</sup>
Densidad media	2.67 g/cm <sup>3</sup>

**4.1.2.2 Composición Granulométrica.** Para el suelo cohesivo es crucial resaltar que, en la etapa de tamizado para la granulometría, no se siguió estrictamente la última versión de la norma INV E-123. Esto se debió a que dicha norma establece la dependencia del tamaño muestral del suelo retenido en el tamiz #10 en función del tamaño nominal. En este caso particular, la muestra de suelo presentaba un tamaño nominal #4, lo cual es menor que los valores listados en la tabla 4.1.1 de la norma INV E-123 (Ver Apéndice B). Por lo tanto, no fue factible determinar el tamaño de la muestra inicial conforme a los parámetros por la norma establecidos. Ante esta situación, se tomó la determinación de utilizar un tamaño de muestra de

1000 g, siguiendo la recomendación del director del trabajo de grado. Dicha elección se realizó con el objetivo de abordar de manera efectiva el suelo con tamaño nominal de N4, para el cual no resultaba viable aplicar los parámetros establecidos por la norma INV E-123 en su última versión, ver Figura 13.

### **Figura 13**

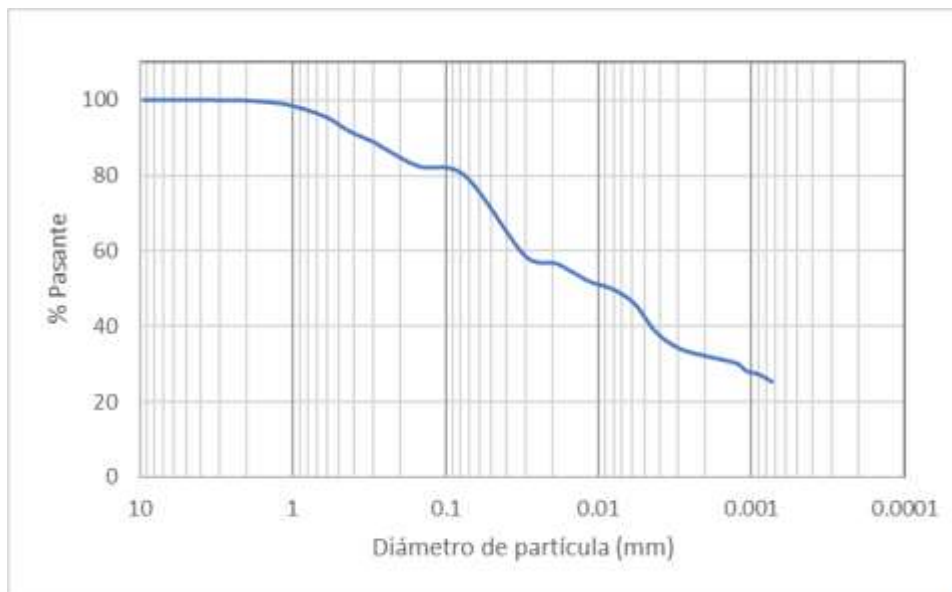
*Recolección de muestra y materiales para granulometría por tamizado del suelo cohesivo*



Por otro lado, en lo que respecta a la granulometría por hidrómetro aplicada al suelo cohesivo, se siguió el procedimiento detallado en la norma INV E-123. En la gráfica que se presenta a continuación, se muestra la curva granulométrica resultante, la cual combina las dos etapas del ensayo: la parte de tamizado y la correspondiente al uso del hidrómetro, ver Figura 14.

### **Figura 14**

*Curva granulométrica del suelo cohesivo*



La curva sugiere una predominancia de partículas finas en el suelo. Esta información se sintetiza en la Tabla 5, la cual presenta la proporción de cada tamaño de partícula. (Ver Apéndice C)

**Tabla 5**

*Proporción de tamaño de partículas del suelo cohesivo*

Fracción gruesa (FG)	20.13%
% Grava	0%
% Finos	79.87%
% Arena	20.13%

**4.1.2.3 Límite Líquido.** Para el suelo cohesivo, el límite líquido fue realizado siguiendo las pautas establecidas en la norma INV E-125-13, ver Figura 15.

**Figura 15**

*Ensayo de Límite Líquido*



**4.1.2.4 Límite Plástico.** El procedimiento se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma INV E-126-13, ver Figura 16.

**Figura 16**

*Ensayo Límite Plástico*



En la Tabla 6 se muestran los resultados para las 3 pruebas realizadas de cada ensayo. (Ver Apéndice D)

**Tabla 6**

*Resumen de Resultados (%LL), (%LP) e (%IP)*

Ensayo No	Resultados de los ensayos limite liquido INV-125 (%LL)	Resultados de los ensayos limite plástico INV-126 (%LP)	Índice de plasticidad (%IP)
1	44.5	21.2	23.28
2	46.44	21.4	25.04
3	47.31	21.7	25.63
Resultado final	46.08 %	21.43%	24.65%

Se puede evidenciar según la Tabla 6 que la clasificación del suelo cohesivo es CL, según el Sistema unificado de Clasificación de Suelos, es decir una arcilla ligera de plasticidad media. La clasificación AASTHO corresponde a un suelo de A-7-6-(20), siendo un Índice de grupo 20 clasificado como “muy malo” en función de su comportamiento como subrasante.

**4.1.2.5 Ensayo De Proctor Modificado.** Este ensayo estuvo enmarcado por la norma INV E-142, considerando el método A para el suelo cohesivo, en función diferentes rangos de humedad tal como lo dispone la norma, ver Figura 17. Los datos obtenidos fueron constatados en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Resumen de resultados de ensayo Proctor modificado del suelo cohesivo*

No de Ensayos	Humedad óptima de ensayo (%)	Peso específico seco (lb/pie2)
1	16.09 %	1.70
2	16.07 %	1.73
3	17.33 %	1.72
<b>Promedio</b>	<b>16.50 %</b>	<b>1.72</b>

**Figura 17**

*Ensayo Proctor modificado de suelo cohesivo*



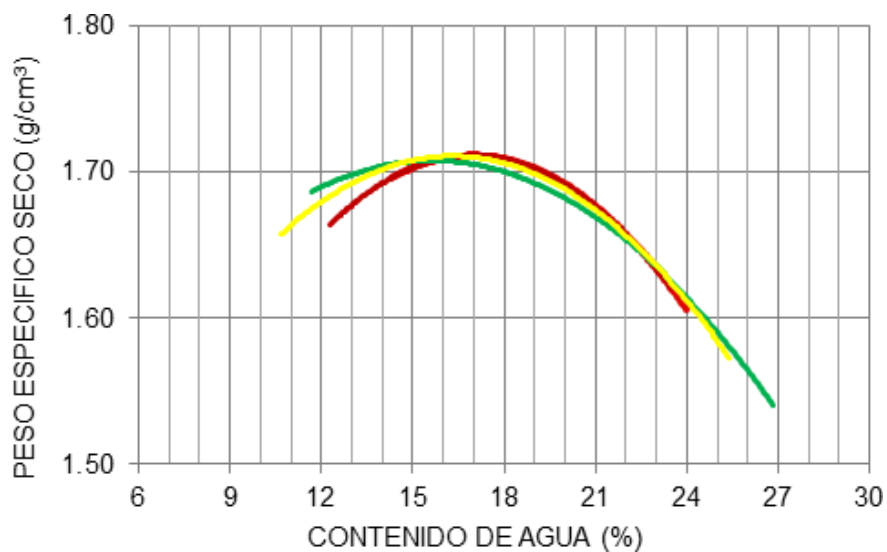
Se concluye que el contenido de humedad óptimo para el suelo cohesivo es del 16.5% y le corresponde un peso específico seco máximo de  $1.72 \text{ g/cm}^3$ .

En la Figura 18 se muestran las respectivas curvas de contenido de humedad vs peso específico seco para los 3 ensayos realizados al suelo cohesivo. (Ver Apéndice F)

### **Figura 18**

*Curvas ensayo Proctor modificado del suelo cohesivo*





#### 4.1.3 Caracterización Física del Suelo Granular

**4.1.3.1 Gravedad Específica.** Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas INV E-222 para la fracción fina e INV E-223 para la fracción gruesa del material, ver Figura 19.

#### Figura 19

*Ensayo de gravedad específica para la fracción gruesa del suelo granular*



En cuanto al cálculo de gravedad específica de la la fracción fina del suelo granular, se trabajó con una muestra de 100 g de la arena en estado SSS (Saturado Superficialmente Seco). En la Figura 20 se muestra la prueba de cono para la definir la condición de saturado y superficialmente seco del material para el ensayo.

### Figura 20

*Prueba de cono para verificar SSS*



La Tabla 8 proporciona los resultados recopilados de estos ensayos. (Ver apéndice E)

### Tabla 8

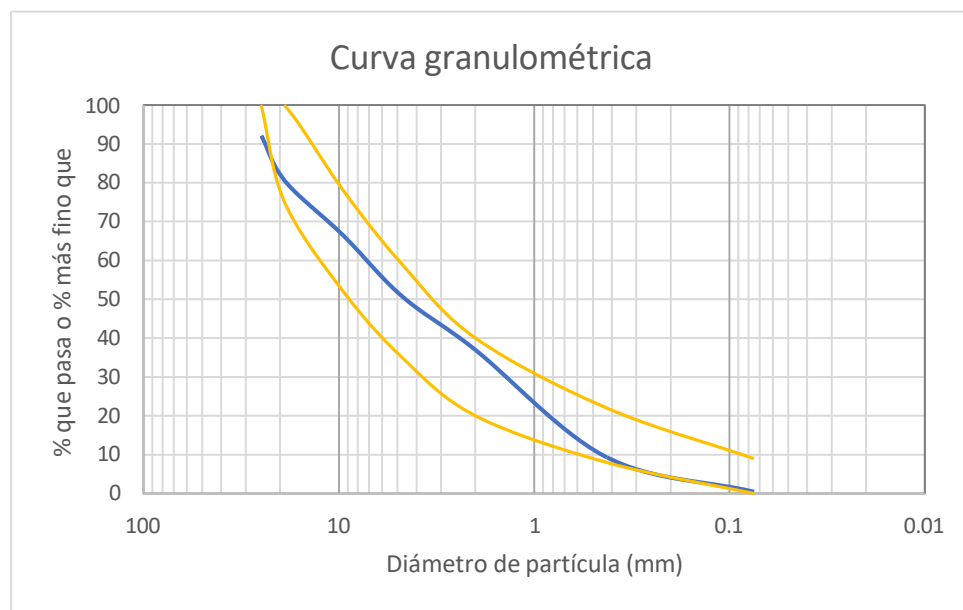
*Resumen de resultados ensayo de gravedad específica del suelo granular*

Gravedad específica fracción gruesa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.42
Gravedad específica fracción fina ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.57
<b>Promedio (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b>2.44</b>

**4.1.3.1 Composición Granulométrica.** La granulometría del suelo granular, se realizó en base al Capítulo 3, Artículo 330, Base Granular, del libro “Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022” del INVIAS, esto debido a que el suelo utilizado para el estudio fue extraído como material de base de una planta de agregados. Los resultados se observan en la Figura 21.

### Figura 21

*Curva granulométrica suelo granular*



*Nota.* Las líneas amarillas indican las franjas granulométricas de una base granular de gradación gruesa según la tabla 330-3, Artículo 330.

Tal como se observa en la Figura 21, el material utilizado en el ensayo pertenece a una base BG-27. Para mayor claridad ver la Figura 22, que contiene la tabla con los rangos de

porcentajes para clasificar por tamaño de partículas el tipo de base al que pertenece el material en estudio. (Ver Apéndice C)

## Figura 22

Tabla 330- 30, Franjas granulométricas del material de base granular

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
BASES GRANULARES DE GRACACIÓN GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Nota. Tomado de Normas y Especificaciones, INVIAS, 2012.

**4.1.3.2 Límites de Plasticidad.** Los límites líquido y plástico del suelo granular no fueron posible determinarlos dado que, por las características del suelo, este corresponde a un suelo No Plástico. En la Figura 23 se aprecia la imposibilidad de realizar el ensayo de límite plástico.

**Figura 23**

*Ensayo límite plástico suelo granular*



**4.1.3.3 Ensayo Proctor Modificado.** Este ensayo se realizó en el marco de la norma INV E-142, considerando el método C para el suelo granular en función de diferentes rangos de humedad tal como lo dispone la norma, ver Figura 24. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 9.

**Figura 24**

*Ensayo Proctor modificado de suelo granular*

**Tabla 9**

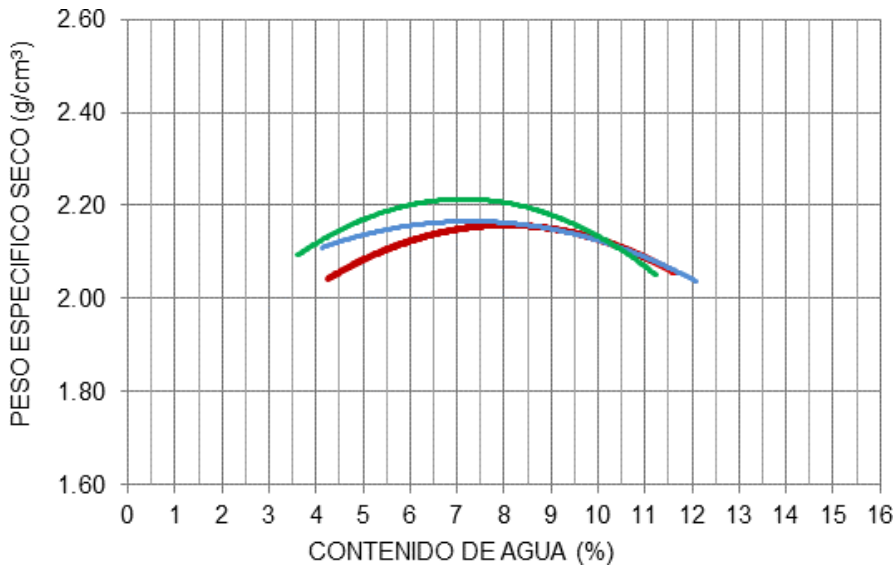
*Resumen de resultados de ensayo Proctor Modificado del suelo granular*

No de Ensayos	Humedad óptima de ensayo (%)	Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )
1	7.32 %	2.17
2	7.13 %	2.21
3	8.03 %	2.16
<b>Promedio</b>	<b>7.5 %</b>	<b>2.18</b>

En la Figura 25 se muestran las curvas del ensayo Proctor para las tres muestras sometidas a Ensayo. (Ver Apéndice F)

**Figura 25**

*Curvas ensayo Proctor Modificado del suelo granular*



El contenido de humedad óptima para el suelo granular es de 7.5% y su correspondiente peso específico seco máximo de 2.18 g/cm<sup>3</sup>.

#### **4.2 Obtener el índice de CBR de suelos de tipo cohesivo y granular con humedades de compactación diferentes a la humedad óptima, para establecer la variación entre los dos parámetros**

##### **4.2.1 Ensayo de CBR**

Para llevar a cabo el ensayo, preliminarmente se diseñó un experimento factorial completo que consistió en realizar 10 ensayos CBR con 2 repeticiones. Dichos ensayos se realizaron compactando a diferentes números de golpes, específicamente 10, 25 y 56 golpes según la INV E-148-13. En total, se ensayaron 60 moldes, 30 de suelo cohesivo y 30 de suelo

granular en un orden aleatorio estadístico como lo indicó el diseño factorial completo. En la Figura 26 se aprecia parte del proceso del ensayo.

### **Figura 26**

*Preparación de la muestra y proceso de compactación para ensayo de CBR*



Los moldes no fueron sumergidos debido a la naturaleza del estudio, el cual se enfoca en estudiar la incidencia de la humedad de compactación en los valores CBR. Sumergir los moldes habría alterado los resultados, lo que no estaría en línea con el propósito del estudio. En lugar de ello, el enfoque consiste en examinar los resultados del ensayo CBR bajo distintos niveles de humedad de compactación, permitiendo así una evaluación más precisa de la correlación entre la compactación, variando la humedad, y la resistencia a la penetración. La velocidad constante de carga vertical aplicada por el equipo de ensayo fue de 1.27 mm/min, hasta alcanzar 12.7 mm (0.5”) de penetración.



Después de completar el ensayo de CBR, se extraía la muestra del molde utilizando un gato hidráulico. Esta extracción permitía obtener muestras de suelo que luego eran analizadas para corroborar si el contenido de humedad se mantuvo durante la compactación, ver Figura 27.

### **Figura 27**

*Extracción de la muestra compactada*



La variación en los niveles de humedad permitió obtener información relevante sobre el comportamiento de los suelos. Sin embargo, los rangos de humedad inicialmente establecidos en el diseño experimental para los suelos, no se pudieron implementar en el suelo granular debido a que para un contenido de humedad del suelo granular correspondiente a la humedad óptima  $H_{O+3\%}$ , la muestra de suelo compactada ya en el molde no tenía la capacidad de retener toda el agua correspondiente al porcentaje de humedad en cuestión, por lo que la exudación era ampliamente notable, ver Figura 28. Esta restricción se le atribuye a la escasa existencia de material fino o pasa 200 en el suelo granular, lo cual es inherente a su naturaleza. Por lo tanto, se

tomó la decisión de ajustar el rango de humedad para el suelo granular, reduciéndolo de HO-3% a HO+3%. Esto implicó la eliminación de las humedades HO-6% y HO+6% y la inclusión de las humedades HO-1.5% y HO+1.5%.

### **Figura 28**

*Exudación del molde de ensayo de CBR*



Es importante señalar que el análisis estadístico de los resultados no podrá llevarse a cabo en un conjunto único. En su lugar, será necesario realizar un análisis por separado para cada tipo de suelo, dada la necesidad de considerar las características individuales y la variabilidad inherente a cada uno, sin embargo, continúa siendo posible realizar un análisis estadístico enfocado en la evaluación de la variación en los resultados obtenidos.

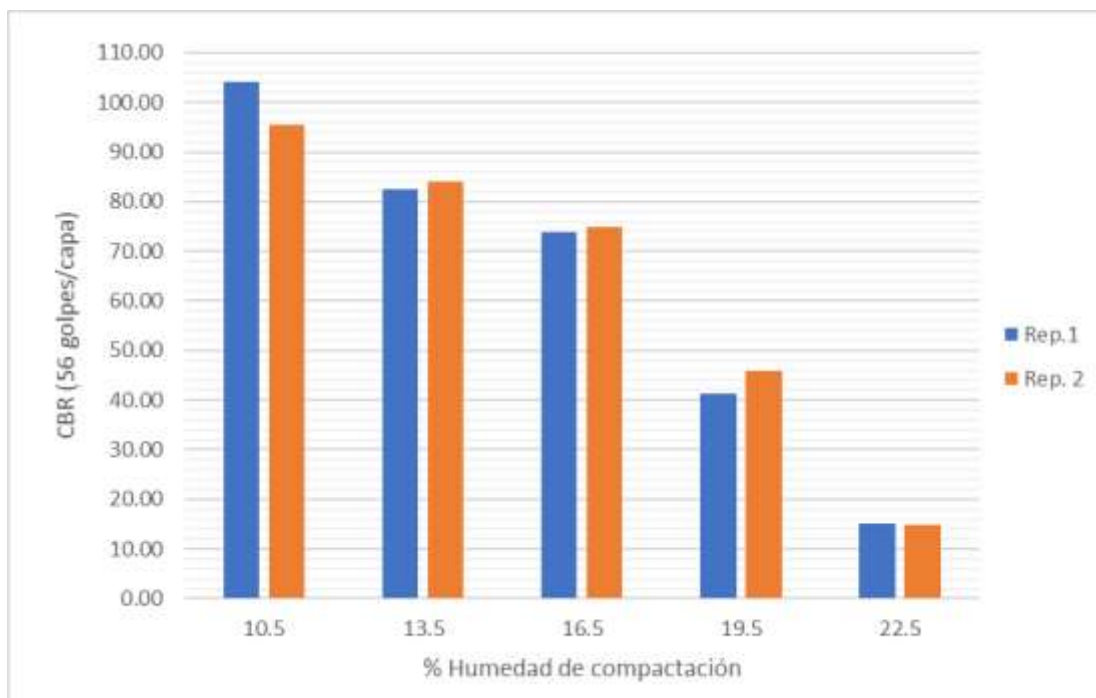
En primera instancia el análisis estadístico comprende la técnica ANOVA (Análisis de Varianza) con el propósito de contrastar las medias de los resultados para discernir la existencia de divergencias significativas entre ellos y establecer el tipo de distribución que presentan los datos. En esencia, el ANOVA facilita la identificación de discrepancias notables en las medias entre los grupos bajo análisis, permitiendo discernir si las diferencias observadas obedecen a causas genuinas o si son el resultado de fluctuaciones aleatorias. Luego de comparar las medias, se realizará un modelo de regresión lineal, analizando cada parámetro que comprende dicho modelo y ajustando los datos es caso de ser necesario. (Ver Apéndice G)

#### ***4.2.2 Análisis de la Variación de los Resultados Obtenidos de CBR Vs % de Humedad del Suelo Cohesivo***

Se presenta a continuación los resultados de los ensayos de CBR respecto al porcentaje de humedad de compactación para una energía de compactación de 56 golpes. Se escogió dicha energía de compactación, ya que los resultados de CBR máximos son los datos más representativos para el estudio, estos corresponden a los CBR obtenidos en los especímenes compactados a 56 golpes por aquellos que mayor energía de compactación recibieron, coincidiendo con lo dicho por (Correa Huancas, 2020), pues algunos estudios previos han confirmado que al incrementar la densidad, en un número de impactos en un rango de 56 a 61 golpes, es posible alcanzar la máxima energía de compactación. Las humedades corresponden a los valores de 10.5% (HO-6%), 13.5% (HO-3%), 16.5% (HO), 19.5% (HO+3%) y 22.5% (HO+6%). En la Tabla 10 y en la Figura 29, se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 10***Resumen de resultados ensayo CBR suelo cohesivo*

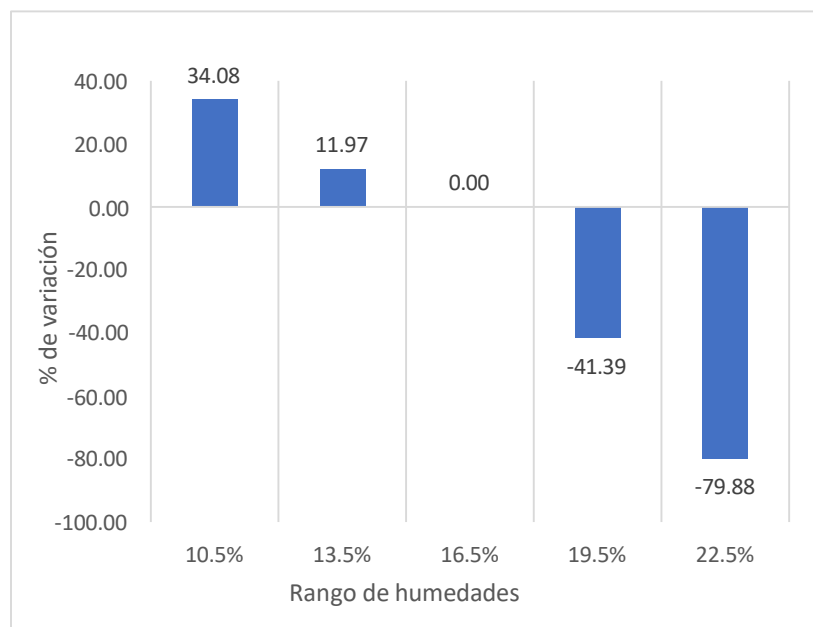
Humedad	Repetición 1		Repetición 2	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
10.5%	104.00	100.67	92.81	95.54
13.5%	82.58	81.11	79.86	84.05
16.5%	73.82	71.74	75.00	68.00
19.5%	40.77	41.23	46.00	40.00
22.5%	12.67	15.03	12.40	14.92

**Figura 29***Valores de CBR vs % de humedad del suelo cohesivo*

Analizando los resultados en relación con la muestra de referencia, que corresponde al CBR obtenido del espécimen compactado con la humedad óptima, se tiene que, promediando ambas repeticiones, para la humedad más crítica por debajo de la humedad óptima, 10.5%, existe un incremento del 34.08% de la capacidad de soporte del suelo, así también para 13.5% se incrementa en un 11.97%. Por otro lado, para las humedades 19.5% y 22.5%, se evidencia un descenso de la capacidad de soporte en un porcentaje de 41.39% y 79.88%, respectivamente. Las variaciones anteriores están representadas en la Figura 30.

### Figura 30

*Variación del CBR con el cambio de la humedad de compactación con respecto al CBR obtenido para la humedad óptima*

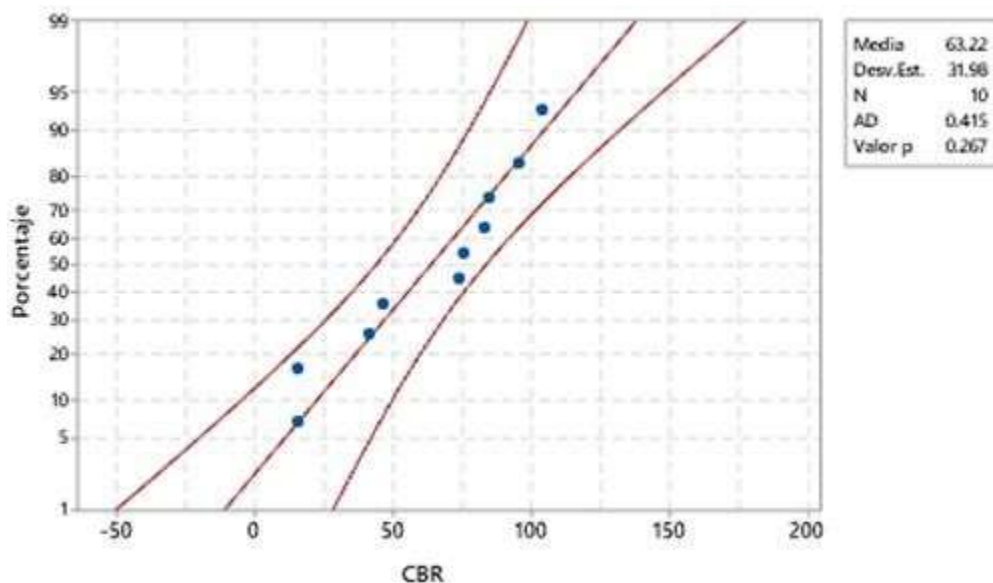


Para el análisis de la distribución de los datos, se hizo uso del software Minitab, con el propósito de determinar el tipo de distribución que presentan según las expectativas, si

provinieran de una distribución normal con igual media y desviación estándar. Se planteó como hipótesis nula ( $H_0$ ) que los datos siguen una distribución normal, ver Figura 31.

### Figura 31

*Gráfica de probabilidad de CBR del suelo cohesivo*

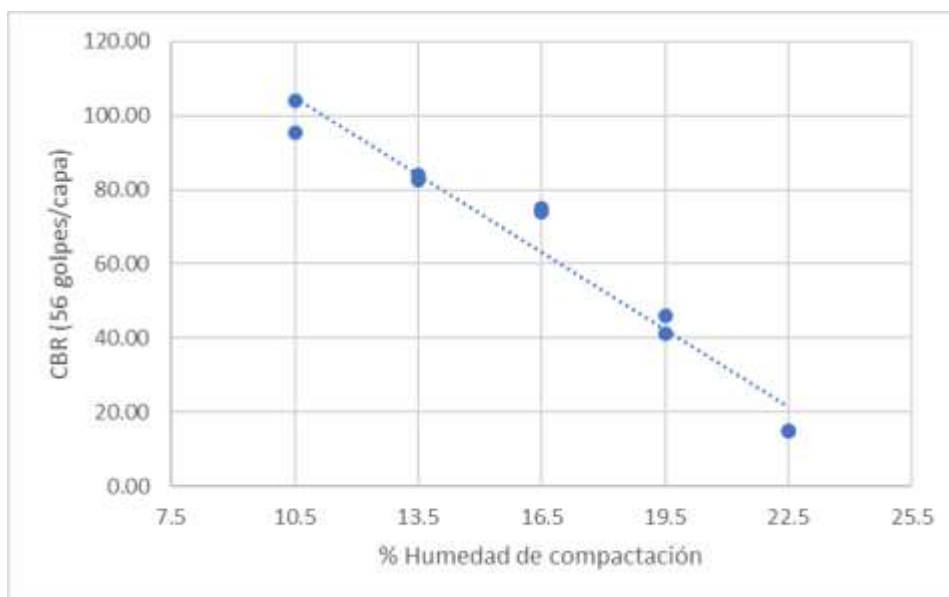


Se compara el valor p con el nivel de significancia, para determinar si los datos siguen la distribución. El nivel de significancia (denotado como  $\alpha$ ) establecido fue de 0.05. La Figura 31 muestra el Valor p, 0.267, siendo mayor a 0.05, por lo que la hipótesis nula indica que los resultados siguen una distribución normal. “La línea de distribución ajustada es la línea recta intermedia en la gráfica (Figura 31). Las líneas continuas externas en la gráfica (Figura 31) son los intervalos de confianza de los percentiles individuales” (Minitab, 2023). Se concluye que la distribución teórica especificada, distribución normal, es un buen ajuste debido a que los puntos se sitúan estrechamente a lo largo de la línea recta. La prueba de normalidad fue realizada mediante el método estadístico Anderson-Darling, arrojando un AD de 0.415.

La Figura 32 muestra la tendencia lineal con la que disminuye la capacidad de soporte en función del aumento de la humedad en cada ensayo. Por lo que se propuso hacer un primer modelo de regresión lineal simple que incluyó todos los datos obtenidos de los ensayos de CBR compactados a 56 golpes por capa para el suelo cohesivo. Como resultado se obtuvo una ecuación de la recta dada por  $y=178.33-6.9763x$ , con un R cuadrado o intervalo de predicción del 95%. Cuando el valor de R cuadrado es cercano al 100% significa que el modelo se ajusta a los datos, indicando que no hay valores atípicos que obliguen a realizar un ajuste del mismo.

### Figura 32

*Dispersión de datos y línea de tendencia*



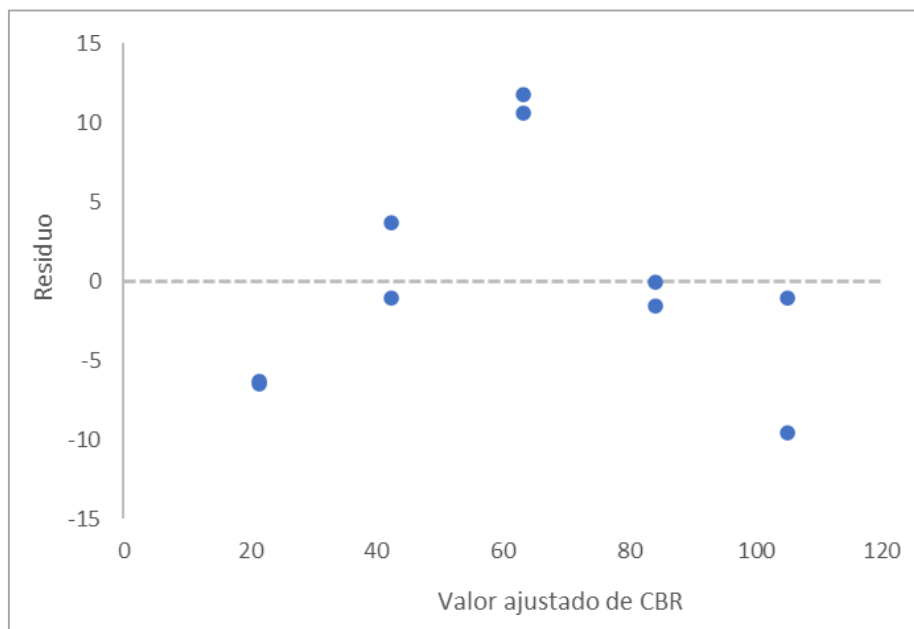
Además, el coeficiente de correlación reveló un valor de -0.98, lo cual señala una correlación negativa entre la humedad de compactación y el CBR obtenido, es decir, cuando la

humedad de compactación aumenta el CBR disminuye. A medida que el valor de correlación se acerca más a -1, esto denota una relación inversa más sólida.

No obstante, en la Figura 33 se presenta la gráfica de residuos con el propósito de ilustrar que no hay valores atípicos que requieran un ajuste del modelo.

### Figura 33

*Residuos frente a valores de CBR ajustados*



Con base en el modelo de regresión lineal simple previo, la Tabla 11 presenta las predicciones del valor de CBR para los diferentes niveles de humedad establecidos desde la humedad HO-6% (10.5) hasta la HO+6% (22.5).



**Tabla 11***Predicción de valores según el modelo de regresión lineal*

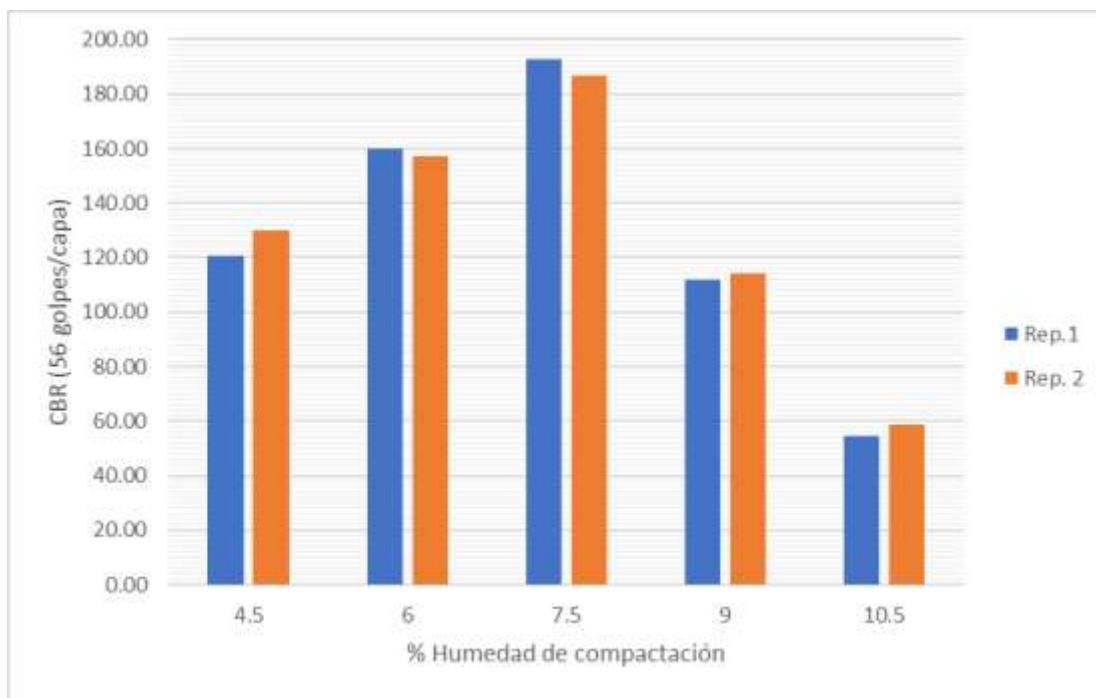
Humedades	Pronóstico para Y
10.5	105.075
13.5	84.146
16.5	63.217
19.5	42.288
22.5	21.359
10.5	105.075
13.5	84.146
16.5	63.217
19.5	42.288
22.5	21.359

#### **4.2.3 *Análisis de la Variación de los Resultados Obtenidos de CBR vs. % de Humedad del Suelo Granular***

Se aplicó el mismo principio que se utilizó en el análisis del suelo cohesivo al seleccionar los resultados de CBR. Para ambos suelos, se optó por los valores de CBR obtenidos para el molde compactado con 56 golpes por capa, ya que representan los datos más relevantes para el análisis. Los datos obtenidos de los ensayos de CBR vs los porcentajes de humedad de compactación correspondientes a los valores de 4.5% (HO-3%), 6% (HO-1.5%), 7.5% (HO), 9% (HO+1.5%) y 10.5% (HO+3%), se muestran en la tabla 12. La Figura 34 ilustra los datos tabulados.

**Tabla 12***Resumen de resultados ensayo CBR suelo granular*

Humedad	Repetición 1		Repetición 2	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
4.5%	110	120.66	115	130
6%	130	160	125	157
7.5%	158	193	147	187
9%	81	112	81.5	114
10.5%	41	54.67	44	58.66

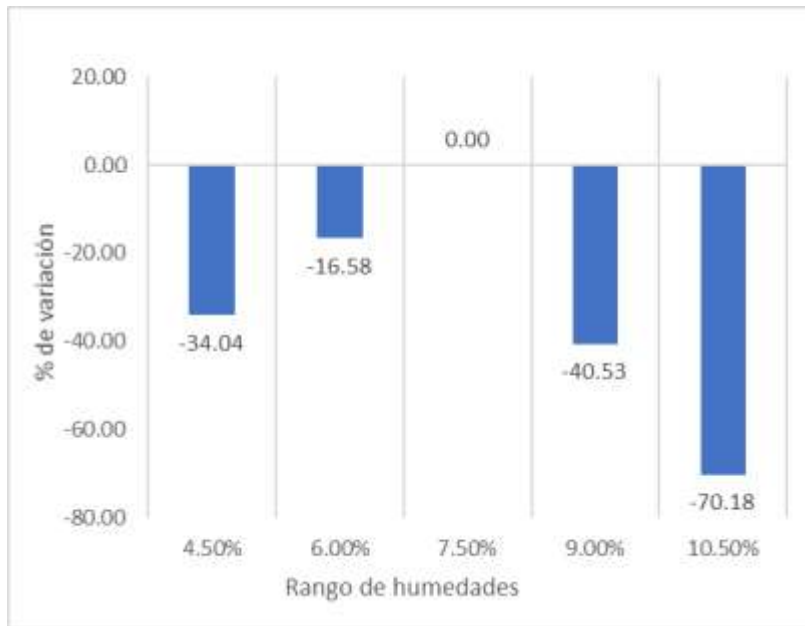
**Figura 34***Valores de CBR vs % de humedad del suelo granular*

La Figura 34 permite evidenciar que el mejor CBR obtenido está dado por la humedad óptima de compactación, no obstante, se hace manifiesto que las humedades de compactación por debajo de la óptima tienden a permitir que el suelo tenga mejor capacidad de soporte en comparación con la capacidad obtenida a humedades por encima de la humedad óptima. Promediando las dos repeticiones, las disminuciones porcentuales de la capacidad de soporte respecto a la arrojada por la humedad óptima son: un 34.04 % y 16.58% para las humedades 4.5% y 6%, correspondientes a las humedades por debajo de la óptima, y unas disminuciones del 40.53% y 70.18% para humedades de compactación por encima de la humedad óptima de 9% y 10.5%, respectivamente.

En la Figura 35 se representan las disminuciones de la capacidad de soporte del suelo.

### **Figura 35**

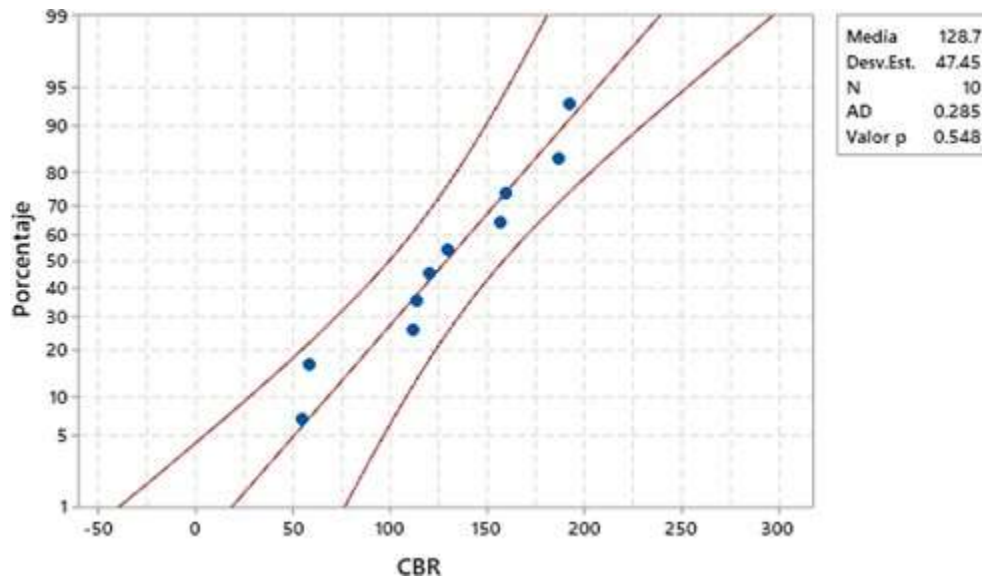
*Variación del CBR con el cambio de la humedad de compactación con respecto al CBR obtenido para la humedad óptima*



Con el objetivo de discernir si los datos se ajustan a una distribución normal, se realizó un estudio a la distribución de los mismos, considerando si tienen la misma desviación estándar y la misma media. La hipótesis nula ( $H_0$ ) planteada fue que los datos obtenidos corresponden a una distribución normal, ver Figura 36.

### Figura 36

*Gráfica de probabilidad de CBR del suelo granular*



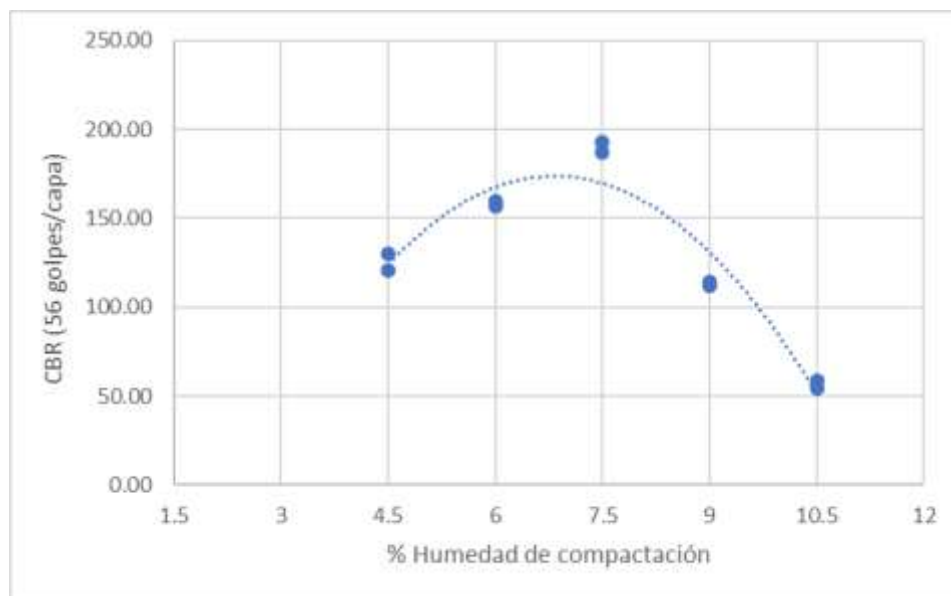
Se fijó un nivel de significancia (representado como  $\alpha$ ) de 0.05. La Figura 36 muestra el Valor p, 0.548, siendo mayor que 0.05. En consecuencia, la hipótesis nula sugiere que los resultados se adhieren a una distribución normal, es decir, la distribución teórica propuesta, se ajusta adecuadamente, ya que los puntos están dispuestos de manera cercana a lo largo de la línea recta.

De acuerdo a la tendencia que presentan los datos se optó por hacer un modelo estadístico correspondiente a una regresión cuadrática. El R-cuadrado de 91.28% evidencia que este modelo se ajusta adecuadamente a los datos obtenidos. La ecuación cuadrática dada por la curva es  $y = -9.1273x^2 + 124.72x - 252.22$ . El coeficiente en la ecuación refleja cómo cambia en promedio la respuesta cuando hay un cambio de una unidad de éste. El signo del coeficiente se determina según la dirección de la relación entre el término y la respuesta. En esta situación, el coeficiente tiene un valor negativo, lo que significa que mientras que el término crece, el resultado promedio de la respuesta tiende a disminuir.

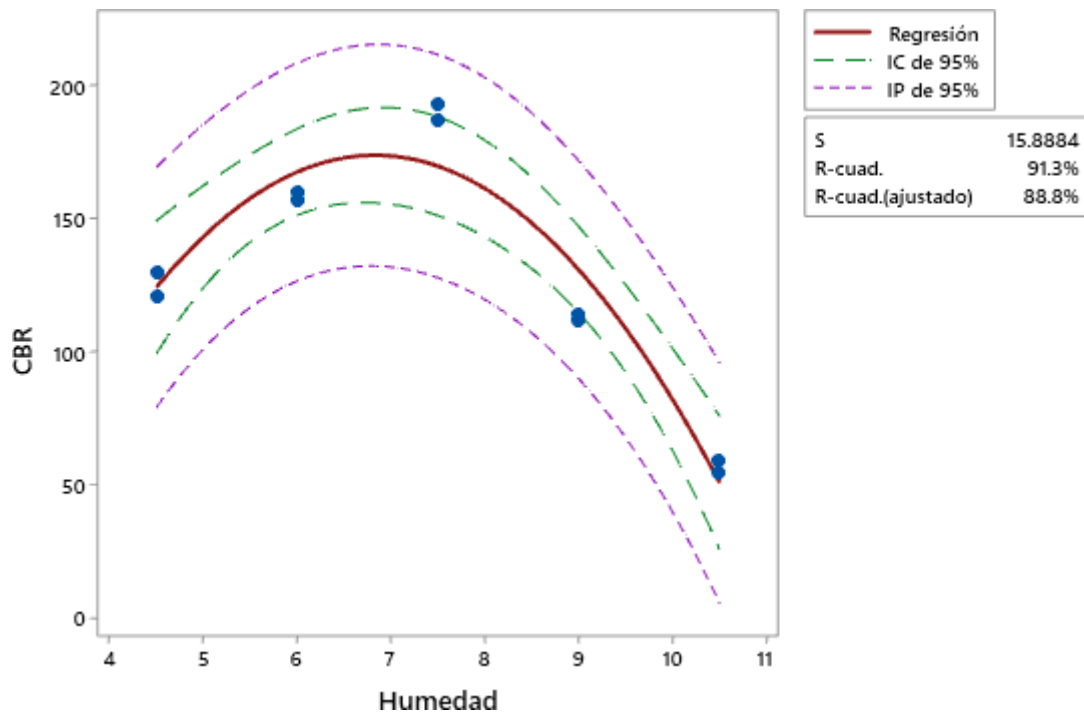
El coeficiente del predictor "x" es 124.72, mientras que para el predictor cuadrático "x<sup>2</sup>", el coeficiente es -9.1273, esto implica que, en una relación cuadrática, la tasa de disminución del CBR es más pronunciada con aumentos en los valores de humedad más altos en comparación con los valores más bajos de humedad. Lo anterior puede observarse en la Figura 37 puesto que se evidencia que la pendiente de la curva del lado derecho (valores por encima de la humedad óptima) del vértice es más pronunciada que la del lado izquierdo (valores por debajo de la humedad óptima).

**Figura 37**

*Dispersión de datos y curva de tendencia*

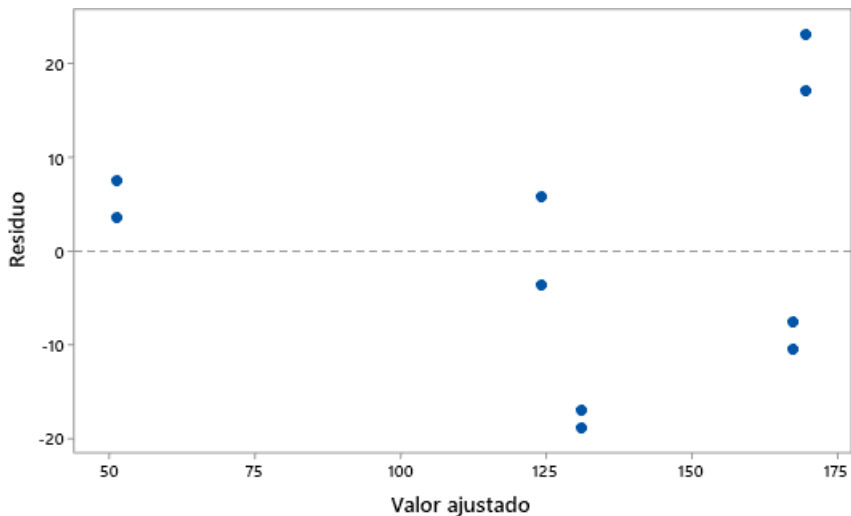


La asociación entre las variables humedad de compactación y el CBR es estadísticamente significativa, mediante el análisis de varianza, el valor p arrojado fue 0.00 siendo menor que el nivel de significancia establecido como 0.05.

**Figura 38***Gráfica de línea ajustada*

La Figura 38 muestra que hay un número suficiente de observaciones en todo el rango de valores de los predictores, y los puntos siguen la línea de regresión, asegurando un índice de predicción de datos y un índice de confiabilidad del 95% para ambos. Además, no parece haber valores atípicos presentes, a pesar de ello, a continuación, la Figura 39 muestra la gráfica de residuos.

**Figura 39***Residuos frente a valores de CBR ajustados*



De la gráfica de residuos (Figura 39) se descartan que haya valores atípicos presentes, pero se observa que a medida que los valores de ajuste aumentan, se advierte un aumento en la dispersión entre los residuos. Este patrón sugiere una falta de constancia en las varianzas de los residuos, es decir, que no son iguales en todas las observaciones.

Según la ecuación dada por el modelo seleccionado de regresión cuadrática, se tabulan los valores pronosticados de CBR en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Predicción de valores según el modelo de regresión cuadrática*

Humedades	Pronóstico para Y
4.5	124.194
6	167.521
7.5	169.775
9	130.957



10.5	51.066
4.5	124.194
6	167.521
7.5	169.775
9	130.957
10.5	51.066

---

**4.3 Analizar los parámetros de resistencia al corte de suelos cohesivos compactados para el ensayo CBR con humedades diferentes a la óptima, para verificar su incidencia en el comportamiento del suelo.**

**4.3.1 Ensayo de Resistencia al Corte**

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo la norma INV E- 154-13 y su objetivo principal estuvo dirigido a evaluar las propiedades de resistencia al corte correspondiente al ángulo de fricción y la cohesión. Esta prueba se lleva a cabo para obtener información crucial sobre cómo el suelo cohesivo responde a esfuerzos de corte y para caracterizar su comportamiento en términos de resistencia y deformación. Se aplicó un esfuerzo normal y cortante a lo largo de la superficie horizontal de una muestra a una velocidad de deformación controlada.

El procedimiento utilizado en el ensayo puede variar dependiendo del tipo de confinamiento y drenaje al que se vaya a someter la muestra. En este caso, se optó por el procedimiento para el ensayo en condición no consolidado - no drenado, dado que se evaluó que este enfoque se adecuaba más a las demandas de la investigación.

Inicialmente, se procedió a la compactación de 5 moldes de manera análoga a como se realizó para los ensayos de CBR, empleando distintos niveles de humedad en relación a la óptima. Se optó por modificar la gama de humedades de compactación, elección que se basó en la sugerencia emitida por el director del proyecto. Esta decisión se fundamentó en la dificultad para extraer las muestras destinadas al ensayo de corte directo de los moldes compactados con humedades inferiores a -3. Dicha dificultad se atribuyó a la rigidez del suelo compactado debido a la extrema sequedad del mismo. En la Tabla 14 se muestran los contenidos de humedad con los que se prepararon las muestras de donde se obtuvieron los especímenes para el ensayo. Posteriormente a la compactación, se procedía a la extracción del molde mediante la asistencia de un gato hidráulico, ver Figura 40.

**Tabla 14**

*Ajuste de humedades de compactación*

Humedades previstas inicialmente en la investigación	Humedades ajustadas en la investigación
10.5 (HO-6%)	13.5 (HO-3%)
13.5 (HO-3%)	15 (HO-1.5%)
16.5 (HO)	16.5 (HO)
19.5 (HO+3%)	18 (HO+1.5%)
22.5 (HO+6%)	19.5 (HO+3%)

**Figura 40**

*Sistema de extracción de la muestra compactada para obtención de los especímenes de ensayo*



La conformación de las muestras destinadas al ensayo de corte directo se realizaba empleando moldes circulares de diámetro de 50 mm (2"), siempre que el suelo lo permitiera. En casos en los que se requería, las muestras eran talladas manualmente de manera cuidadosa e individual, respetando las medidas establecidos en la normativa aplicable. Además, se garantizaba que en cada muestra no quedara presente la intersección de dos estratos de compactación, asegurando así su integridad, se procuraba que la superficie y los bordes de cada muestra fueran lisos y uniformes, evitando cualquier tipo de rugosidad, ver Figura 41.

**Figura 41**

*Proceso de tallado de las muestras*



Las muestras de suelo fueron colocadas con sumo cuidado dentro de la caja de corte, donde se verificó que estuvieran perfectamente niveladas y centradas. Este paso fue crucial para garantizar la estabilidad de las muestras durante todo el ensayo, evitando cualquier interferencia externa que pudiera afectar los resultados. A lo largo del proceso del ensayo, se empleó un rango de cargas, dichas cargas se incrementaron de manera gradual, duplicándose en magnitud, comenzando desde 10 kPa, seguido por 20 kPa y finalmente 40 kPa. Se mantuvo una velocidad constante de ensayo de 0.3 mm/min para asegurar el cumplimiento de las condiciones preestablecidas de consolidación y drenaje. Se monitoreó cuidadosamente el comportamiento de las muestras a medida que la carga se incrementaba, hasta que finalmente se alcanzaba el punto de falla, ver Figura 42 y 43.

## **Figura 42**

*Muestras falladas*



**Figura 43**

*Ensayo de Corte Directo*



#### **4.3.2 Análisis de Resultados**

En la Tabla 15 y la Figura 44 se presenta un consolidado de los resultados obtenidos.

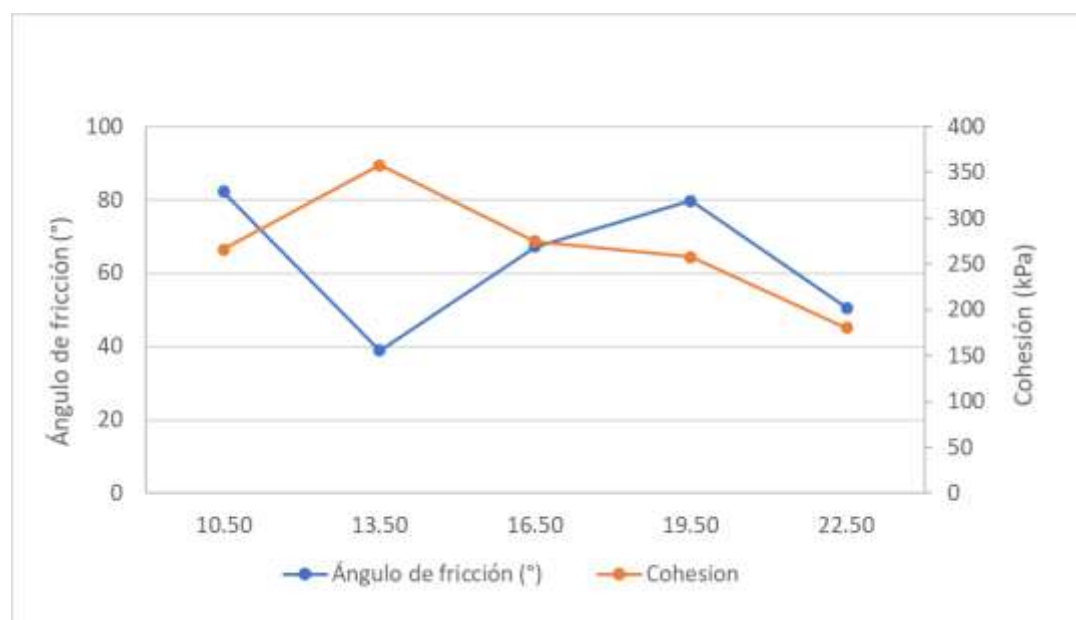
**Tabla 15**

*Parámetros de corte directo*

Humedad de compactación (%)	13.5	15	16.50	18	19.5
Ángulo de fricción (°)	82.28	38.96	67.21	79.76	50.54
Cohesión (kPa)	265.99	357.94	274.74	257.83	180.29

**Figura 44**

*Variación de parámetros de resistencia al corte vs humedad de compactación*

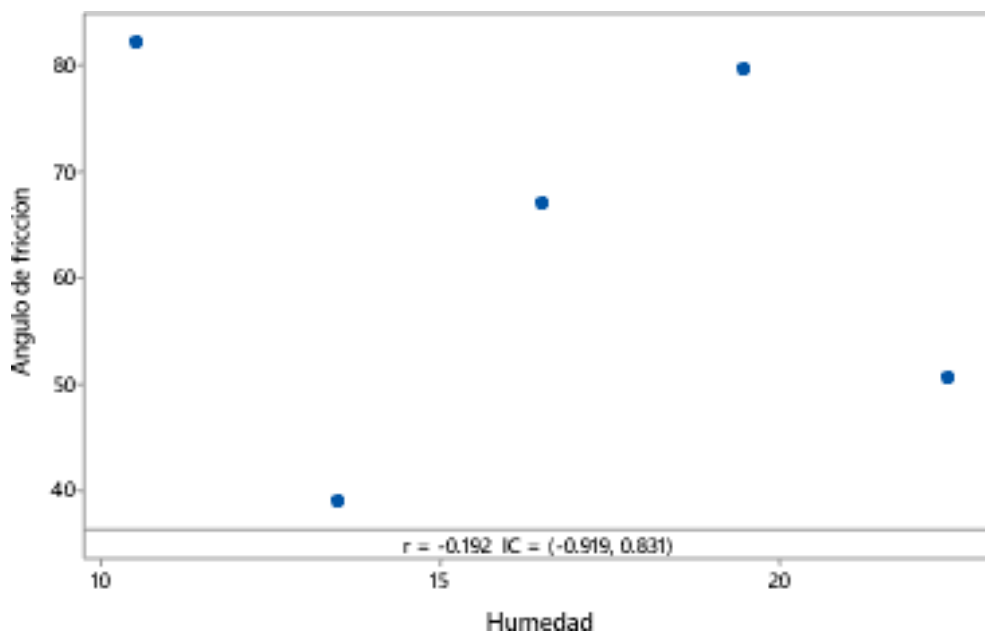


De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 44, no existe una correlación evidente entre el ángulo de fricción y la cohesión en relación a la humedad de compactación, no se percibe ninguna tendencia clara en el comportamiento de los datos que haga posible un análisis estadístico de los resultados para correlacionar la variación del contenido de humedad con los parámetros de resistencia al corte. Asimismo, estos resultados obtenidos para el ángulo fricción y la cohesión indican que no hay certeza en la precisión y exactitud de los mismos, lo cual es posible que se esté presentando por alguna deficiencia en la celda de carga del equipo. No

obstante, en la Figura 45, se realizó un breve análisis de correlación para confirmar lo inferido de la Figura 44.

### Figura 45

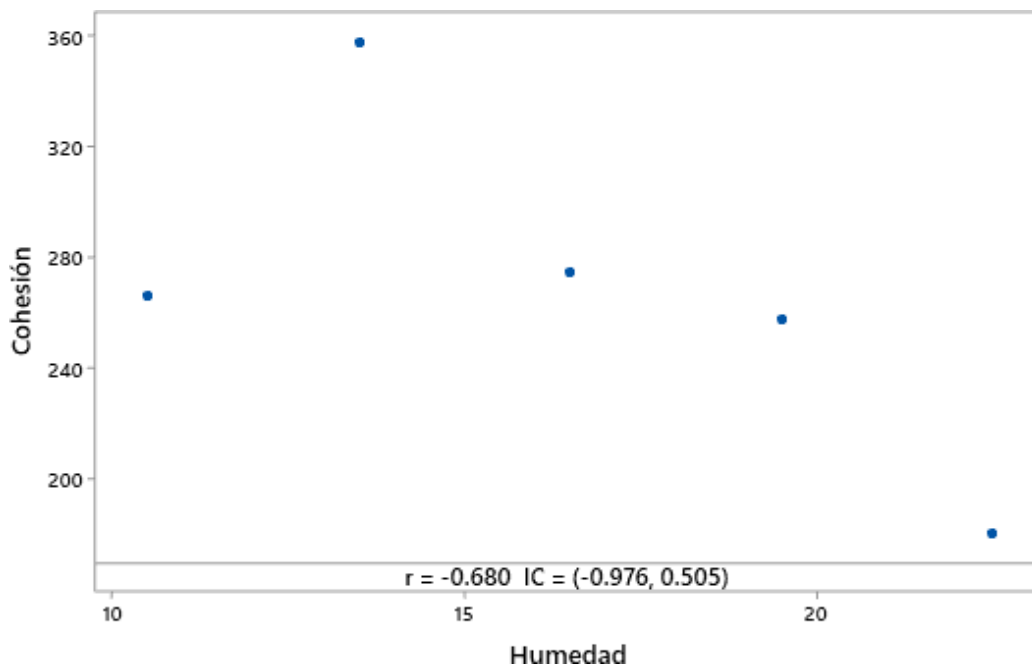
*Correlación de Humedad de compactación vs Ángulo de fricción*



La correlación del ángulo de fricción permite observar que los puntos están distribuidos de manera aleatoria en la Figura 45, indicando que no existe una relación lineal, moderada, monótona ni cuadrática. El coeficiente de correlación puede oscilar entre -1 y +1. Mientras que el valor absoluto del coeficiente aumenta, la relación entre las variables se vuelve más intensa. Un valor absoluto de 1 denota una relación lineal perfecta entre las variables en el contexto de la correlación de Pearson. En este escenario, se ha calculado una correlación de -0.192, esta correlación próxima a 0 sugiere que, entre las variables, no hay una relación lineal, ver Figura 45.

**Figura 46**

*Correlación de Humedad de compactación vs Cohesión*



Por otro lado, la Figura 46 muestra que en el análisis de la cohesión también se puede observar que los puntos están dispersos de manera aleatoria en el gráfico, lo que indica la ausencia de una correlación de cualquier tipo. En este caso, se ha calculado una correlación de -0.68, esta correlación cercana a -1 sugiere que la relación entre las variables tiende a ser negativa. Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de la tendencia en la correlación, en este caso particular no se verifica que a mientras el valor de la variable independiente incrementa, el valor de la variable dependiente disminuya.



Para una comprensión más completa de la variabilidad errática en el comportamiento del suelo y sus resultados en cuanto al ángulo de fricción y la cohesión, se sugiere consultar el

Apéndice H

## Capítulo 5. Conclusiones

El ensayo Proctor se presenta como una herramienta crucial para la determinación de la humedad óptima de compactación y la densidad seca máxima de un suelo. En los suelos cohesivos, el análisis reveló una densidad seca máxima de  $1.72 \text{ g/cm}^3$ , frente a un contenido óptimo de humedad del 16.5%. Estos resultados concuerdan con las expectativas para suelos de esta naturaleza, ya que se conoce que los suelos cohesivos demandan mayor cantidad de agua para facilitar la organización y la densificación de las partículas. Para el suelo granular se obtuvo una humedad óptima de compactación del 7.5% con una densidad seca máxima de  $2.18 \text{ g/cm}^3$ . Estos resultados corroboran que generalmente los suelos de este tipo requieren un menor contenido de agua para alcanzar su máxima densidad seca, este requerimiento se atribuye a las características inherentes de los suelos granulares, cuyas partículas, de mayor tamaño, presentan menos afinidad por el agua y, por ende, requieren menos para su compactación.

En cuanto a la obtención de los índice de CBR, particularmente, en el caso de los suelos cohesivos, se destacó una marcada influencia de la humedad de compactación en los valores índice de soporte de CBR dado que se observaron porcentajes de variación que alcanzaron el 34.08% y 11% en incremento de la capacidad de soporte, así como el 41% y 79% de reducción en comparación con el valor obtenido para la humedad óptima, apreciándose mayor incidencia y afectación de las humedades por encima de la humedad óptima. Además, se logró obtener un CBR más favorable en humedades por debajo del punto óptimo, esto sugiere la posibilidad de lograr un mejor rendimiento y resistencia en suelos compactándolos preferiblemente en un rango de humedades por debajo de la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

En suelos granulares, se identificó una significativa influencia de la humedad de compactación puesto que los porcentajes de variación observados reflejaron una clara tendencia hacia la disminución de la capacidad de soporte. Los resultados ponen de manifiesto el riesgo potencial de no cumplir con la humedad óptima del suelo al compactar, la capacidad de soporte del suelo se vio drásticamente afectada en una gama significativa, lo que resalta la necesidad de una consideración cuidadosa y precisa de la humedad durante el proceso de compactación, ya que la variación porcentual osciló entre un 16.58% y un 70.18%. En este contexto, a excepción de la compactación a humedad óptima, podría ser eficaz compactar a humedades ligeramente inferiores a la óptima, esto se erige como una alternativa preferible en comparación con la compactación a humedades superiores, dado que se observó mayor aceleración en la afectación de la capacidad de soporte con humedades por encima de la humedad óptima.

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo mostró una falta de consistencia y una variabilidad significativa a causa de los valores arrojados por la máquina de ensayo. A pesar de las repeticiones hechas de los ensayos y de ajustar el rango de humedad, los resultados seguían siendo inconsistentes y no permitieron identificar una tendencia clara a través del análisis estadístico. Estos hallazgos resaltan la complejidad y la importancia de comprender y abordar adecuadamente el comportamiento de los suelos cohesivos en los ensayos de corte directo. Existen varios factores que pueden influir en los resultados, como el proceso de moldeo y extracción de las muestras, el funcionamiento de los equipos, la variabilidad en el contenido de humedad y otros aspectos relacionados. A pesar de las dificultades encontradas, estos resultados han sido valiosos para el desarrollo del presente trabajo de investigación y

proporcionan una base para futuras investigaciones de los parámetros de resistencia al corte de los suelos cohesivos.

## Capítulo 6. Recomendaciones

En el caso de subrasantes que contengan suelos cohesivos similares, se sugiere favorecer la compactación a porcentajes de humedad más bajos en lugar de recurrir a humedades elevadas en campo. En esta etapa inicial, se recomienda trabajar con la humedad óptima mientras se profundiza en el estudio específico de los suelos cohesivos.

Es esencial, para cada ensayo, prueba y/o repetición, asegurar una homogenización exhaustiva del material bajo estudio, garantizando así una uniformidad en la humedad de todo el suelo. Este proceso contribuirá a minimizar el error humano y mejorar la calidad de los resultados obtenidos.

Antes de implementar los rangos establecidos inicialmente en el diseño metodológico, es recomendable realizar una verificación exhaustiva para asegurarse de que estos sean aplicables en el contexto real de los diferentes tipos de suelo encontrados para evitar posteriormente un cambio de los mismos.

Es fundamental contar con el dato claro y actualizado de la humedad del suelo en todas las etapas de cada ensayo. Esto proporcionará una base sólida para la interpretación precisa de los datos y permitirá tomar decisiones informadas. Se aconseja realizar confirmaciones precisas y periódicas de la humedad del suelo. La sensibilidad de los resultados depende estrechamente de la humedad presente, por lo que una medición rigurosa garantiza la confiabilidad de los hallazgos del estudio

Con respecto a los ensayos de corte directo se recomienda realizar ensayos adicionales para obtener resultados coherentes. Se sugiere realizar reparaciones en el equipo de ensayo actual o evaluar la posibilidad de adquirir un equipo nuevo. Esta decisión es crucial para garantizar la fiabilidad de los ensayos, lo que a su vez contribuirá a la integridad de los resultados obtenidos en el estudio.

## Referencias

- Agudelo, G., Aigner, M., & Ruiz, J. (2008). Diseños De Investigación Experimental Y No-Experimental. Centro de Estudios de Opinión, 1–46.  
[http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/2622/1/AgudeloGabriel\\_dise\\_nosinvestigacionexperimental.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/2622/1/AgudeloGabriel_dise_nosinvestigacionexperimental.pdf)
- Alcaldía Municipal de Ocaña en Norte de Santander. (2018, 6 de Noviembre). Nuestro municipio. Alcaldía municipal de Ocaña.  
<http://www.ocananortedesantander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Angarita Muñoz, J. E., & Ballesteros, A. (2013). Caracterización geotécnica preliminar lote barrio ciudadela deportiva. [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.] World Documents. <https://vdocuments.pub/estudio-geotecnico-ocana.html?page=1>
- Araujo Navarro William Segundo. (2014). Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2192>
- Arbeláez Sierra, C. (2016). Variaciones de las propiedades mecánicas de los suelos residuales de la EIA mediante el cambio de saturación con agua con jabón. [Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de Antioquia]. Repositorio Institucional EIA.  
<https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/ebfcf295-0173-4918-842a-280b4cb11ae7/content>
- Bustillos Álvarez, W. (2010). Estudio exploratorio del efecto de la saturación en el ensayo de California Bearing Ratio (CBR) de campo y laboratorio en el diseño de estructura de

- pavimento. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica] Repositorio TEC.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6152>
- Calderon, J., & Mira, G. (2015). Correlacion de los ensayos de corte directo y cbr para arenas mas gradafas del rios Magdalena sector el arenal en el municipio Barrancaberja. [Tesis de especialización, Universidad de Santander] <https://repositorio.udes.edu.co>
- Cámara de Comercio de Ocaña (2018). Informe económico de los municipios de la jurisdicción de la Cámara de Comercio de Ocaña. <https://www.camaraocana.com/wp-content/uploads/2020/03/Estudio-economico-2017.pdf>
- Castellanos González, L., González, González Pedraza, A. F., Capacho Mogollón A. E. , (2020). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. *Inge Cuc*, 17(1), 69–81. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/2868/3633>
- Castillo Briceño, P. E., & Aguilar Villena, R. M. (2018). Influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Calamarca – Huaso, La Libertad, 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13798>
- Concepto. (2013-2023). Suelo. <https://concepto.de/suelo/#ixzz7V5ZfK4Jj>
- Correa Huancas, D. (2020). Incremento de la energía de compactación y su influencia en la máxima densidad seca y optimo contenido de humedad de suelos granulares de canteras en el Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión] Repositorio de Tesis.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3412>



Duque Escobar, G. & Escobar, C. E. (2016). Clasificación e identificación de los suelos.

Geomecánica. 93-110. Universidad Nacional de Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/geomecanica.pdf>

Earth Observing System . (2020, 9 de Septiembre). El Control De La Humedad Del Suelo: Un

Factor Clave. <https://eos.com/es/blog/humedad-del>

[suelo/#:~:text=El%20contenido%20de%20humedad%20del,agua%20por%20pie%20de%20suelo.](https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/#:~:text=El%20contenido%20de%20humedad%20del,agua%20por%20pie%20de%20suelo.)

ETSI Caminos Canales y Puertos & Universidad Politécnica de Madrid. (2015). Ensayo de compactación. Proctor modificado. LCweb.

[https://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos\\_suelos/proctor\\_modificado.html](https://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos_suelos/proctor_modificado.html)

Garnica Anguas, P., Pérez Garcia. N. & Gomes López J. A., (2000). Módulo de resiliencia en suelos finos y materiales granulares, (142). Publicación técnica del IMT.

<https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt142.pdf>

Grupo Técnico-Convenio 587 de 2003. (2006). Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Volumen 1 de 1.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>

IngeCivil. (9 de agosto de 2018). Información sobre los suelos cohesivos.

<https://www.ingecivil.net/2018/08/09/informacion-sobre-los-suelos-cohesivos/>

La Librería Del Ingeniero. (s.f.). Ensayo de Corte Directo – Excel.

<https://www.libreriaingeniero.com/2017/09/ensayo-de-corte-directo.html>

- Llique Mondragón, R. H. & Guerrero Padilla A. M. (2014). Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio institucional UNITRU. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8212>
- López Falcón, R. (2002). Degradación del Suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. 1 Library. <https://1library.co/article/resiliencia-del-suelo-principios-y-conceptos-basicos.zln1kjrj>
- MacGregor Torrado, A. , Gallarda Amaya, R. J. , & Yulady Jaramillo , H. . (2020). Caracterización de suelos de subrasante mediante el uso del penetrómetro dinámico de cono (PDC). *Respuestas*, 25(S2), 59–68. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/2303>
- Naranjo Aguay, H., & Dranichnikov, T. (2012). Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6133>
- Puentes Morales, J. S. (2018). Correlación entre los resultados obtenidos del ensayo de CBR de campo y el ensayo de resistencia a la penetración estándar SPT en condiciones normales, en suelos cohesivos localidad de suba ciudad de Bogotá DC. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Universidad Distrital. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14118>
- Sánchez Leal, F. J. (2023, 22 de Junio). ¿Qué es el CBR?. Geotechtips. <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>

Sandoval, E. A. & Rivera, W. A. (2019). Correlación del CBR con la resistencia a la compresión confinada. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29 (1), 135-152.

<http://hdl.handle.net/10654/33447>.

Valerio Salas, O. (2011, 29 de Septiembre). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos Y*

*Materiales*, 1 (1), 14-24. <https://doi.org/10.15517/mym.v1i1.8391>

## Apéndice A

### Prueba gratuita del software Minitab

#### Figura A

#### *Prueba Gratuita software Minitab*



**Comience su prueba gratis por 30 días**

Acceda a su prueba gratis de Minitab Statistical Software en tan solo dos pasos:

- 1 Complete el siguiente formulario
- 2 Busque nuestro correo electrónico de seguimiento con instrucciones para activar la prueba gratis

Por favor, rellene el siguiente formulario...

**Información personal**

Nombre\*  Apellido\*

Correo electrónico (trabajo/académico)\*  
Ingrese una dirección de correo electrónico alfanumérica que sea válida. Solo se aceptan estos caracteres adicionales: # \$ % & \* + - / ^ \_ { } | ~

Número de teléfono:

*Nota.* Obtenido de Minitab 2021, Versión gratuita.

**Apéndice B****Relación de tamaño de muestra según el diámetro nominal de las partículas****Figura B***Tabla 4.1.1*

<b>Diámetro nominal de las partículas mayores</b>	<b>Masa mínima aproximada de la porción, g</b>
9.5 mm (3/8")	500
19.0 mm (3/4")	1000
25.4 mm (1")	2000
38.1 mm (1 1/2")	3000
50.8 mm (2")	4000
76.2 mm (3")	5000

*Nota.* Tomado de la Norma INV E-123

## Apéndice C

### Ensayo de Granulometría por tamizado y por hidrómetro

Figura C1

Granulometría por tamizado del suelo cohesivo

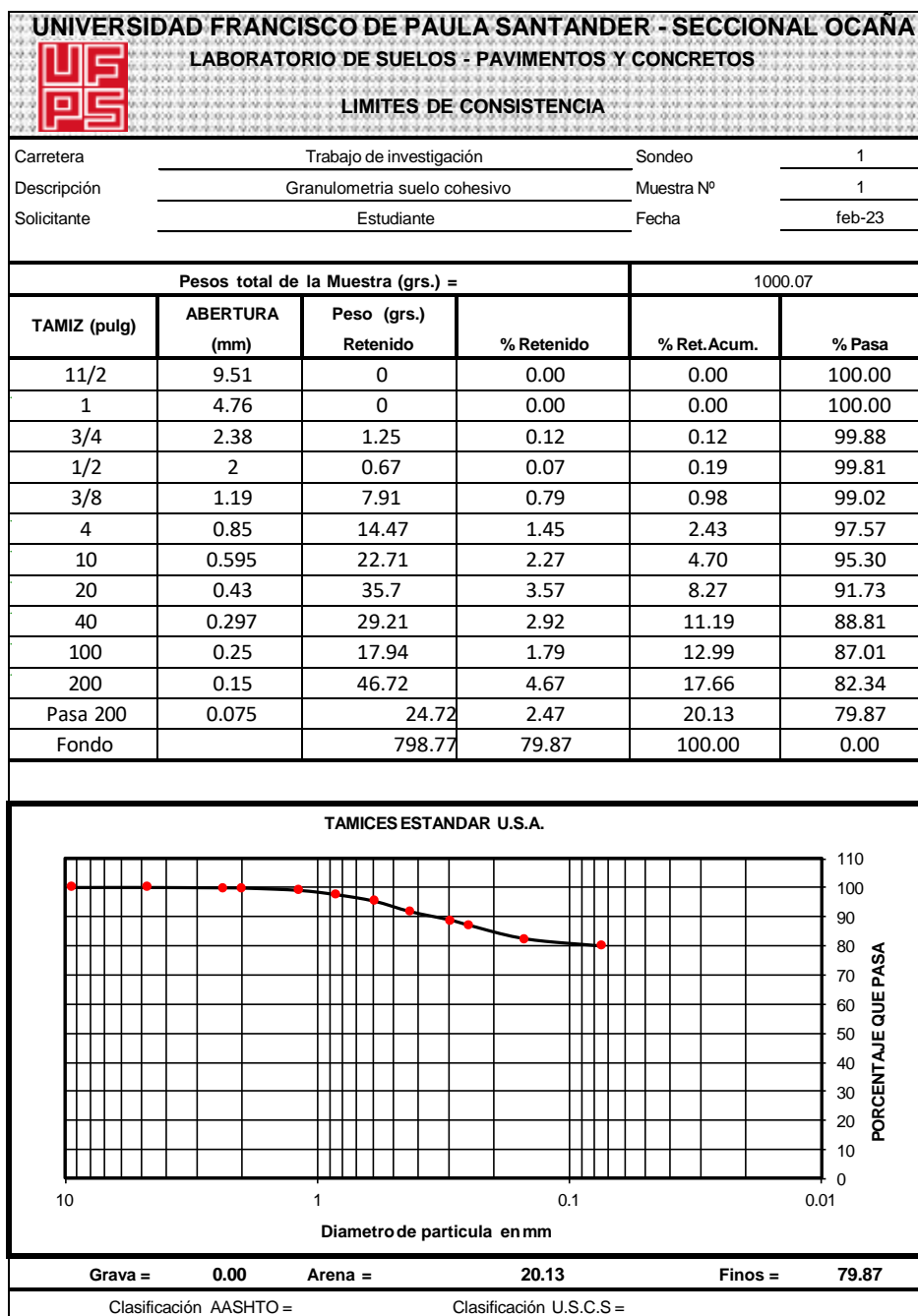


Figura C2

## Granulometría del suelo granular

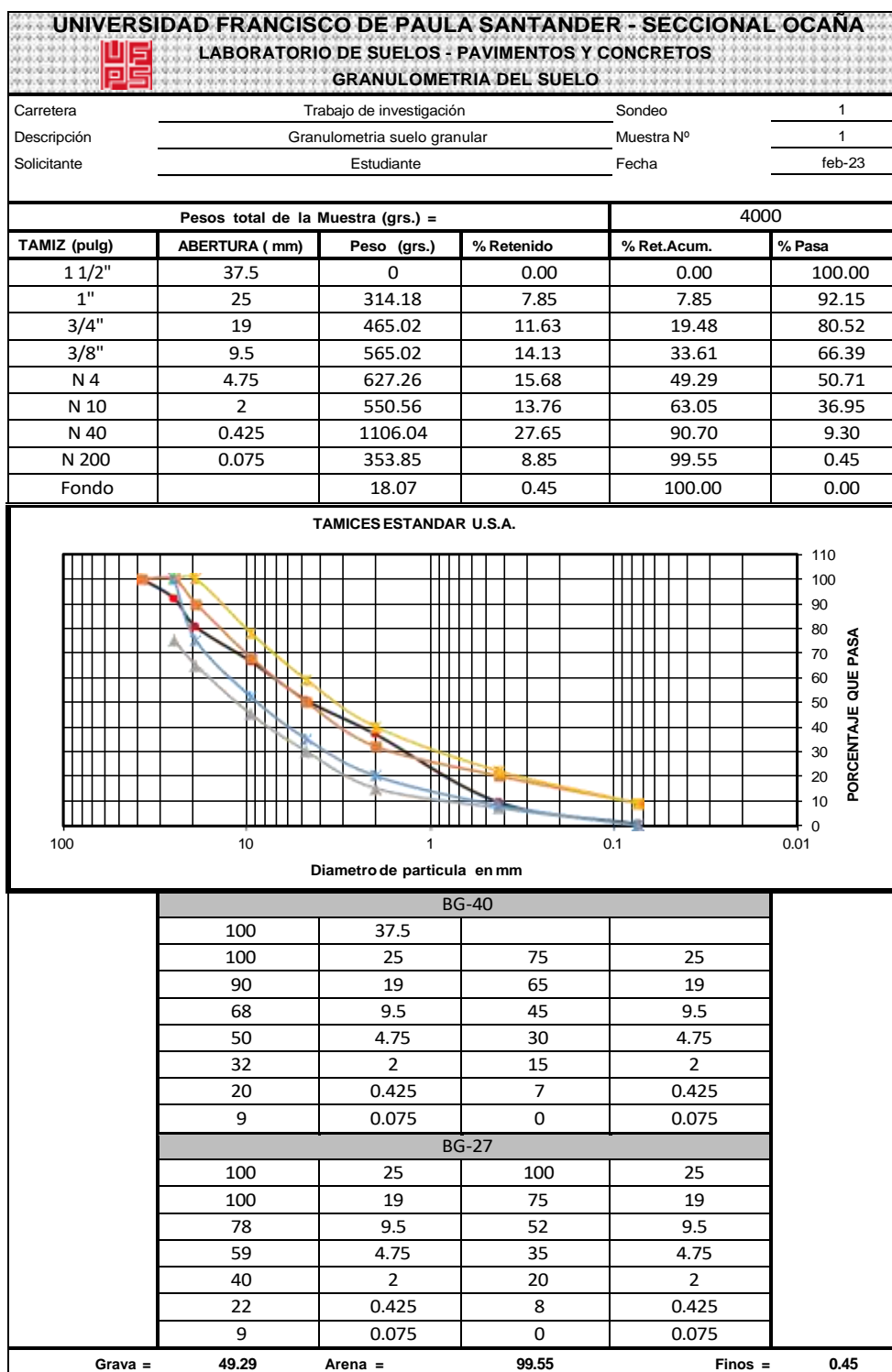
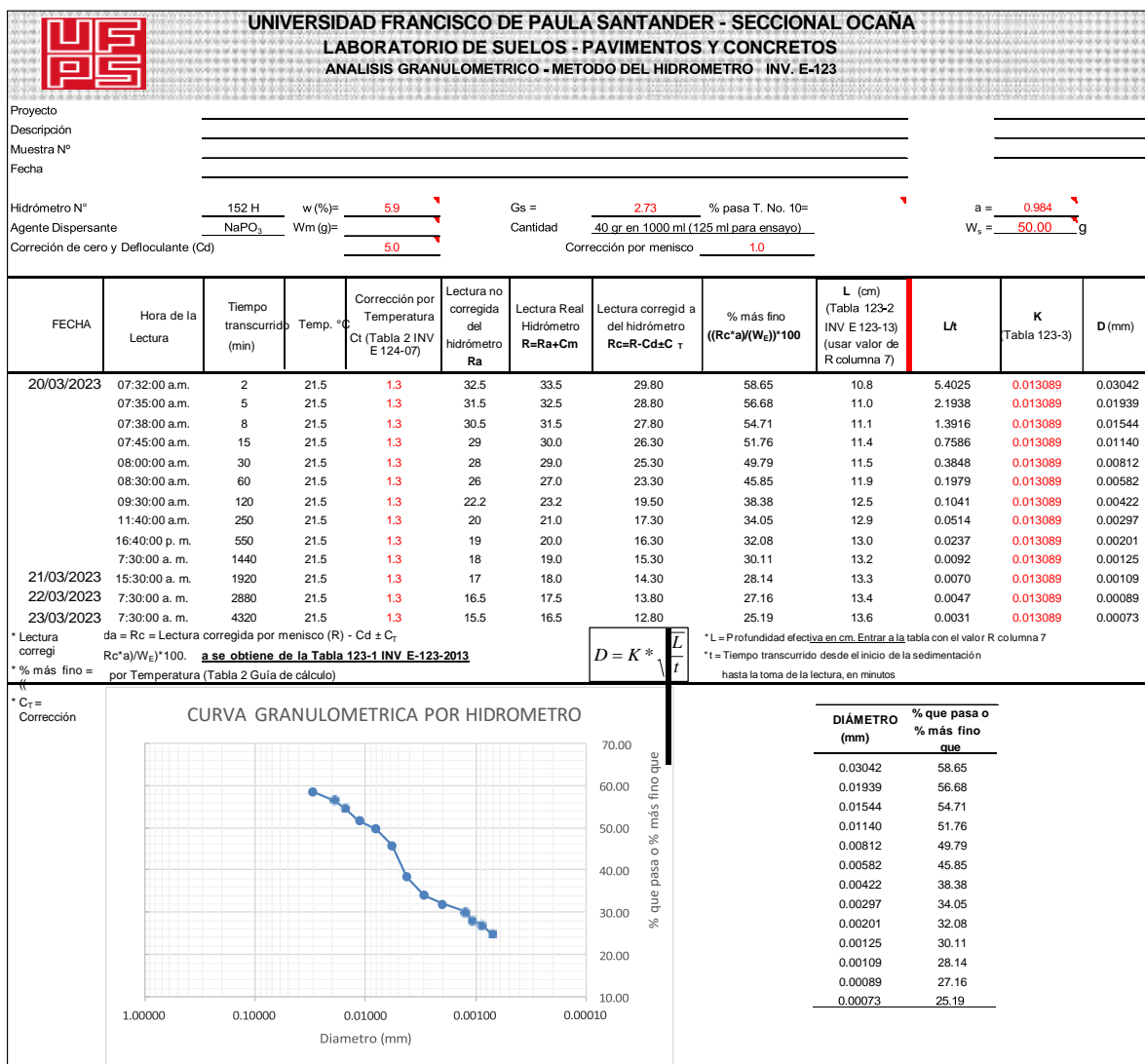


Figura C3

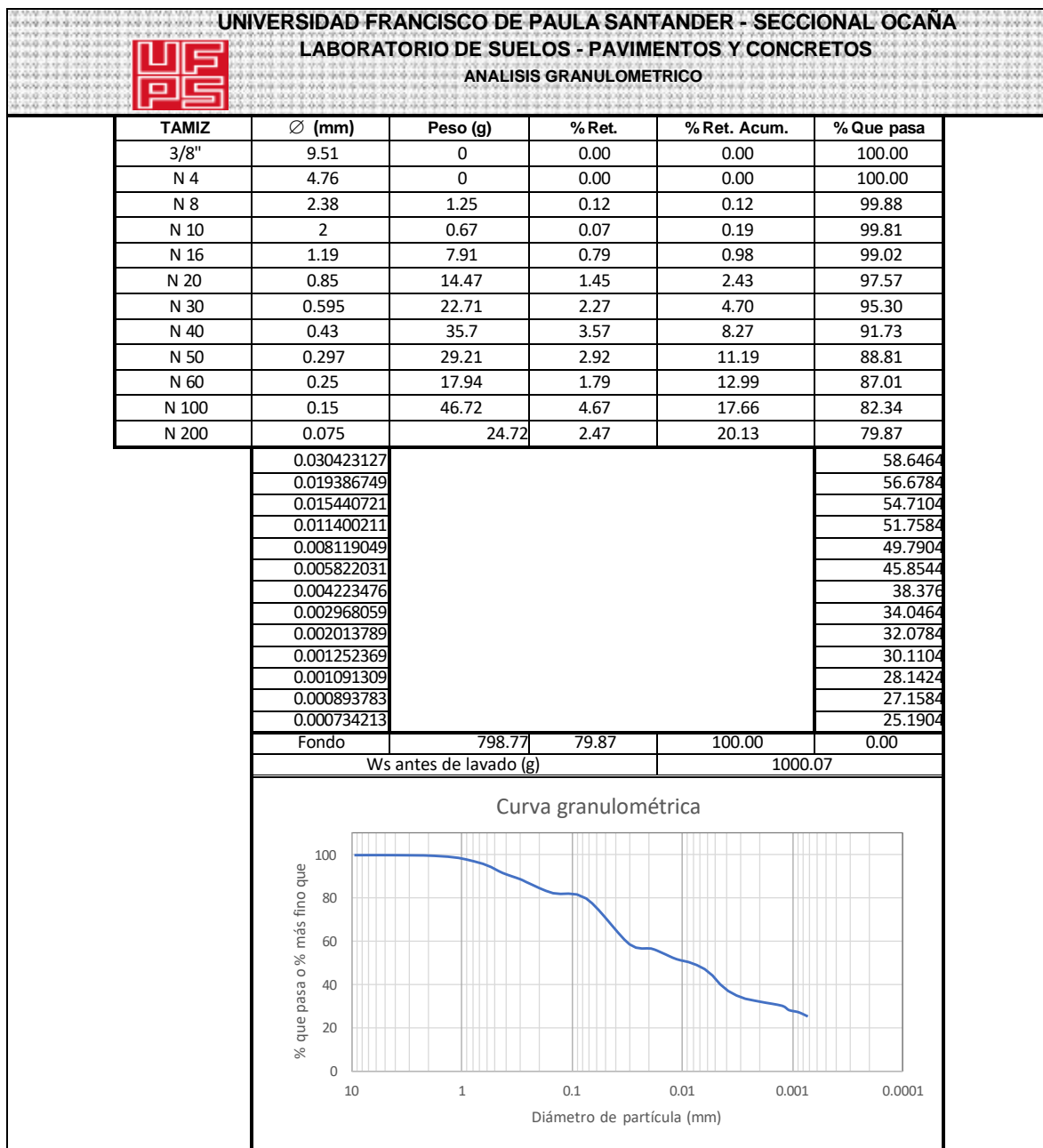
Granulometría por tamizado del suelo granular





## Figurara C4

Análisis granulométrico mediante el empalme del ensayo de granulometría por tamizado y ensayo de hidrómetro del suelo cohesivo



## Apéndice D

### Ensayo de Límites de consistencia

Figura D1

Datos del primer ensayo del suelo cohesivo

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - SECCIONAL OCAÑA		LABORATORIO DE SUELOS - PAVIMENTOS Y CONCRETOS					
LÍMITES DE CONSISTENCIA							
Carretera	Ingeniería civil	Sondeo	1				
Descripción	Trabajo de investigación	Muestra N°	1				
Solicitante	Estudiantes	Fecha	feb-23				
<b>LIMITE LIQUIDO - INV - E-125</b>							
PRUEBA N°	I	II	III	IV			
Recipiente N°	12	18	19				
Peso del recipiente (grs.)	18.25	18.22	18.30				
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	45.78	46.40	44.14				
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	37.18	37.74	36.29				
Peso del suelo seco (grs.)	18.9	19.5	18.0				
Peso del agua (grs.)	8.6	8.7	7.9				
Contenido de humedad (w%)	45.43	44.36	43.64				
N° de golpes	19	26	33				
<b>LIMITE PLASTICO - INV - E-126</b>							
PRUEBA N°	I	II	III	IV			
Recipiente N°	37	38					
Peso del recipiente (grs.)	8.78	7.18					
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	15.33	14.15					
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	14.21	12.90					
Peso del suelo seco (grs.)	5.4	5.7					
Peso del agua (grs.)	1.1	1.3					
Contenido de humedad (w%)	20.63	21.85					
<p style="text-align: center;"><math>y = -3.259\ln(x) + 55.014</math></p>		<p>Límite Líquido (LL) (%) <u>44.5</u></p> <p>Límite Plástico (LP)(%) <u>21.2</u></p> <p>Índice de Plasticidad (IP)(%) <u>23.28</u></p> <p>Humedad Natural (%) <u>3.18</u></p> <p>IP teórico <u>18</u></p> <p>Observaciones <u>Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro</u></p> <p>Índice de Fluidez= Fw <u>                    </u></p>					
<p>Clasific. U.S.C.S. <u>CL</u></p> <p>Clasific. AASHTO <u>A-7-6-(20)</u></p>							
ENSAYO		ELABORO					
Firma		Firma					

Figura D2

Datos del segundo ensayo del suelo cohesivo

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - SECCIONAL OCAÑA							
LABORATORIO DE SUELOS - PAVIMENTOS Y CONCRETOS							
LIMITES DE CONSISTENCIA							
Carretera	Ingeniería civil	Sondeo	1				
Descripción	Trabajo de investigación	Muestra N°	2				
Solicitante	Estudiantes	Fecha	feb-23				
<b>LIMITE LIQUIDO - INV - E-125</b>							
PRUEBA N°	I	II	III	IV			
Recipiente N°	22	24	27				
Peso del recipiente (grs.)	20.93	18.47	18.17				
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	49.72	46.47	44.46				
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	40.40	37.62	36.21				
Peso del suelo seco (grs.)	19.5	19.2	18.0				
Peso del agua (grs.)	9.3	8.9	8.3				
Contenido de humedad (w %)	47.87	46.21	45.73				
N° de golpes	16	26	32				
<b>LIMITE PLASTICO - INV - E-126</b>							
PRUEBA N°	I	II	III	IV			
Recipiente N°	39	40					
Peso del recipiente (grs.)	11.70	8.49					
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	18.68	15.58					
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	17.46	14.32					
Peso del suelo seco (grs.)	5.8	5.8					
Peso del agua (grs.)	1.2	1.3					
Contenido de humedad (w %)	21.18	21.61					
		<p>Límite Líquido (LL) (%) = 46.44</p> <p>Límite Plástico (LP)(%) = 21.4</p> <p>Índice de Plasticidad (IP)(%) = 25.04</p> <p>Humedad Natural (%) = 3.18</p> <p>IP teórico = 20</p> <p>Observaciones: Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro</p> <p>Índice de Fluidez= Fw</p> <p>Clasific. U.S.C.S = CL</p> <p>Clasific. AASHT = A-7-6-(20)</p>					
ENSAYO		ELABORO					
Firma		Firma					

Figura D3

Datos del segundo ensayo del suelo cohesivo



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER - SECCIONAL OCAÑA							
LABORATORIO DE SUELOS - PAVIMENTOS Y CONCRETOS							
LIMITE DE CONSISTENCIA							
Carretera	Ingeniería civil	Sondeo	1				
Descripción	Trabajo de investigación	Muestra N°	3				
Solicitante	Estudiantes	Fecha	feb-23				
<b>LIMITE LIQUIDO - INV - E-125</b>							
PRUEBA N°	I	II	III	IV			
Recipiente N°	55	58	86				
Peso del recipiente (grs.)	18.95	18.82	19.11				
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	47.78	45.36	44.19				
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	38.15	36.97	36.34				
Peso del suelo seco (grs.)	19.2	18.2	17.2				
Peso del agua (grs.)	9.6	8.4	7.8				
Contenido de humedad (w %)	50.16	46.23	45.56				
N° de golpes	17	27	34				
<b>LIMITE PLASTICO - INV - E-126</b>							
PRUEBA N°	I	II	III	IV			
Recipiente N°	41	42					
Peso del recipiente (grs.)	9.26	11.10					
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	16.55	18.96					
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	15.26	17.55					
Peso del suelo seco (grs.)	6.0	6.5					
Peso del agua (grs.)	1.3	1.4					
Contenido de humedad (w %)	21.50	21.86					
		<p>Límite Líquido (LL) (%)</p> <p>Límite Plástico (LP)(%)</p> <p>Índice de Plasticidad (IP)(%)</p> <p>Humedad Natural (%)</p> <p>IP teórico</p> <p>Observaciones</p> <p>Índice de Fluidez= Fw</p>					
		<p>Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro</p>					
		<p>Clasific. U.S.C.S.</p> <p>Clasific. AASHTO</p>					
		<p>CL</p> <p>A-7-6-(20)</p>					
ENSAYO		ELABORO					
Firma		Firma					

## Apéndice E

### Ensayo de Gravedad específica

Figura E1

Datos de la muestra del suelo cohesivo

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>			
Localización		Sondeo	
Descripción	GRAVEDAD ESPECIFICA SUELO COHESIVO	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	
Solicitante	Estudiantes	Fecha	Marzo-2023
Fuente		Norma	INV E-128-13

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-07**

PRUEBA N°	1	2	3
Peso del Pignómetro [W] (gr)	141.32	141.33	153.55
Peso de la tara (gr)	66.81	170.88	353.38
Peso suelo seco horno [Wo] (gr)	53.70	52.91	53.00
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	679.37	678.78	699.62
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	645.63	645.90	666.36
Volumen Pignómetro [V] (cm³)	500.0	500.0	500.0
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	21.5	21.5	21.5
Factor de corrección de temperatura [K]	0.99968	0.99968	0.99968
Gravedad Específica [g/cm³]	2.690	2.641	2.684
Gravedad Específica promedio (g/cm³)	2.67		

Aplicación:  $S_s = [W_o \cdot K] / [W_2 + W_o - W_1]$

**PESO ESPECIFICO FRACCION GRUESA I.N.V. E-223-07**

PRUEBA N°	1	2	3
Peso Muestra Ret. Tamiz N°4 Saturada Superficialmente seca (gr) [B]			
Peso seco de la Muestra Ret N°4 (gr) [A]			
Peso Muestra Saturada sumergida + Canasta(gr)			
Peso Canasta sumergida (gr)			
Peso Muestra Sumergida (gr) [C]			
Gravedad específica Fracción Gruesa			
Gravedad especif. prom. Fracción gruesa			
% De Absorción Promedio			

Aplicación:  $S_s = [A] / [A - C]$

**Ss Muestra Total=**

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978018	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.998

Factores de corrección por temperatura

<b>ENSAYO</b>	<b>REVISÓ: Ing. Romel J. Gallardo Amaya</b>
Firma	Firma

## Figura E2

### Datos de las muestras del suelo granular

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
Localización	Sondeo	
Descripción	Gravedad específica suelo granular para fracción fina y fracción gruesa	Muestra N° 1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad
Solicitante	Estudiantes	Fecha
Fuente		Norma
		INV E-222-13
		INV E-223-13

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-07**

PRUEBA N°	1	2
Peso del Pignómetro [W] (gr)	141.32	
Peso de la tara (gr)	67.35	
Peso suelo seco homo [Wo] (gr)	99.01	
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	706.28	
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	645.78	
Volumen Pignómetro [V] (cm <sup>3</sup> )	500.0	
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	21.5	
Factor de corrección de temperatura [K]	0.99968	
Gravedad Específica [g/cm <sup>3</sup> ]	2.57	
Gravedad Específ. Prom. Fracción fina (g/cm <sup>3</sup> )	2.57	

Aplicación:  $S_s = [W_o \cdot K] / [W_2 + W_o - W_1]$

**PESO ESPECIFICO FRACCION GRUESA I.N.V. E-223-07**

PRUEBA N°	1	2	3	4
Peso Muestra Ret. Tamiz N°4 Saturada Superficialmente seca (gr) [B]	2445.26	2035.7	1845.7	1589.93
Peso seco de la Muestra Ret N°4 (gr) [A]	2412.24	2000.94	1815.40	1562.08
Peso Muestra Saturada sumergida + Canasta(gr)	1978.00	1665.00	1545.00	1398.5
Peso Canasta sumergida (gr)	470.8	470.8	470.8	470.8
Peso Muestra Sumergida (gr) [C]	1507.23	1194.23	1074.23	927.73
% de la muestra	30.79	25.68	23.36	20.17
Gravedad específica Fracción Gruesa	2.57	2.38	2.35	2.36
Gravedad especif. prom. Fracción gruesa	2.428			
% De Absorción Promedio				

Gravedad Específica promedio (g/cm <sup>3</sup> )	2.44
---------------------------------------------------	------

Aplicación:  $S_s = [A] / [A - C]$

<b>Ss Muestra Total=</b>
--------------------------

**OBSERVACIONES**

---



---



---



---

Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978018	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.998

Factores de corrección por temperatura

<b>ENSAYO</b>	<b>REVISÓ: Ing. Romel J. Gallardo Amaya</b>
Firma	Firma

## Apéndice F

### Ensayo de Proctor Modificado

Figura F1

Datos de la muestra ensayo 1 del suelo cohesivo

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA		GIGMA	
ENSAYO DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO (MODIFICADO)			
Localización	UFPSO	Sondeo N°	-
Descripción	Ensayo de proctor modificado 1, suelo cohesivo	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	-
Solicitante	-	Fecha	feb-23

PRUEBA N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	12.00	16.00	20.00	24.00
Humedad Natural de la muestra (%)	3.18	3.18	3.18	3.18
Humedad adicional %	8.82	12.82	16.82	20.82
Peso de la muestra húmeda (grs.)	2000.0	2000.0	2000.0	2000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	1938.4	1938.4	1938.4	1938.4
Agua adicional (c.c)	171.0	248.5	326.0	403.6
Molde N°	1	1	1	1
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs)	6023.0	6129.0	6133.0	6095.0
Peso del molde (grs.)	4233	4233	4233.0	4233
Peso de la muestra húmeda (grs.)	1790.0	1896.0	1900.0	1862.0
% humedad (horno)	12.65	16.95	20.54	25.39
Peso de la muestra seca (grs.)	1589.0	1621.2	1576.2	1485.0
Peso de la muestra seca (lbs.)	3.50	3.57	3.47	3.27
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	943	943	943.00	943
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.685	1.719	1.672	1.575

HUMEDAD DE COMPACTACION				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	140.53	156.4	135.33	157.03
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	128.26	138.51	117.98	132.24
Peso del recipiente (grs.)	31.25	32.95	33.51	34.60
Peso del suelo seco (grs.)	97.01	105.56	84.47	97.64
Peso del agua (grs.)	12.27	17.89	17.35	24.79
Contenido de humedad (w%)	12.65	16.95	20.54	25.39

**CLASIFICACION**

A.A.S.H.O. A-7-6 (20)

U.S.C.S. CL

Indice de grupo 20

---

Densidad máxima 1.70

Humedad óptima 16.09

---



Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro

REALIZÓ Estudiantes	REVISÓ Ing. Romel J. Gallardo
---------------------	-------------------------------

Figura F2

Datos de la muestra ensayo 2 del suelo cohesivo

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
<b>ENSAYO DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO (MODIFICADO)</b>			
Localización	UFPSO	Sondeo N°	-
Descripción	Ensayo de proctor modificado 2, suelo cohesivo	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	-
Solicitante	-	Fecha	feb-23

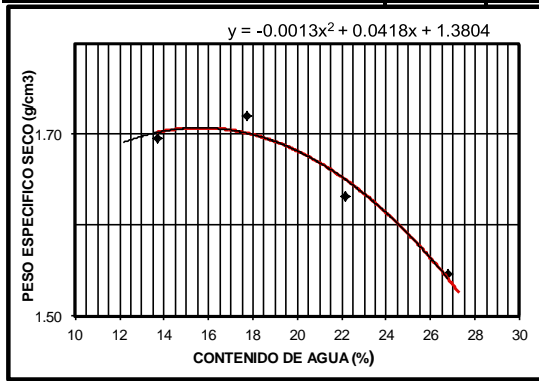
  

PRUEBA N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	17.00	21.00	13	25.00
Humedad Natural de la muestra (%)	3.18	3.18	3.18	3.18
Humedad adicional %	13.82	17.82	9.82	21.82
Peso de la muestra húmeda (grs.)	2000.0	2000.0	2000.0	2000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	1938.4	1938.4	1938.4	1938.4
Agua adicional (c.c)	267.9	345.4	190.3	423.0
Molde N°	1	1	1	1
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs)	6144.0	6113.0	6050.0	6082.0
Peso del molde (grs.)	4233	4233.0	4233	4233
Peso de la muestra húmeda (grs.)	1911.0	1880.0	1817.0	1849.0
% humedad (horno)	17.75	22.13	13.68	26.80
Peso de la muestra seca (grs.)	1622.9	1539.3	1598.4	1458.2
Peso de la muestra seca (lbs.)	3.57	3.39	3.52	3.21
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	943	943.00	943	943
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.721	1.632	1.695	1.546

HUMEDAD DE COMPACTACION				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	150.79	160.24	163.62	141.04
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	133.34	139.95	147.90	118.00
Peso del recipiente (grs.)	35.05	48.28	32.95	32.04
Peso del suelo seco (grs.)	98.29	91.67	114.95	85.96
Peso del agua (grs.)	17.45	20.29	15.72	23.04
Contenido de humedad (w%)	17.75	22.13	13.68	26.80



**CLASIFICACION**

A.A.S.H.O. A-7-6 (20)

U.S.C.S. CL

Indice de grupo 20

Densidad máxima 1.74

Humedad óptima 16.08

**OBSERVACIONES**

Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro



  

REALIZÓ	Estudiantes	REVISÓ	Ing. Romel J. Gallardo
---------	-------------	--------	------------------------



Figura F3

Datos de la muestra ensayo 3 del suelo cohesivo

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
<b>ENSAYO DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO (MODIFICADO)</b>			
Localización	UFPSO	Sondeo N°	-
Descripción	Ensayo de proctor modificado 3, suelo cohesivo	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	-
Solicitante	-	Fecha	feb-23

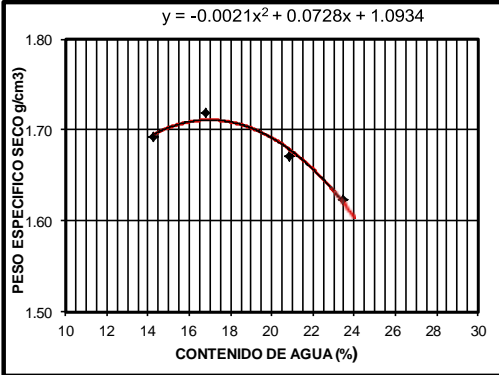
  

PRUEBA N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	14.00	17.00	20.00	23.00
Humedad Natural de la muestra (%)	3.18	3.18	3.18	3.18
Humedad adicional %	10.82	13.82	16.82	19.82
Peso de la muestra húmeda (grs.)	2000.0	2000.0	2000.0	2000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	1938.4	1938.4	1938.4	1938.4
Agua adicional (c.c)	209.7	267.9	326.0	384.2
Molde N°	1	1	1	1
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs)	6056.0	6125.0	6138.0	6123.0
Peso del molde (grs.)	4233	4233.0	4233	4233
Peso de la muestra húmeda (grs.)	1823.0	1892.0	1905.0	1890.0
% humedad (horno)	14.27	16.76	20.85	23.50
Peso de la muestra seca (grs.)	1595.4	1620.4	1576.3	1530.4
Peso de la muestra seca (lbs.)	3.51	3.57	3.47	3.37
Volumen del molde (cm³)	943	943.00	943	943
Densidad de la muestra seca (gr/cm³)	1.692	1.718	1.672	1.623

HUMEDAD DE COMPACTACION				
RECIPIENTE N°	6	3	5	
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	162.56	162.85	145.42	160.65
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	146.63	144.07	126.12	136.70
Peso del recipiente (grs.)	34.96	32.04	33.55	34.78
Peso del suelo seco (grs.)	111.67	112.03	92.57	101.92
Peso del agua (grs.)	15.93	18.78	19.30	23.95
Contenido de humedad (w%)	14.27	16.76	20.85	23.50



**CLASIFICACION**

A.A.S.H.O. A-7-6 (20)

U.S.C.S. CL

Indice de grupo 20

Densidad máxima 1.72

Humedad óptima 17.33

**OBSERVACIONES**

Arcilla ligera arenosa con  
baja plasticidad color  
marrón claro

REALIZÓ	Estudiantes	REVISÓ	Ing. Romel J. Gallardo
---------	-------------	--------	------------------------

**Figura F4**

*Resumen de datos de los tres ensayos y promedio de humedad óptima y densidad seca máxima del suelo cohesivo*

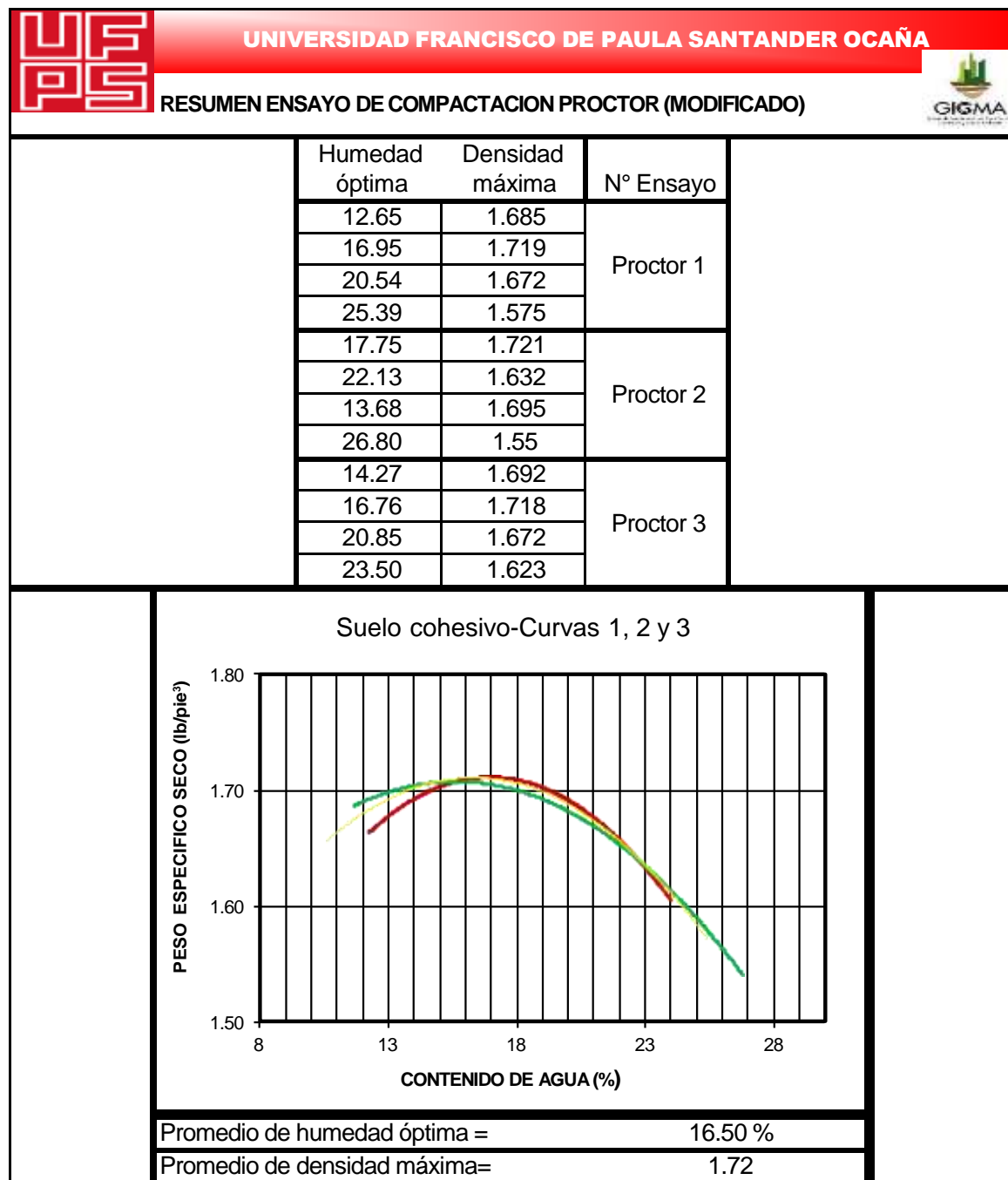


Figura F5

Datos de la muestra ensayo 1 del suelo granular

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA		GIGMA	
ENSAYO DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO (MODIFICADO)			
Localización	UFPSO	Sondeo N°	-
Descripción	Proctor suelo granular, ensayo 1	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	-
Solicitante	-	Fecha	mar-23

PRUEBA N°	1	2	3	4
N° de golpes	56	56	56	
Humedad deseada (%)	5.00	9.00	13.00	
Humedad Natural de la muestra (%)	1.04	1.04	1.04	
Humedad adicional %	3.96	7.96	11.96	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	5938.2	5938.2	5938.2	
Agua adicional (c.c)	235.2	472.7	710.2	
Molde N°	3	3	3	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs)	10743.0	10941.0	10815.0	
Peso del molde (grs.)	5967	5967.0	5967	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4776.0	4974.0	4848.0	
% humedad (horno)	5.12	8.65	12.09	
Peso de la muestra seca (grs.)	4543.5	4577.9	4325.0	
Peso de la muestra seca (lbs.)	10.01	10.08	9.53	
Volumen del molde (cm³)	2124	2124	2124	
Densidad de la muestra seca (gr/cm³)	2.139	2.155	2.036	

HUMEDAD DE COMPACTACION			
RECIPIENTE N°	6	3	5
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	139.09	132.52	166.43
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	134.02	124.55	152.34
Peso del recipiente (grs.)	34.96	32.44	35.81
Peso del suelo seco (grs.)	99.06	92.11	116.53
Peso del agua (grs.)	5.07	7.97	14.09
Contenido de humedad (w%)	5.12	8.65	12.09

$y = -0.0056x^2 + 0.082x + 1.8667$

**CLASIFICACION**

A.A.S.H.O. \_\_\_\_\_

U.S.C.S. \_\_\_\_\_

Indice de grupo \_\_\_\_\_

Densidad máxima 2.17

Humedad óptima 7.32 %

**OBSERVACIONES**

Base tipo BG-27 (Art. 330  
"Especificaciones generales de  
construcción de carreteras 2022" del  
Instituto Nacional De Vías.)

REALIZÓ <u>Estudiantes</u>	REVISÓ <u>Ing. Romel J. Gallardo</u>
----------------------------	--------------------------------------

Figura F6

Datos de la muestra ensayo 2 del suelo granular

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA		GIGMA	
ENSAYO DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO (MODIFICADO)			
Localización	UFPSO	Sondeo N°	-
Descripción	Proctor suelo granular, ensayo 2	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	-
Solicitante	-	Fecha	mar-23

PRUEBA N°	1	2	3	4
N° de golpes	56	56	56	
Humedad deseada (%)	4.00	7.00	11.00	
Humedad Natural de la muestra (%)	1.04	1.04	1.04	
Humedad adicional %	2.96	5.96	9.96	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	5938.2	5938.2	5938.2	
Agua adicional (c.c)	175.8	353.9	591.4	
Molde N°	3	3	3	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs)	10574.0	10965.0	10810.0	
Peso del molde (grs.)	5967	5967.0	5967	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4607.0	4998.0	4843.0	
% humedad (horno)	3.62	6.50	11.24	
Peso de la muestra seca (grs.)	4446.2	4693.0	4353.5	
Peso de la muestra seca (lbs.)	9.79	10.34	9.59	
Volumen del molde (cm³)	2124	2124	2124	
Densidad de la muestra seca (gr/cm³)	2.093	2.210	2.050	

HUMEDAD DE COMPACTACION			
RECIPIENTE N°	6	3	5
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	166.05	193.52	194.15
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	161.57	183.70	178.68
Peso del recipiente (grs.)	37.67	32.60	41.10
Peso del suelo seco (grs.)	123.90	151.10	137.58
Peso del agua (grs.)	4.48	9.82	15.47
Contenido de humedad (w%)	3.62	6.50	11.24

$y = -0.0097x^2 + 0.1384x + 1.7197$

**CLASIFICACION**

A.A.S.H.O. \_\_\_\_\_

U.S.C.S. \_\_\_\_\_

Indice de grupo \_\_\_\_\_

Densidad máxima 2.21

Humedad óptima 7.13 %

**OBSERVACIONES**



Base tipo BG-27 (Art. 330  
"Especificaciones generales de  
construcción de carreteras 2022" del  
Instituto Nacional De Vías.)

REALIZÓ Estudiantes _____	REVISÓ Ing. Romel J. Gallardo _____
---------------------------	-------------------------------------

Figura F7

Datos de la muestra ensayo 3 del suelo granular

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
<b>ENSAYO DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO (MODIFICADO)</b>			
Localización	UFPSO	Sondeo N°	-
Descripción	Proctor suelo granular, ensayo 3	Muestra N°	1
Obra	Trabajo de investigación	Profundidad	-
Solicitante	-	Fecha	mar-23

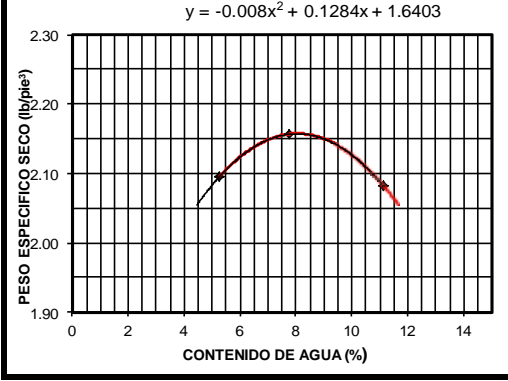
PRUEBA N°	1	2	3	4
Nº de golpes	25	25	25	
Humedad deseada (%)	5.00	8.00	11.00	
Humedad Natural de la muestra (%)	1.04	1.04	1.04	
Humedad adicional %	3.96	6.96	9.96	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	5938.2	5938.2	5938.2	
Agua adicional (c.c)	235.2	413.3	591.4	
Molde N°	3	3	3	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs)	10649.0	10904.0	10880.0	
Peso del molde (grs.)	5967	5967.0	5967	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4682.0	4937.0	4913.0	
% humedad (horno)	5.25	7.78	11.13	
Peso de la muestra seca (grs.)	4448.6	4580.5	4420.9	
Peso de la muestra seca (lbs.)	9.80	10.09	9.74	
Volumen del molde (cm³)	2124	2124	2124	
Densidad de la muestra seca (gr/cm³)	2.094	2.157	2.081	

HUMEDAD DE COMPACTACION				
RECIPIENTE N°	6	3	5	
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.)	200.34	200.25	216.38	
Peso recipiente+suelo seco (grs.)	192.34	188.56	197.85	
Peso del recipiente (grs.)	39.88	38.38	31.38	
Peso del suelo seco (grs.)	152.46	150.18	166.47	
Peso del agua (grs.)	8.00	11.69	18.53	
Contenido de humedad (w%)	5.25	7.78	11.13	

$y = -0.008x^2 + 0.1284x + 1.6403$



**CLASIFICACION**

A.A.S.H.O. \_\_\_\_\_

U.S.C.S. \_\_\_\_\_

Indice de grupo \_\_\_\_\_

Densidad máxima 2.16

Humedad óptima 8.03 %

**OBSERVACIONES**

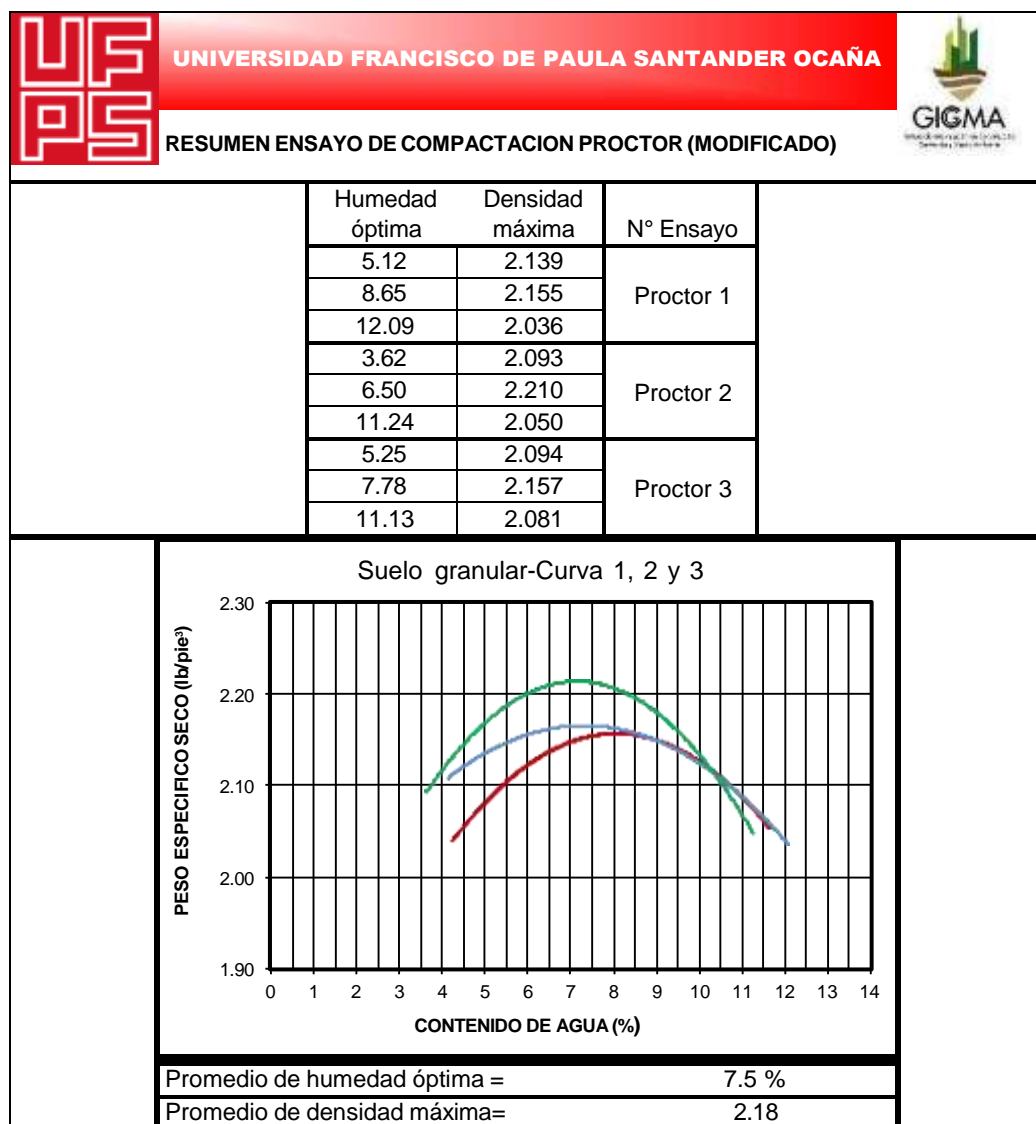
Base tipo BG-27 (Art. 330  
"Especificaciones generales de  
construcción de carreteras 2022" del  
Instituto Nacional De Vías.)

<b>REALIZÓ</b> Estudiantes _____	<b>REVISÓ</b> Ing. Romel J. Gallardo _____
----------------------------------	--------------------------------------------

**Figura F8**

*Resumen de datos de los tres ensayos y promedio de humedad óptima y densidad seca máxima del suelo granular*



## Apéndice G

### Ensayos de CBR

Figura G1

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a humedad óptima del suelo cohesivo, repetición 1

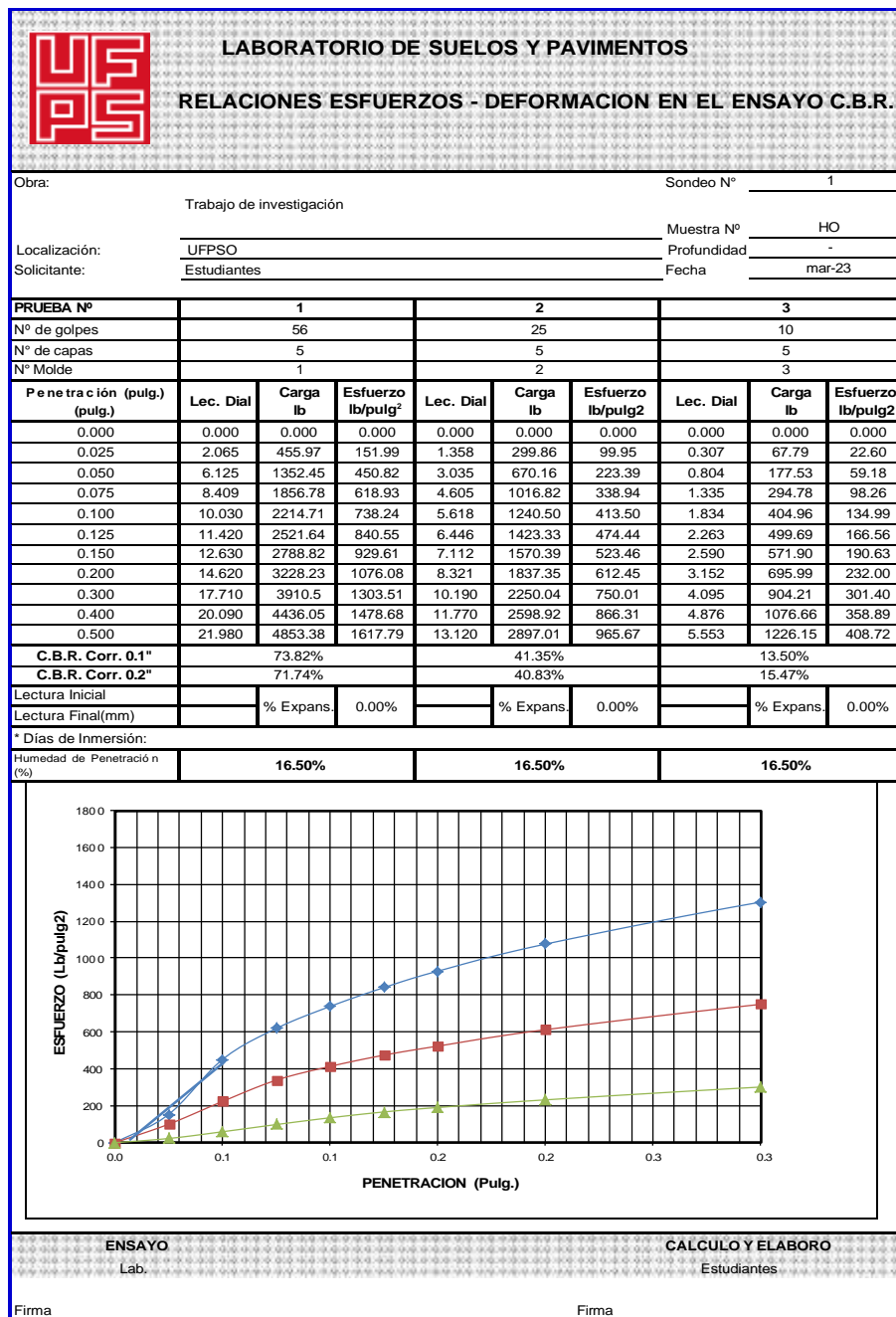


Figura G2

Datos de la muestra compacta a humedad óptima del suelo cohesivo, repetición 1

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS												
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO														
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1											
Localización:	UFPSO	Muestra N°	HO											
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-											
		Fecha	mar-23											
MUESTRAS PARA C.B.R.														
PRUEBA N°	1	2	3											
N° de golpes	56	25	10											
N° de capas	5	5	5											
Humedad deseada (%)	16.50	16.50	16.50											
Humedad Natural de la muestra (%)	3.06	3.06	3.06											
Humedad adicional %	13.44	13.44	13.44											
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0											
Peso de la muestra seca (grs.)	4851.5	4851.5	4851.5											
Agua adicional (c.c)	652.05	652.05	652.05											
Molde N°	4	15	16											
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8459.0	8269.0	7721.0											
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0											
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4661.0	4301.0	3746.0											
% humedad (horno)	17.36	16.20	17.22											
Peso de la muestra seca (grs.)	3971.4	3701.5	3195.8											
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54											
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.723	1.649	1.435											
CONTENIDO DE HUMEDAD														
Molde N°	9	10	2											
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	191.83	192.04	193.80											
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	169.35	171.79	170.15											
Peso del recipiente (grs.) (P3)	39.89	46.77	32.79											
Peso del suelo seco (grs.)	129.46	125.02	137.36											
Peso del agua (grs.)	22.48	20.25	23.65											
Contenido de humedad (w %)	17.36	16.20	17.22											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.B.R. 0.1</th> <th>C.B.R. 0.2</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>73.82</td> <td>71.74</td> <td>73.82</td> </tr> <tr> <td>41.35</td> <td>40.83</td> <td>41.35</td> </tr> <tr> <td>13.50</td> <td>15.47</td> <td>15.47</td> </tr> </tbody> </table>	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max	73.82	71.74	73.82	41.35	40.83	41.35	13.50	15.47	15.47
C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max												
73.82	71.74	73.82												
41.35	40.83	41.35												
13.50	15.47	15.47												
		<p>Límite Líquido <b>46.08%</b></p> <p>Índice Plasticidad <b>24.65%</b></p> <p>Clasificación <b>AASHTO A-7-6 (20)</b></p> <p><b>USCS CL</b></p> <p>Densidad máxima <b>1.72</b></p> <p>Humedad óptima <b>16.5%</b></p> <p>CBR 95 <b>38%</b></p> <p>Observaciones _____</p>												
<p>ENSAYO</p> <p>Lab. _____</p>		<p>CALCULO Y ELABORO</p> <p>Estudiantes _____</p>												
Firma _____		Firma _____												



Figura G3

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a humedad óptima del suelo cohesivo, repetición 2

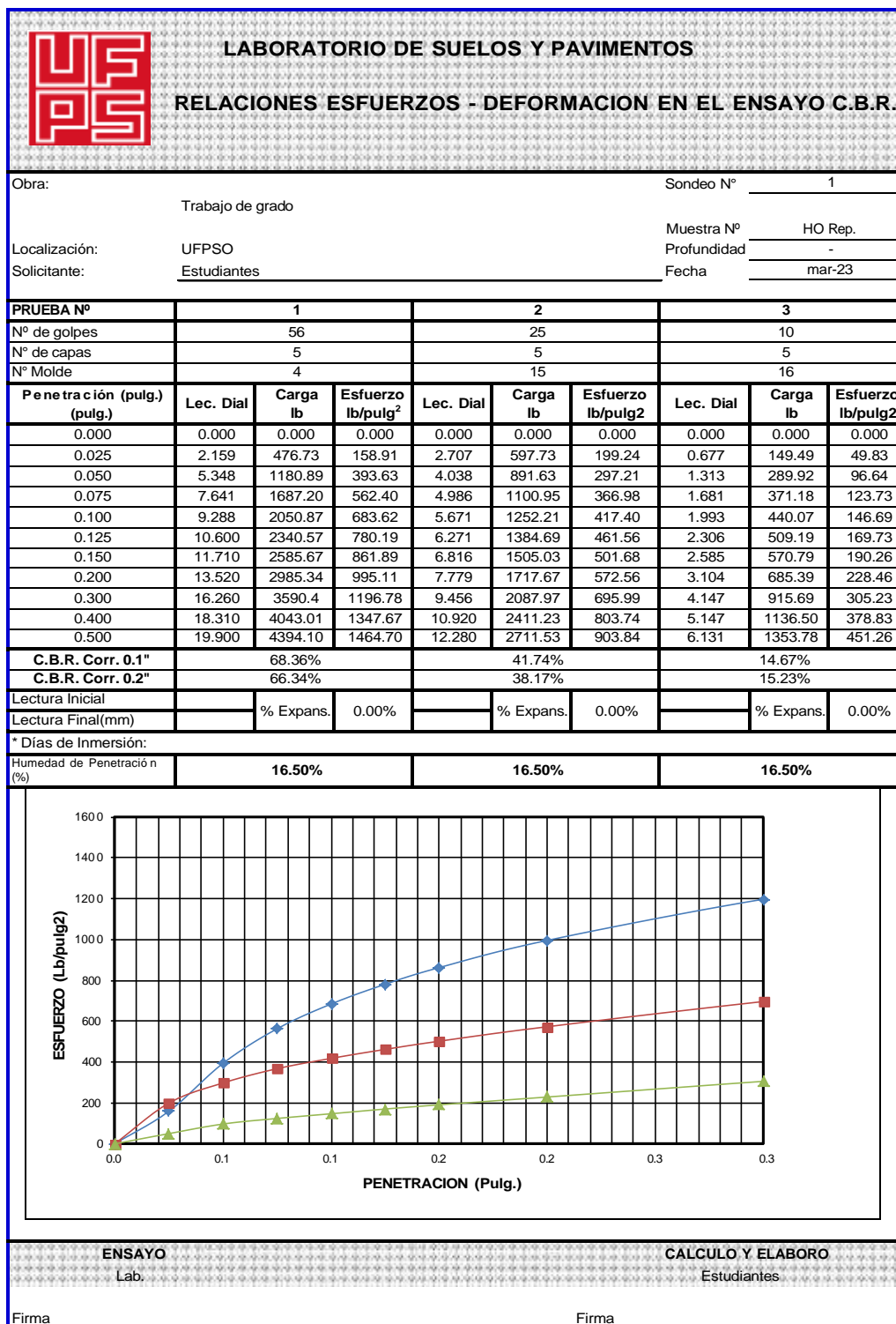


Figura G4

Datos de la muestra compacta a humedad óptima del suelo cohesivo, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS																
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO																		
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1															
Localización:	UFPSO	Muestra N°	HO Rep.															
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-															
		Fecha	mar-23															
MUESTRAS PARA C.B.R.																		
PRUEBA N°	1	2	3															
N° de golpes	56	25	10															
N° de capas	5	5	5															
Humedad deseada (%)	16.50	16.50	16.50															
Humedad Natural de la muestra (%)	3.06	3.06	3.06															
Humedad adicional %	13.44	13.44	13.44															
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0															
Peso de la muestra seca (grs.)	4851.5	4851.5	4851.5															
Agua adicional (c.c)	652.05	652.05	652.05															
Molde N°	4	15	16															
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8367.0	8117.0	7813.0															
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0															
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4569.0	4149.0	3838.0															
% humedad (homo)	17.08	16.79	17.49															
Peso de la muestra seca (grs.)	3902.3	3552.6	3266.6															
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54															
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.693	1.635	1.467															
CONTENIDO DE HUMEDAD																		
Molde N°	9	10	2															
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	198.84	193.72	198.48															
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	174.38	170.32	174.54															
Peso del recipiente (grs.) (P3)	31.20	30.93	37.67															
Peso del suelo seco (grs.)	143.18	139.39	136.87															
Peso del agua (grs.)	24.46	23.40	23.94															
Contenido de humedad (w %)	17.08	16.79	17.49															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.B.R. 0.1</th> <th>C.B.R. 0.2</th> <th>C.B.R. 0.1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75.00</td> <td>68.00</td> <td>75.00</td> </tr> <tr> <td>41.74</td> <td>38.17</td> <td>41.74</td> </tr> <tr> <td>14.67</td> <td>15.23</td> <td>15.23</td> </tr> </tbody> </table>	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	C.B.R. 0.1	75.00	68.00	75.00	41.74	38.17	41.74	14.67	15.23	15.23				
C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	C.B.R. 0.1																
75.00	68.00	75.00																
41.74	38.17	41.74																
14.67	15.23	15.23																
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Límite Líquido</td> <td>46.08%</td> </tr> <tr> <td>Índice Plasticidad</td> <td>24.65%</td> </tr> <tr> <td>Clasificación AASHTO</td> <td>A-7-6 (20)</td> </tr> <tr> <td>USCS</td> <td>CL</td> </tr> <tr> <td>Densidad máxima</td> <td>1.72</td> </tr> <tr> <td>Humedad óptima</td> <td>16.5%</td> </tr> <tr> <td>CBR 95%</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Límite Líquido	46.08%	Índice Plasticidad	24.65%	Clasificación AASHTO	A-7-6 (20)	USCS	CL	Densidad máxima	1.72	Humedad óptima	16.5%	CBR 95%	40%	Observaciones	
Límite Líquido	46.08%																	
Índice Plasticidad	24.65%																	
Clasificación AASHTO	A-7-6 (20)																	
USCS	CL																	
Densidad máxima	1.72																	
Humedad óptima	16.5%																	
CBR 95%	40%																	
Observaciones																		
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO																	
Lab.	Estudiantes																	
Firma	Firma																	

Figura G5

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-6% del suelo cohesivo, repetición 1

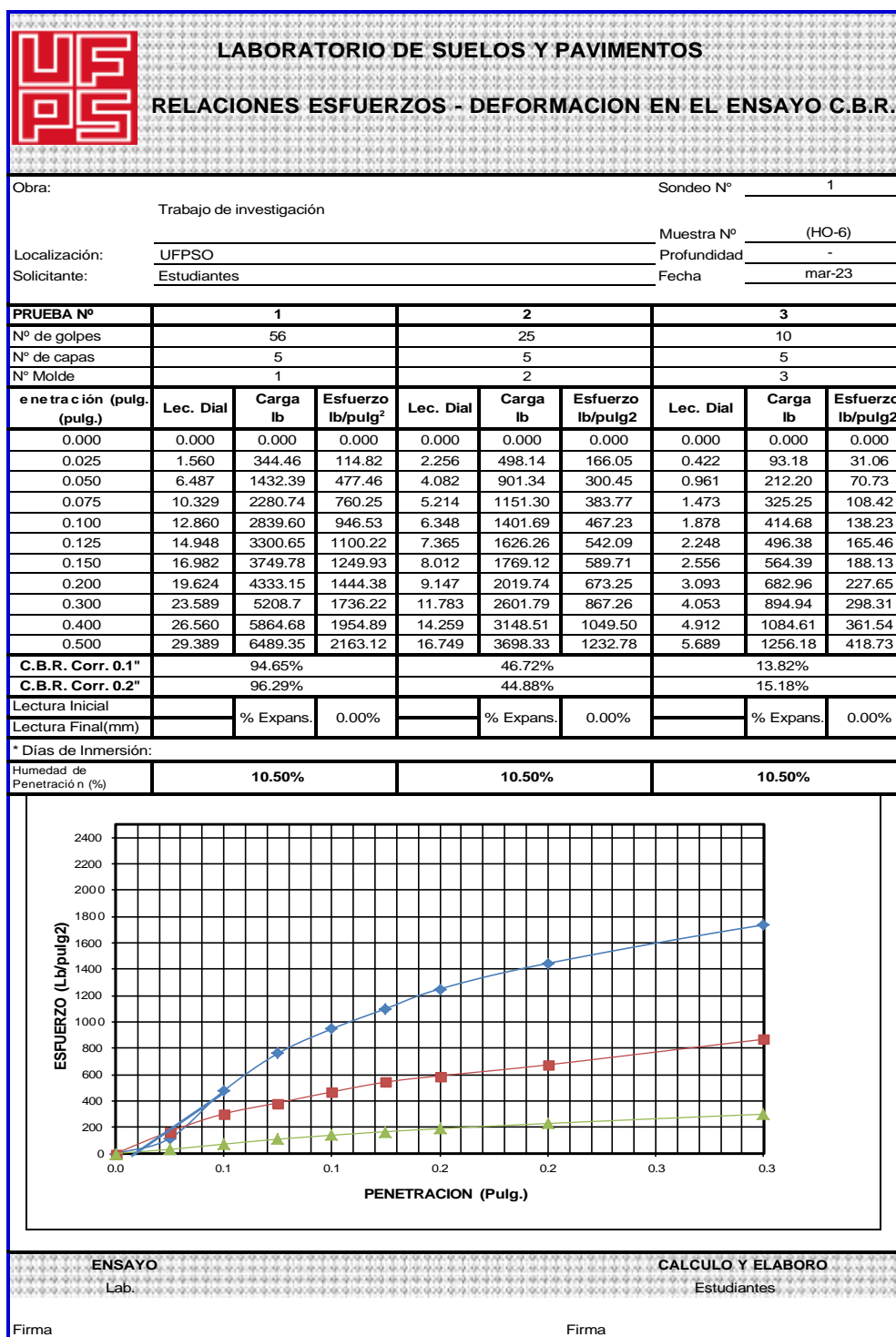


Figura G6

Datos de la muestra compacta a HO-6% del suelo cohesivo, repetición 1

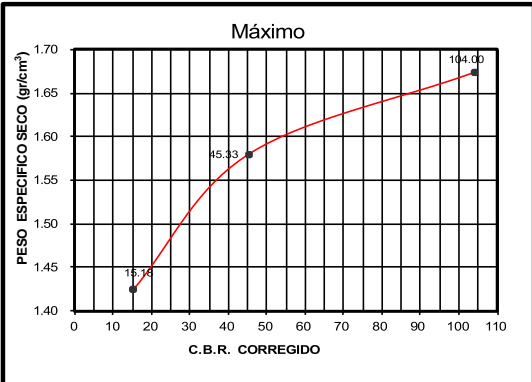
UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO				
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1	
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-6)	
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-	
		Fecha	mar-23	
MUESTRAS PARA C.B.R.				
PRUEBA N°	1	2	3	
N° de golpes	56	25	10	
N° de capas	5	5	5	
Humedad deseada (%)	10.50	10.50	10.50	
Humedad Natural de la muestra (%)	3.10	3.10	3.10	
Humedad adicional %	7.40	7.40	7.40	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	4849.7	4849.7	4849.7	
Agua adicional (c.c)	358.87	358.87	358.87	
Molde N°	4	15	16	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8076.0	7805.0	7496.0	
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4278.0	3837.0	3521.0	
% humedad (homo)	10.91	10.79	11.06	
Peso de la muestra seca (grs.)	3857.1	3463.2	3170.4	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54	
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.674	1.580	1.424	
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Molde N°	9	10	2	
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	198.48	162.50	173.53	
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	182.75	150.41	159.50	
Peso del recipiente (grs.) (P3)	38.59	38.40	32.63	
Peso del suelo seco (grs.)	144.16	112.01	126.87	
Peso del agua (grs.)	15.73	12.09	14.03	
Contenido de humedad (w %)	10.91	10.79	11.06	
				
		<b>C.B.R. 0.1</b>	<b>C.B.R. 0.2</b>	<b>Max</b>
		104.00	100.67	104.00
		45.00	45.33	45.33
		13.82	15.18	15.18
<b>Límite Líquido</b>		<b>46.08%</b>		
<b>Índice Plasticidad</b>		<b>24.65%</b>		
<b>Clasificación AASHTO</b>		<b>A-7-6 (20)</b>		
<b>USCS</b>		<b>CL</b>		
<b>Densidad máxima</b>		<b>1.72</b>		
<b>Humedad óptima</b>		<b>16.5%</b>		
<b>CBR 95%</b>		<b>72%</b>		
<b>Observaciones</b>				
<b>ENSAYO</b>		<b>CALCULO Y ELABORO</b>		
Lab. Estudiantes		Estudiantes		
Firma		Firma		

Figura G7

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-6% del suelo cohesivo, repetición 2


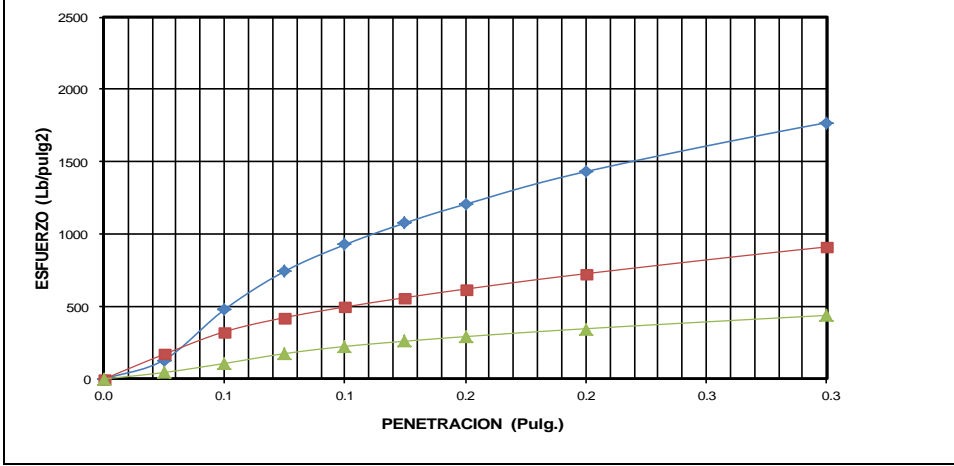
 <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>RELACIONES ESFUERZOS - DEFORMACION EN EL ENSAYO C.B.R.</b>									
Obra: Trabajo de investigación					Sondeo N° 1				
Localización: UFPSO					Muestra N° (HO-6) Rep.				
Solicitante: Estudiantes					Profundidad -				
					Fecha mar-23				
PRUEBA N°	1			2			3		
N° de golpes	56			25			10		
N° de capas	5			5			5		
N° Molde	1			2			3		
Penetración (pulg.)	Lec. Dial	Carga lb	Esfuerzo lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial	Carga lb	Esfuerzo lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial	Carga lb	Esfuerzo lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.025	1.782	393.48	131.16	2.321	512.50	170.83	0.607	134.03	44.68
0.050	6.52	1439.67	479.89	4.429	977.96	325.99	1.456	321.50	107.17
0.075	10.110	2232.38	744.13	5.755	1270.76	423.59	2.382	525.97	175.32
0.100	12.610	2784.40	928.13	6.750	1490.46	496.82	3.052	673.91	224.64
0.125	14.650	3234.85	1078.28	7.625	1683.67	561.22	3.545	782.77	260.92
0.150	16.400	3621.27	1207.09	8.424	1860.09	620.03	3.974	877.49	292.50
0.200	19.470	4299.15	1433.05	9.871	2179.60	726.53	4.720	1042.22	347.41
0.300	24.070	5314.9	1771.62	12.380	2733.61	911.20	5.970	1318.23	439.41
0.400	27.820	6142.90	2047.63	14.490	3199.52	1066.51	7.066	1560.24	520.08
0.500	30.900	6823.00	2274.33	16.430	3627.89	1209.30	8.053	1778.17	592.72
C.B.R. Corr. 0.1"	92.81%			49.68%			22.46%		
C.B.R. Corr. 0.2"	95.54%			48.44%			23.16%		
Lectura Inicial									
Lectura Final(mm)	% Expans. 0.00%			% Expans. 0.00%			% Expans. 0.00%		
* Dias de Inmersión:									
Humedad de Penetración (%)	10.50%			10.50%			10.50%		
									
ENSAYO					CALCULO Y ELABORO				
Lab.					Estudiantes				
Firma					Firma				

Figura G8

Datos de la muestra compacta a HO-6% del suelo cohesivo, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-6) Rep.
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	mar-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	10.50	10.50	10.50
Humedad Natural de la muestra (%)	3.10	3.10	3.10
Humedad adicional %	7.40	7.40	7.40
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	4849.7	4849.7	4849.7
Agua adicional (c.c)	358.87	358.87	358.87
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8168.0	7942.0	7624.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4370.0	3974.0	3649.0
% humedad (horno)	12.56	10.26	10.51
Peso de la muestra seca (grs.)	3882.4	3604.1	3302.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.685	1.606	1.483
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	183.08	157.14	194.48
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	166.01	145.47	179.84
Peso del recipiente (grs.) (P3)	30.10	31.76	40.54
Peso del suelo seco (grs.)	135.91	113.71	139.30
Peso del agua (grs.)	17.07	11.67	14.64
Contenido de humedad (w %)	12.56	10.26	10.51
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	C.B.R. 0.1
	92.81	95.54	95.54
	49.68	48.44	49.68
	22.46	23.16	23.16
Límite Líquido	46.08%		
Índice Plasticidad	24.65%		
Clasificación	AASHTO	A-7-6 (20)	
	USCS	CL	
Densidad máxima	1.72		
Humedad óptima	16.5%		
CBR 95%	60%		
Observaciones			
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO		
Lab.	Estudiantes		
Firma	Firma		

Figura G9

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-3% del suelo cohesivo, repetición 1

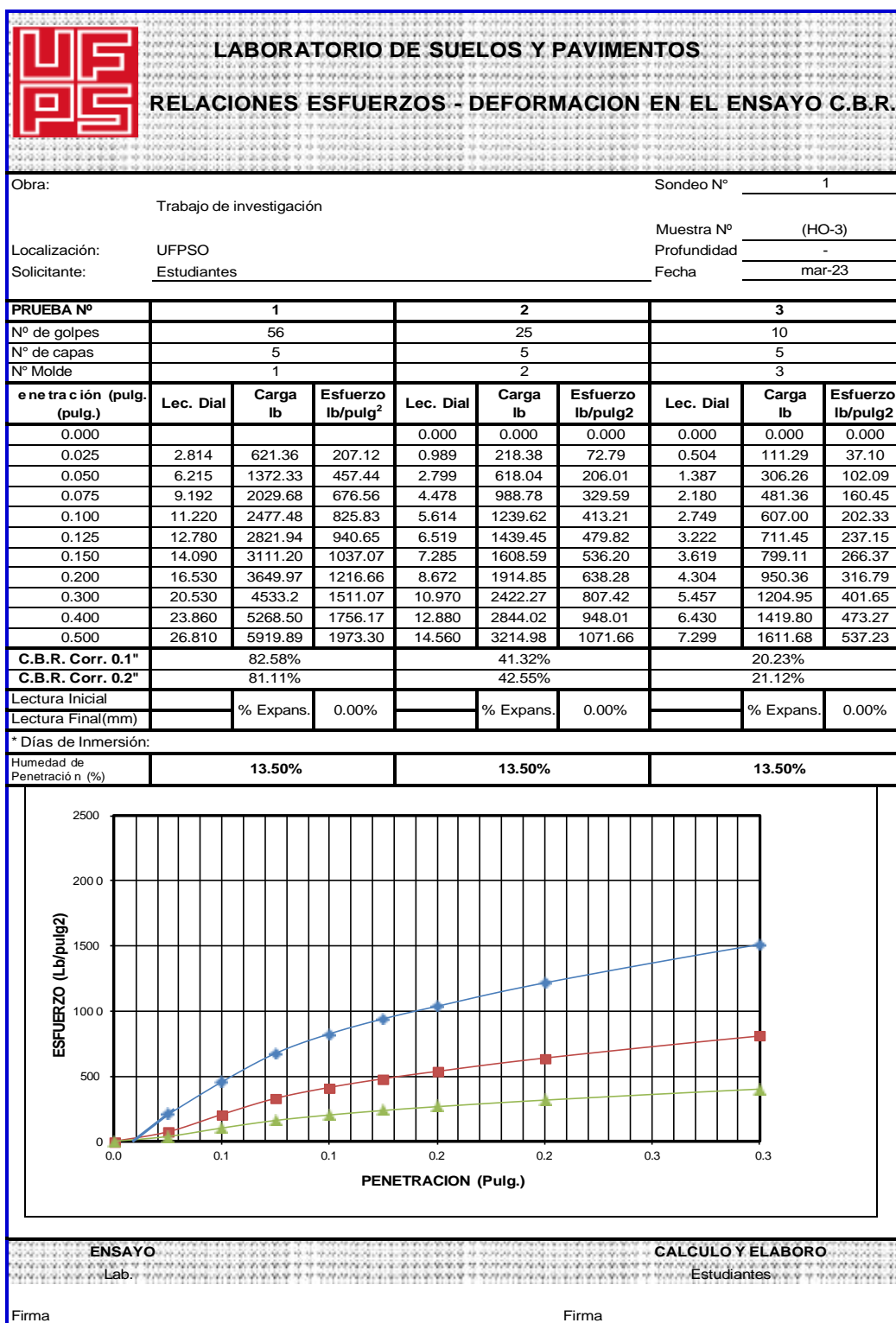


Figura G10

Datos de la muestra compacta a HO-3% del suelo cohesivo, repetición 1

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO	
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1
		Muestra N°	(HO-3)
Localización:	UFPSO	Profundidad	-
Solicitante:	Estudiantes	Fecha	mar-23
<b>MUESTRAS PARA C.B.R.</b>			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	13.50	13.50	13.50
Humedad Natural de la muestra (%)	3.10	3.10	3.10
Humedad adicional %	10.40	10.40	10.40
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	4849.7	4849.7	4849.7
Agua adicional (c.c)	504.36	504.36	504.36
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra húmeda y molde (grs.)	8196.0	8073.0	7647.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4398.0	4105.0	3672.0
% humedad (horno)	12.99	13.27	13.39
Peso de la muestra seca (grs.)	3892.5	3624.2	3238.3
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.689	1.615	1.454
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	195.92	186.62	181.73
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	177.43	169.43	163.82
Peso del recipiente (grs.) (P3)	35.06	39.85	30.10
Peso del suelo seco (grs.)	142.37	129.58	133.72
Peso del agua (grs.)	18.49	17.19	17.91
Contenido de humedad (w %)	12.99	13.27	13.39
<b>Máximo</b>			
<b>C.B.R. 0.1</b>	<b>C.B.R. 0.2</b>	<b>Max</b>	
82.58	81.11	82.58	
41.32	42.55	42.55	
20.23	21.12	21.12	
<b>Límite Líquido</b>			<b>46.08%</b>
<b>Índice Plasticidad</b>			<b>24.65%</b>
<b>Clasificación</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-7-6 (20)</b>	
	<b>USCS</b>	<b>CL</b>	
<b>Densidad máxima</b>			<b>1.72</b>
<b>Humedad óptima</b>			<b>16.5%</b>
<b>CBR 95%</b>			<b>46%</b>
<b>Observaciones</b>			
<b>ENSAYO</b>		<b>CÁLCULO Y ELABORO</b>	
Lab.		Estudiantes	
Firma		Firma	



Figura G11

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-3% del suelo cohesivo, repetición 2

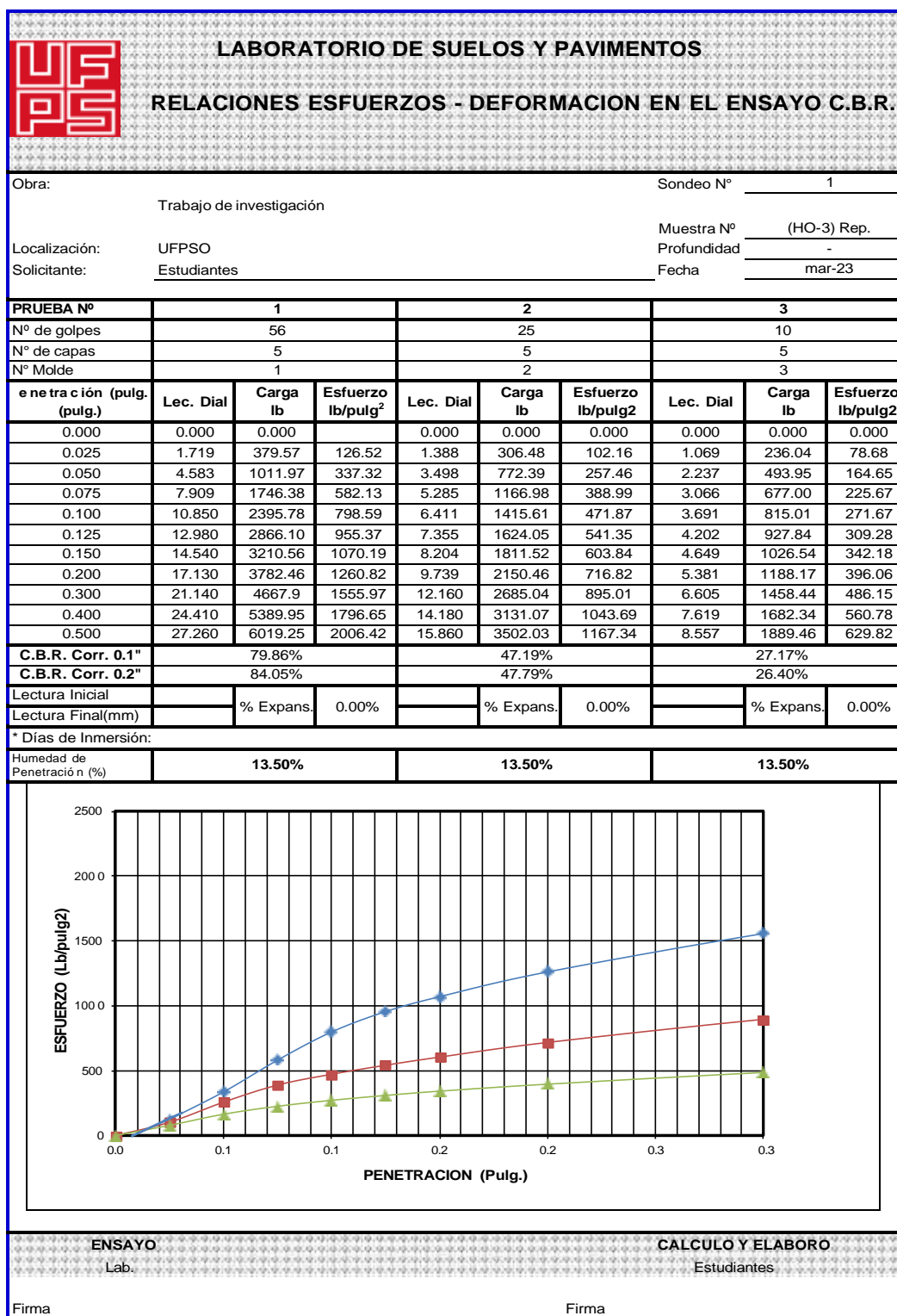


Figura G12

Datos de la muestra compacta a HO-3% del suelo cohesivo, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS														
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO																
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1													
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-3) Rep.													
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-													
		Fecha	mar-23													
MUESTRAS PARA C.B.R.																
PRUEBA N°	1	2	3													
N° de golpes	56	25	10													
N° de capas	5	5	5													
Humedad deseada (%)	13.50	13.50	13.50													
Humedad Natural de la muestra (%)	3.10	10.84	10.84													
Humedad adicional %	10.40	2.66	2.66													
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0													
Peso de la muestra seca (grs.)	4849.7	4511.0	4511.0													
Agua adicional (c.c)	504.36	119.99	119.99													
Molde N°	4	15	16													
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8217.0	8157.0	7770.0													
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0													
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4419.0	4189.0	3795.0													
% humedad (horno)	13.15	12.60	12.91													
Peso de la muestra seca (grs.)	3905.4	3720.3	3361.2													
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54													
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.695	1.658	1.510													
CONTENIDO DE HUMEDAD																
Molde N°	9	10	2													
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	145.12	125.48	176.66													
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	132.63	115.76	160.20													
Peso del recipiente (grs.) (P3)	37.66	38.60	32.67													
Peso del suelo seco (grs.)	94.97	77.16	127.53													
Peso del agua (grs.)	12.49	9.72	16.46													
Contenido de humedad (w %)	13.15	12.60	12.91													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.B.R. 0.1</th> <th>C.B.R. 0.2</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>79.86</td> <td>84.05</td> <td>84.05</td> </tr> <tr> <td>47.19</td> <td>47.79</td> <td>47.79</td> </tr> <tr> <td>21.17</td> <td>26.40</td> <td>26.40</td> </tr> </tbody> </table>	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max	79.86	84.05	84.05	47.19	47.79	47.79	21.17	26.40	26.40		
C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max														
79.86	84.05	84.05														
47.19	47.79	47.79														
21.17	26.40	26.40														
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Limite Líquido</td> <td>46.08%</td> </tr> <tr> <td>Indice Plasticidad</td> <td>24.65%</td> </tr> <tr> <td>Clasificación AASHTO</td> <td>A-7-6 (20)</td> </tr> <tr> <td>USCS</td> <td>CL</td> </tr> <tr> <td>Densidad máxima</td> <td>1.72</td> </tr> <tr> <td>Humedad óptima</td> <td>16.5%</td> </tr> <tr> <td>CBR 95%</td> <td>42%</td> </tr> </tbody> </table>		Limite Líquido	46.08%	Indice Plasticidad	24.65%	Clasificación AASHTO	A-7-6 (20)	USCS	CL	Densidad máxima	1.72	Humedad óptima	16.5%	CBR 95%	42%	
Limite Líquido	46.08%															
Indice Plasticidad	24.65%															
Clasificación AASHTO	A-7-6 (20)															
USCS	CL															
Densidad máxima	1.72															
Humedad óptima	16.5%															
CBR 95%	42%															
<b>ENSAYO</b> Lab.		<b>CALCULO Y ELABORO</b> Estudiantes														
Firma		Firma														

Figura G13

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+3% del suelo cohesivo, repetición 1

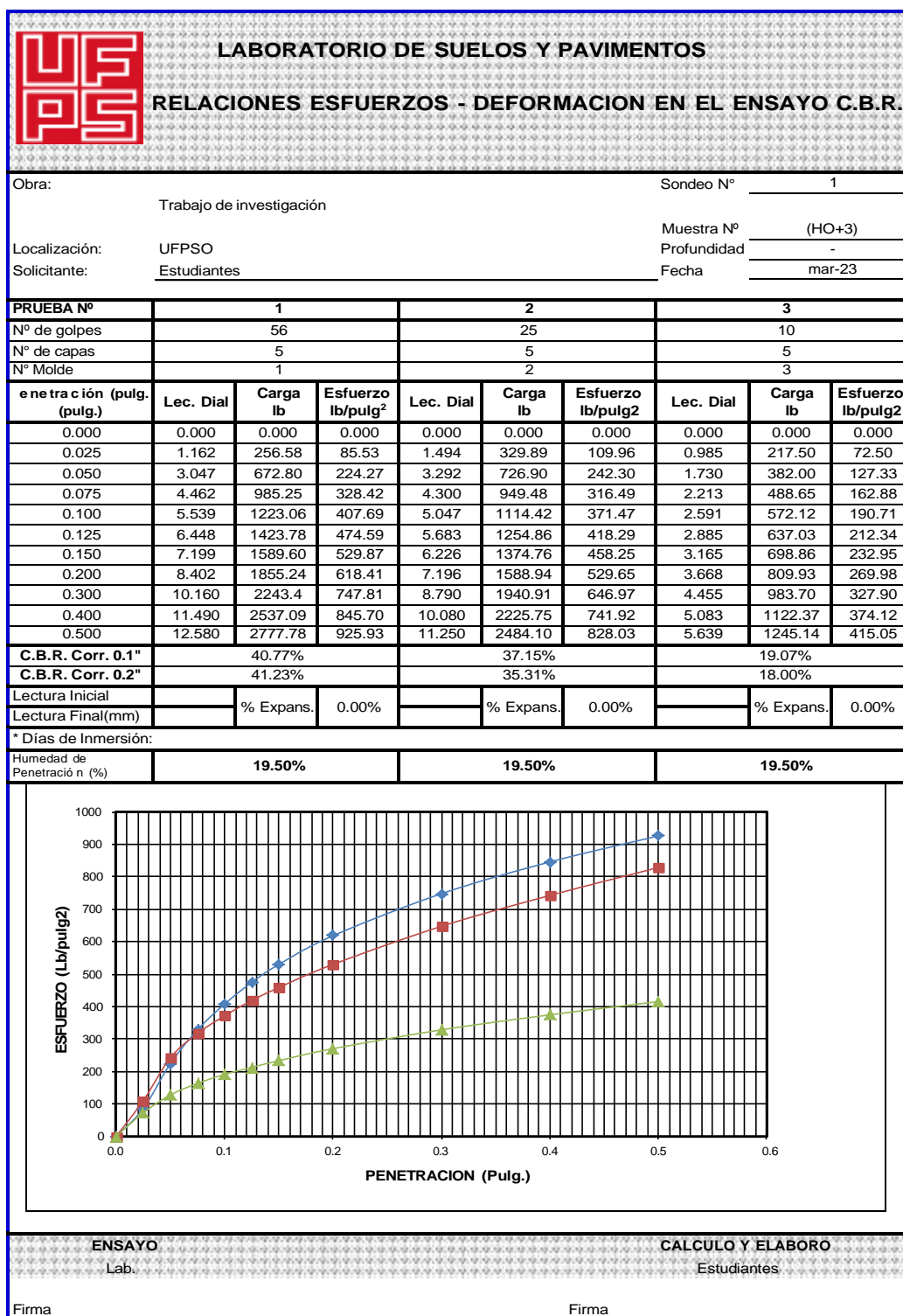


Figura G14

Datos de la muestra compacta a HO+3% del suelo cohesivo, repetición 1

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1
		Muestra N°	(HO+3)
Localización:	UFPSO	Profundidad	-
Solicitante:	Estudiantes	Fecha	mar-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	19.50	19.50	19.50
Humedad Natural de la muestra (%)	10.84	10.84	10.84
Humedad adicional %	8.66	8.66	8.66
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	4511.0	4511.0	4511.0
Agua adicional (c.c)	390.65	390.65	390.65
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8591.0	8443.0	8076.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4793.0	4475.0	4101.0
% humedad (horno)	17.51	16.65	18.49
Peso de la muestra seca (grs.)	4078.9	3836.2	3461.1
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.770	1.709	1.554
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	142.92	179.73	160.00
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	126.09	159.77	139.73
Peso del recipiente (grs.) (P3)	29.96	39.90	30.09
Peso del suelo seco (grs.)	96.13	119.87	109.64
Peso del agua (grs.)	16.83	19.96	20.27
Contenido de humedad (w%)	17.51	16.65	18.49
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
	40.77	41.23	41.23
	37.15	35.31	37.15
	19.07	18.00	19.07
Límite Líquido			46.08%
Índice Plasticidad			24.65%
Clasificación	AASHTO	A-7-6 (20)	
	USCS	CL	
Densidad máxima			1.72
Humedad óptima			16.5%
CBR 95%			28%
Observaciones			
ENSAYO		CALCULO Y ELABORO	
Lab: Estudiantes		Estudiantes	
Firma			Firma

Figura G15

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+3% del suelo cohesivo, repetición 2

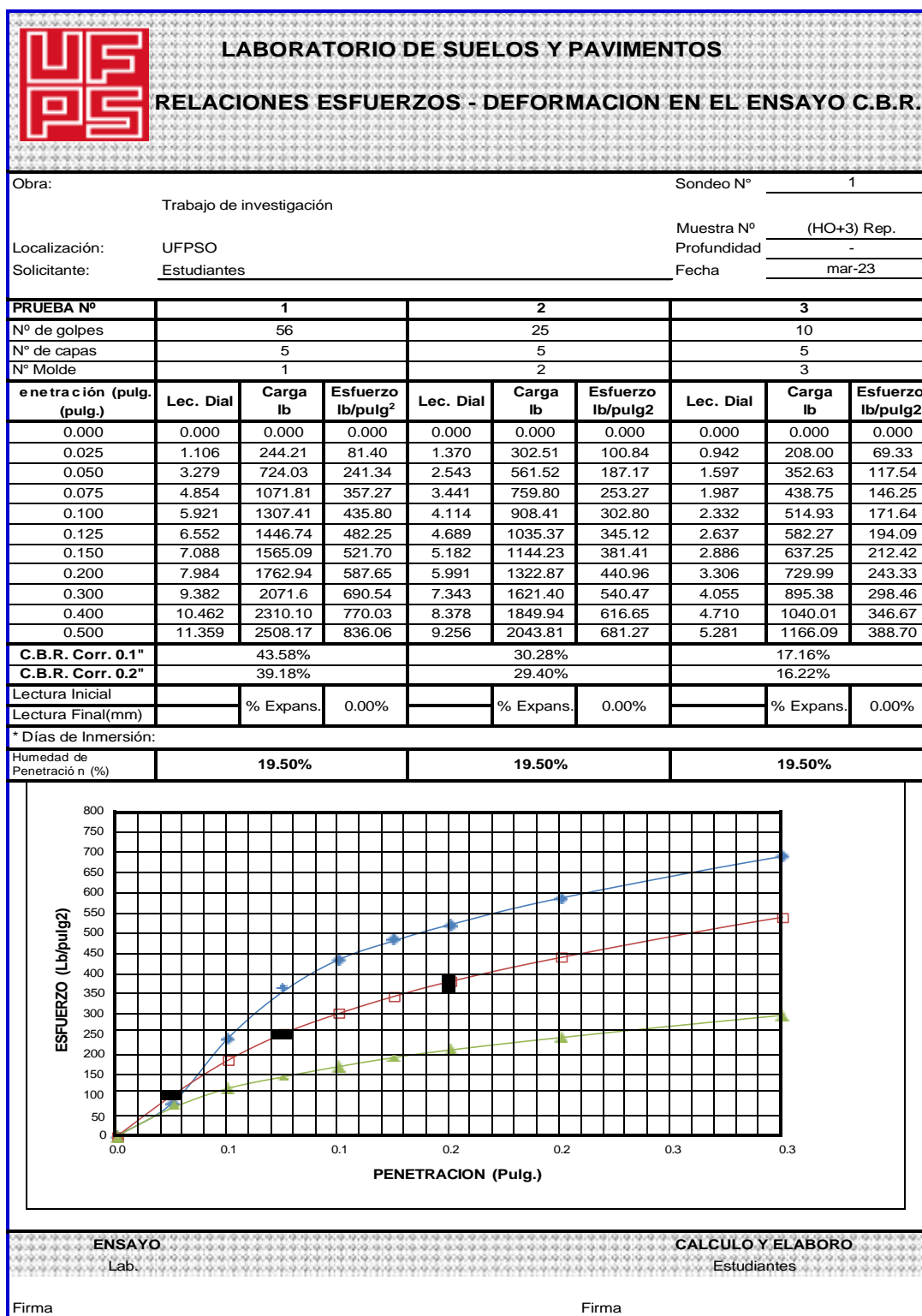


Figura G16

Datos de la muestra compacta a HO+3% del suelo cohesivo, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO				
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1	
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO+3) Rep.	
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-	
		Fecha	mar-23	
MUESTRAS PARA C.B.R.				
PRUEBA N°	1	2	3	
N° de golpes	56	25	10	
N° de capas	5	5	5	
Humedad deseada (%)	19.50	19.50	19.50	
Humedad Natural de la muestra (%)	10.84	10.84	10.84	
Humedad adicional %	8.66	8.66	8.66	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	4511.0	4511.0	4511.0	
Agua adicional (c.c)	390.65	390.65	390.65	
Molde N°	4	15	16	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8606.0	8565.0	8120.0	
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4808.0	4597.0	4145.0	
% humedad (horno)	18.46	19.04	18.49	
Peso de la muestra seca (grs.)	4058.7	3861.7	3498.1	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54	
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.761	1.721	1.571	
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Molde N°	9	10	2	
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	145.03	182.66	160.20	
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	127.89	159.92	140.31	
Peso del recipiente (grs.) (P3)	35.05	40.49	32.75	
Peso del suelo seco (grs.)	92.84	119.43	107.56	
Peso del agua (grs.)	17.14	22.74	19.89	
Contenido de humedad (w %)	18.46	19.04	18.49	
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max	
	46.00	40.00	46.00	
	30.28	29.40	30.28	
	17.16	16.22	17.16	
Límite Líquido				46.08%
Índice Plasticidad				24.65%
Clasificación	AASHTO	A-7-6 (20)		
	USCS	CL		
Densidad máxima				1.72
Humedad óptima				16.5%
CBR 95%				22%
Observaciones				
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO			
Lab.	Estudiantes			
Firma	Firma			

Figura G17

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+6% del suelo cohesivo, repetición 1


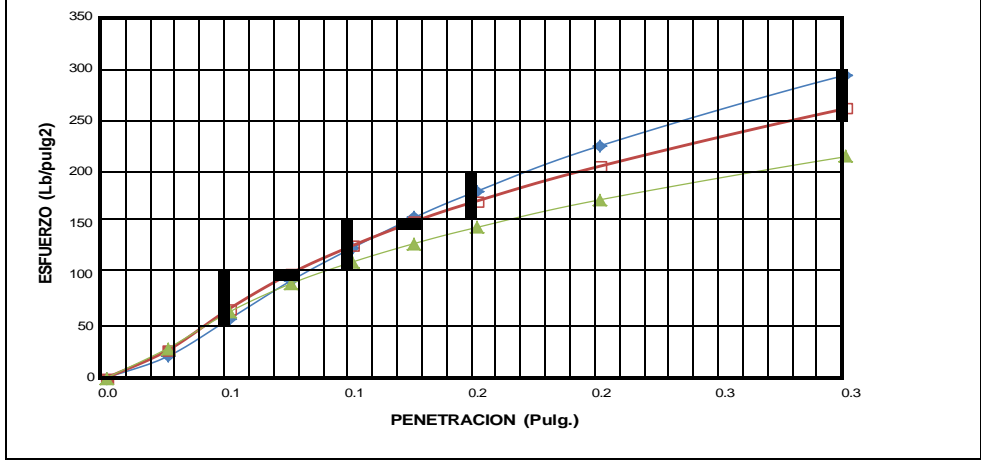
 <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>RELACIONES ESFUERZOS - DEFORMACION EN EL ENSAYO C.B.R.</b>										
Obra:	Trabajo de investigación						Sondeo N°	1		
Localización:	UFPSO						Muestra N°	(HO+6)		
Solicitante:	Estudiantes						Profundidad	-		
							Fecha	mar-23		
<b>PRUEBA N°</b>	1			2			3			
N° de golpes	56			25			10			
N° de capas	5			5			5			
N° Molde	1			2			3			
<b>Penetración (pulg. )</b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.025	0.285	62.93	20.98	0.367	81.04	27.01	0.392	86.56	28.85	
0.050	0.781	172.45	57.48	0.917	202.48	67.49	0.873	192.77	64.26	
0.075	1.286	283.96	94.65	1.384	305.60	101.87	1.246	275.13	91.71	
0.100	1.721	380.01	126.67	1.750	386.42	128.81	1.532	338.28	112.76	
0.125	2.120	468.11	156.04	2.067	456.41	152.14	1.775	391.94	130.65	
0.150	2.462	543.63	181.21	2.334	515.37	171.79	1.985	438.31	146.10	
0.200	3.063	676.34	225.45	2.795	617.16	205.72	2.350	518.90	172.97	
0.300	4.001	883.5	294.49	3.558	785.64	261.88	2.921	644.98	214.99	
0.400	4.718	1041.78	347.26	4.173	921.44	307.15	3.390	748.54	249.51	
0.500	5.326	1176.03	392.01	4.698	1037.36	345.79	3.790	836.87	278.96	
<b>C.B.R. Corr. 0.1"</b>	12.67%			12.88%			11.28%			
<b>C.B.R. Corr. 0.2"</b>	15.03%			13.71%			11.53%			
Lectura Inicial		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%	
Lectura Final(mm)										
* Días de Inmersión:										
Humedad de Penetración (%)	22.50%			22.50%			22.50%			
										
<b>ENSAYO</b>					<b>CALCULO Y ELABORO</b>					
Lab.					Estudiantes					
Firma					Firma					

Figura G18

Datos de la muestra compacta a HO+6% del suelo cohesivo, repetición 1

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO				
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1	
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO+6)	
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-	
		Fecha	mar-23	
MUESTRAS PARA C.B.R.				
PRUEBA N°	1	2	3	
N° de golpes	56	25	10	
N° de capas	5	5	5	
Humedad deseada (%)	22.50	22.50	22.50	
Humedad Natural de la muestra (%)	9.93	9.93	9.93	
Humedad adicional %	12.57	12.57	12.57	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	4548.3	4548.3	4548.3	
Agua adicional (c.c)	571.73	571.73	571.73	
Molde N°	4	15	16	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8548.0	8541.0	8194.0	
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4750.0	4573.0	4219.0	
% humedad (horno)	20.90	21.71	21.43	
Peso de la muestra seca (grs.)	3929.0	3757.4	3474.4	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54	
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.705	1.674	1.560	
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Molde N°	9	10	2	
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	165.67	170.06	131.70	
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	142.68	145.41	113.97	
Peso del recipiente (grs.) (P3)	32.66	31.85	31.24	
Peso del suelo seco (grs.)	110.02	113.56	82.73	
Peso del agua (grs.)	22.99	24.65	17.73	
Contenido de humedad (w%)	20.90	21.71	21.43	
		<b>C.B.R. 0.1</b>	<b>C.B.R. 0.2</b>	<b>Max</b>
		12.67	15.03	15.03
		12.88	13.71	13.71
		11.28	11.53	11.53
<b>Límite Líquido</b>	<b>46.08%</b>			
<b>Índice Plasticidad</b>	<b>24.65%</b>			
<b>Clasificación</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-7-6 (20)</b>		
	<b>USCS</b>	<b>CL</b>		
<b>Densidad máxima</b>	<b>1.72</b>			
<b>Humedad óptima</b>	<b>16.5%</b>			
<b>CBR 95%</b>	<b>12.8%</b>			
<b>Observaciones</b>				
<b>ENSAYO</b>	<b>CALCULO Y ELABORO</b>			
Lab.	Estudiantes			
Firma	Firma			



Figura G19

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+6% del suelo cohesivo, repetición 2

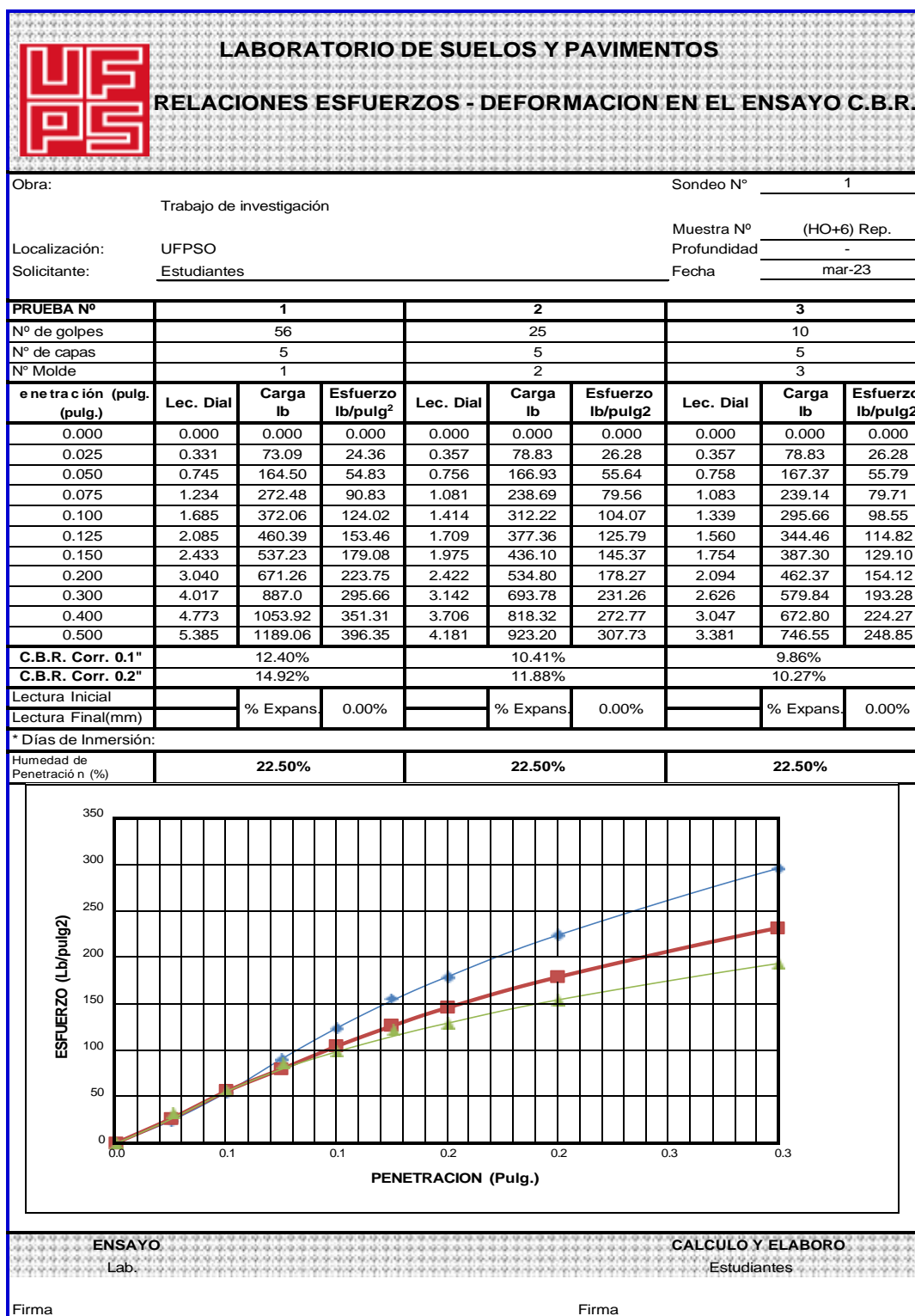


Figura G20

Datos de la muestra compacta a HO+6% del suelo cohesivo, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS													
PS		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO													
Obra:	Trabajo de investigación	Sondeo N°	1												
		Muestra N°	(HO+6) Rep.												
Localización:	UFPSO	Profundidad	-												
Solicitante:	Estudiantes	Fecha	mar-23												
<b>MUESTRAS PARA C.B.R.</b>															
PRUEBA N°	1	2	3												
N° de golpes	56	25	10												
N° de capas	5	5	5												
Humedad deseada (%)	22.50	22.50	22.50												
Humedad Natural de la muestra (%)	9.93	9.49	9.49												
Humedad adicional %	12.57	13.01	13.01												
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5000.0	5000.0	5000.0												
Peso de la muestra seca (grs.)	4548.3	4566.6	4566.6												
Agua adicional (c.c)	571.73	594.12	594.12												
Molde N°	4	15	16												
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8515.0	8532.0	8312.0												
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0												
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4717.0	4564.0	4337.0												
% humedad (homo)	20.72	22.10	22.30												
Peso de la muestra seca (grs.)	3907.3	3737.9	3546.3												
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54												
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.696	1.666	1.593												
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>															
Molde N°	9	10	2												
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	168.58	174.21	188.14												
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	146.59	150.12	159.30												
Peso del recipiente (grs.) (P3)	40.48	41.12	29.95												
Peso del suelo seco (grs.)	106.11	109.00	129.35												
Peso del agua (grs.)	21.99	24.09	28.84												
Contenido de humedad (w %)	20.72	22.10	22.30												
<b>Máximo</b>															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.B.R. 0.1</th> <th>C.B.R. 0.2</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.40</td> <td>14.92</td> <td>14.92</td> </tr> <tr> <td>10.41</td> <td>11.88</td> <td>11.88</td> </tr> <tr> <td>9.86</td> <td>10.27</td> <td>10.27</td> </tr> </tbody> </table>				C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max	12.40	14.92	14.92	10.41	11.88	11.88	9.86	10.27	10.27
C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max													
12.40	14.92	14.92													
10.41	11.88	11.88													
9.86	10.27	10.27													
<b>Límite Líquido</b>		<b>46.08%</b>													
<b>Índice Plasticidad</b>		<b>24.65%</b>													
<b>Clasificación</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-7-6 (20)</b>													
	<b>USCS</b>	<b>CL</b>													
<b>Densidad máxima</b>		<b>1.72</b>													
<b>Humedad óptima</b>		<b>16.5%</b>													
<b>CBR 95%</b>		<b>11%</b>													
<b>Observaciones</b>															
<b>ENSAYO</b>		<b>CALCULO Y ELABORO</b>													
Lab: Estudiantes		Estudiantes													
Firma	Firma														

Figura G21

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO del suelo granular, repetición 1


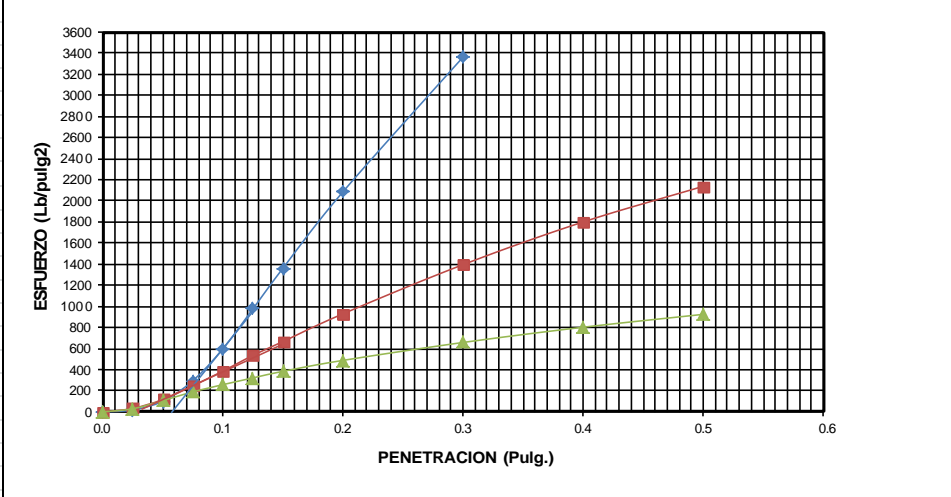
 <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>RELACIONES ESFUERZOS - DEFORMACION EN EL ENSAYO C.B.R.</b>										
Obra:	Trabajo de grado						Sondeo N°	1		
Localización:	UFPSO						Muestra N°	(HO)		
Solicitante:	Estudiantes						Profundidad	-		
							Fecha	abr-23		
<b>PRUEBA N°</b>	1			2			3			
N° de golpes	56			25			10			
N° de capas	5			5			5			
N° Molde	1			2			3			
<b>Penetración (pulg.)</b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.025	0.234	51.67	17.22	0.454	100.25	33.42	0.401	88.54	29.51	
0.050	1.37	302.51	100.84	1.590	351.09	117.03	1.457	321.72	107.24	
0.075	4.015	886.55	295.52	3.366	743.24	247.75	2.576	568.80	189.60	
0.100	8.123	1793.63	597.88	5.255	1160.35	386.78	3.501	773.05	257.68	
0.125	13.270	2930.13	976.71	7.269	1605.06	535.02	4.374	965.82	321.94	
0.150	18.510	4087.17	1362.39	9.052	1998.76	666.25	5.215	1151.52	383.84	
0.200	28.360	6262.14	2087.38	12.620	2786.61	928.87	6.627	1463.30	487.77	
0.300	45.720	10095.4	3365.13	18.950	4184.33	1394.78	8.930	1971.82	657.27	
0.400	-	-	-	24.440	5396.57	1798.86	10.890	2404.61	801.54	
0.500	-	-	-	29.030	6410.08	2136.69	12.550	2771.15	923.72	
<b>C.B.R. Corr. 0.1"</b>	59.79%			38.68%			25.77%			
<b>C.B.R. Corr. 0.2"</b>	139.16%			61.92%			32.52%			
Lectura Inicial		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%	
Lectura Final(mm)										
* Días de Inmersión:										
Humedad de Penetración (%)	7.50%			7.50%			7.50%			
										
<b>ENSAYO</b>					<b>CALCULO Y ELABORO</b>					
Lab.					Estudiantes					
Firma					Firma					

Figura G22

Datos de la muestra compacta a HO del suelo granular, repetición 1

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	HO
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	7.50	7.50	7.50
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	5.51	5.51	5.51
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	324.15	324.15	324.15
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	9200.0	9083.0	8772.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5402.0	5115.0	4797.0
% humedad (horno)	7.32	7.48	7.13
Peso de la muestra seca (grs.)	5033.6	4759.1	4477.7
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.184	2.121	2.011
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	180.44	144.42	175.26
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	170.52	136.63	165.67
Peso del recipiente (grs.) (P3)	34.96	32.46	31.20
Peso del suelo seco (grs.)	135.56	104.17	134.47
Peso del agua (grs.)	9.92	7.79	9.59
Contenido de humedad (w %)	7.32	7.48	7.13
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
	158	193	193
	59	72	72
	26	33	33
Límite Líquido	-		
Índice Plasticidad	-		
Clasificación	BG-27		
Densidad máxima	2.18		
Humedad óptima	7.5%		
CBR 95%	48%		
Observaciones			
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO		
Lab.	Estudiantes		
Firma	Firma		

Figura G23

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO del suelo granular, repetición 2

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>RELACIONES ESFUERZOS - DEFORMACION EN EL ENSAYO C.B.R.</b>									
Obra: Trabajo de grado					Sondeo N° 1				
Localización: UFPSO					Muestra N° (HO) Rep.				
Solicitante: Estudiantes					Profundidad -				
					Fecha abr-23				
PRUEBA N°	1			2			3		
N° de golpes	56			25			10		
N° de capas	5			5			5		
N° Molde	4			15			16		
Penetración (pulg.) (pulg.)	Lec. Dial	Carga lb	Esfuerzo lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial	Carga lb	Esfuerzo lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial	Carga lb	Esfuerzo lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.025	0.288	63.59	21.20	0.980	216.39	72.13	0.604	133.37	44.46
0.050	1.929	425.94	141.98	2.838	626.66	208.89	1.692	373.61	124.54
0.075	4.339	958.09	319.36	5.236	1156.16	385.39	3.010	664.63	221.54
0.100	8.190	1808.42	602.81	7.742	1709.50	569.83	4.284	945.95	315.32
0.125	13.160	2905.85	968.62	10.360	2287.58	762.53	5.463	1206.28	402.09
0.150	18.990	4193.16	1397.72	12.740	2813.11	937.70	6.547	1445.64	481.88
0.200	28.380	6266.56	2088.85	17.100	3775.83	1258.61	8.622	1903.81	634.60
0.300	45.640	10077.7	3359.24	24.870	5491.52	1830.51	12.070	2665.16	888.39
0.400	-	-	-	31.180	6884.82	2294.94	15.270	3371.75	1123.92
0.500	-	-	-	37.010	8172.14	2724.05	18.150	4007.68	1335.89
<b>C.B.R. Corr. 0.1"</b>	60.28%			56.98%			31.53%		
<b>C.B.R. Corr. 0.2"</b>	139.26%			83.91%			42.31%		
Lectura Inicial		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%
Lectura Final(mm)									
* Días de Inmersión:									
Humedad de Penetración (%)	7.50%			7.50%			7.50%		
ENSAYO					CALCULO Y ELABORO				
Lab.					Estudiantes				
Firma					Firma				

Figura G24

Datos de la muestra compacta a HO del suelo granular, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS												
		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO												
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1											
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO) Rep.											
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-											
		Fecha	abr-23											
MUESTRAS PARA C.B.R.														
PRUEBA N°	1	2	3											
N° de golpes	56	25	10											
N° de capas	5	5	5											
Humedad deseada (%)	7.50	7.50	7.50											
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99											
Humedad adicional %	5.51	5.51	5.51											
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0											
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9											
Agua adicional (c.c)	324.15	324.15	324.15											
Molde N°	4	15	16											
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	9102.0	9082.0	8860.0											
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0											
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5304.0	5114.0	4885.0											
% humedad (horno)	6.80	7.12	7.80											
Peso de la muestra seca (grs.)	4966.1	4774.0	4531.4											
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54											
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.155	2.127	2.035											
CONTENIDO DE HUMEDAD														
Molde N°	9	10	2											
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	149.76	184.37	182.18											
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	142.19	174.17	171.72											
Peso del recipiente (grs.) (P3)	30.92	30.93	37.66											
Peso del suelo seco (grs.)	111.27	143.24	134.06											
Peso del agua (grs.)	7.57	10.20	10.46											
Contenido de humedad (w %)	6.80	7.12	7.80											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.B.R. 0.1</th> <th>C.B.R. 0.2</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>147</td> <td>187</td> <td>187</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>93</td> <td>93</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>42</td> <td>42</td> </tr> </tbody> </table>	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max	147	187	187	80	93	93	32	42	42
C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max												
147	187	187												
80	93	93												
32	42	42												
		Límite Líquido - Índice Plasticidad - Clasificación <b>BG-27</b> Densidad máxima <b>2.180</b> Humedad óptima <b>7.5%</b> CBR 95% <b>58%</b> Observaciones												
<b>ENSAYO</b> Lab:		<b>CALCULO Y ELABORO</b> Estudiantes												
Firma		Firma												

Figura G25

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-1.5% del suelo granular, repetición 1

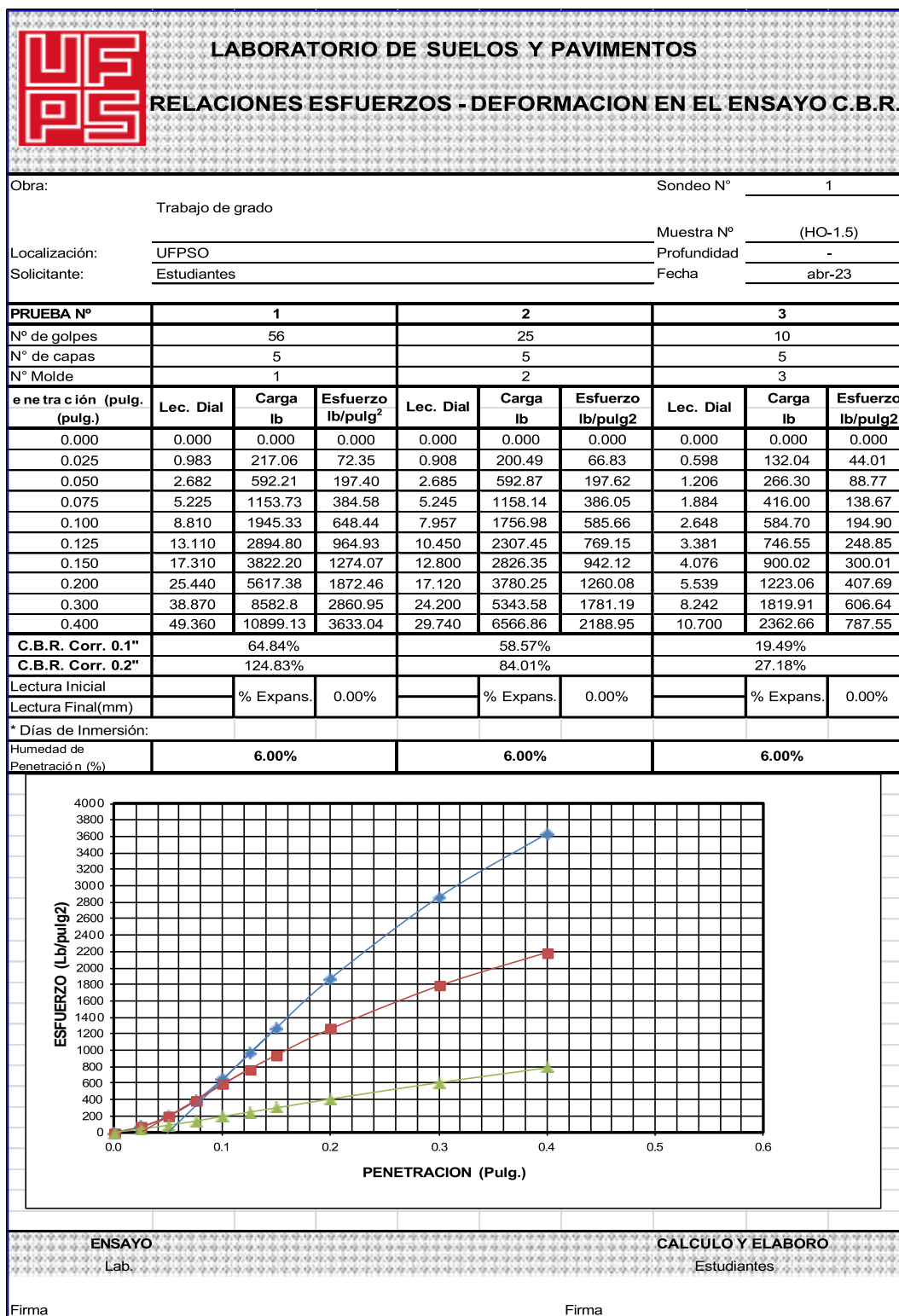


Figura G26

Datos de la muestra compacta a HO-1.5% del suelo granular, repetición 1

UFPSO		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO	
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-1.5)
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	6.00	6.00	6.00
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	4.01	4.01	4.01
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	235.91	235.91	235.91
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra húmeda y molde (grs.)	8978.0	9021.0	8801.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5180.0	5053.0	4826.0
% humedad (homo)	5.59	5.43	5.45
Peso de la muestra seca (grs.)	4905.9	4792.8	4576.8
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.129	2.136	2.056
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	182.16	149.79	187.10
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	174.24	143.88	179.42
Peso del recipiente (grs.) (P3)	32.46	35.03	38.39
Peso del suelo seco (grs.)	141.78	108.85	141.03
Peso del agua (grs.)	7.92	5.91	7.68
Contenido de humedad (w%)	5.59	5.43	5.45
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
	130.00	160.00	160.00
	71.00	92.00	92.00
	19.49	27.18	27.18
Límite Líquido	-		
Índice Plasticidad	-		
Clasificación	BG-27		
Densidad máxima	2.18		
Humedad óptima	7.5%		
CBR 95%	38%		
ENSAYO		CALCULO Y ELABORO	
Lab:		Estudiantes	
Firma		Firma	



Figura G27

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-1.5% del suelo granular, repetición 2

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>RELACIONES ESFUERZOS - DEFORMACION EN EL ENSAYO C.B.R.</b>										
Obra:	Trabajo de grado						Sondeo N°	1		
Localización:	UFPSO						Muestra N°	(HO-1.5) Rep.		
Solicitante:	Estudiantes						Profundidad	-		
							Fecha	abr-23		
<b>PRUEBA N°</b>	1			2			3			
N° de golpes	56			25			10			
N° de capas	5			5			5			
N° Molde	1			2			3			
<b>Penetración (pulg.)</b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.025	0.606	133.81	44.60	0.847	187.03	62.34	0.969	213.96	71.32	
0.050	2.999	662.21	220.74	2.592	572.34	190.78	1.932	426.60	142.20	
0.075	5.854	1292.62	430.87	5.054	1115.97	371.99	3.089	682.08	227.36	
0.100	8.957	1977.79	659.26	7.627	1684.11	561.37	4.302	949.92	316.64	
0.125	13.182	2910.70	970.23	10.020	2212.51	737.50	5.430	1198.99	399.66	
0.150	17.100	3775.83	1258.61	12.290	2713.74	904.58	6.481	1431.06	477.02	
0.200	25.220	5568.80	1856.27	16.720	3691.92	1230.64	8.480	1872.46	624.15	
0.300	38.400	8479.1	2826.35	23.990	5297.21	1765.74	12.010	2651.91	883.97	
0.400	49.430	10914.58	3638.19	30.650	6767.79	2255.93	15.240	3365.13	1121.71	
0.500	-	-	-	36.540	8068.36	2689.45	18.210	4020.93	1340.31	
<b>C.B.R. Corr. 0.1"</b>	65.93%			56.14%			31.66%			
<b>C.B.R. Corr. 0.2"</b>	123.75%			82.04%			41.61%			
Lectura Inicial			0.00%			0.00%			0.00%	
Lectura Final(mm)		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%		% Expans.	0.00%	
* Días de Inmersión:										
Humedad de Penetración (%)	6.00%			6.00%			6.00%			
<b>ENSAYO</b>					<b>CALCULO Y ELABORO</b>					
Lab.					Estudiantes					
Firma					Firma					

Figura G28

Datos de la muestra compacta a HO-1.5% del suelo granular, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO	
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-1.5) Rep.
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
<b>MUESTRAS PARA C.B.R.</b>			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	6.00	6.00	6.00
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	4.01	4.01	4.01
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	235.91	235.91	235.91
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8960.0	9020.0	8782.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5162.0	5052.0	4807.0
% humedad (horno)	5.59	6.04	5.71
Peso de la muestra seca (grs.)	4888.9	4764.1	4547.6
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.122	2.123	2.042
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	182.16	192.13	189.25
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	174.24	183.06	180.75
Peso del recipiente (grs.) (P3)	32.46	32.97	31.76
Peso del suelo seco (grs.)	141.78	150.09	148.99
Peso del agua (grs.)	7.92	9.07	8.50
Contenido de humedad (w %)	5.59	6.04	5.71
<b>Máximo</b>			
<b>C.B.R. 0.1</b>	<b>C.B.R. 0.2</b>	<b>Max</b>	
125.00	157.00	157.00	
75.00	91.33	91.33	
31.66	41.61	41.61	
<b>Límite Líquido</b>	-		
<b>Índice Plasticidad</b>	-		
<b>Clasificación</b>	<b>BG-27</b>		
<b>Densidad máxima</b>	<b>2.18</b>		
<b>Humedad óptima</b>	<b>7.5%</b>		
<b>CBR 95%</b>	<b>56%</b>		
<b>Observaciones</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>CÁLCULO Y ELABORO</b>		
Lab:	Estudiantes		
Firma	Firma		

Figura G29

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-3% del suelo granular, repetición 1

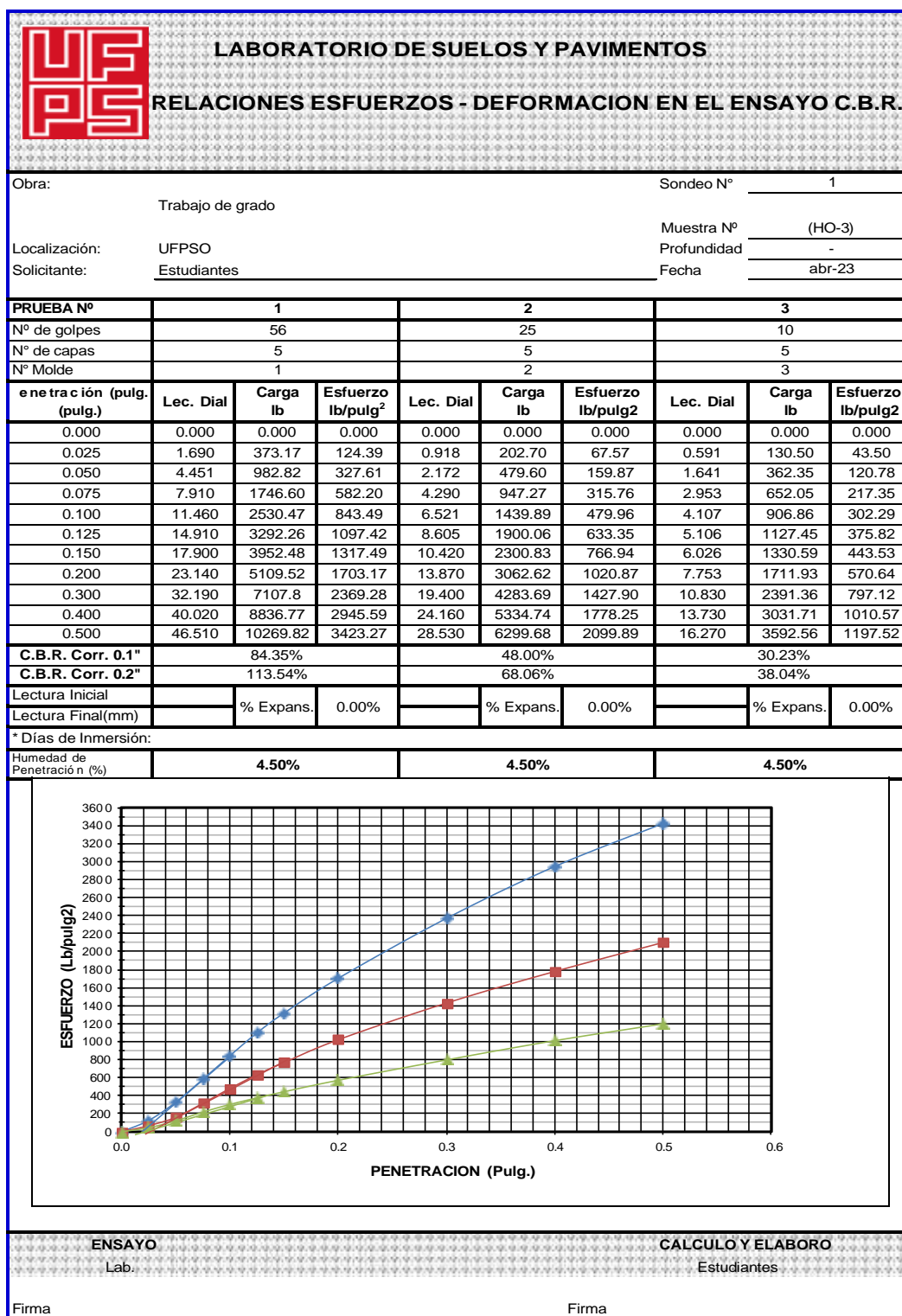


Figura G30

Datos de la muestra compacta a HO-3% del suelo granular, repetición 1

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	
		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO	
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-3)
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	4.50	4.50	4.50
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	2.51	2.51	2.51
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	147.66	147.66	147.66
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8840.0	8858.0	8623.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5042.0	4890.0	4648.0
% humedad (horno)	4.44	4.29	4.46
Peso de la muestra seca (grs.)	4827.6	4688.7	4449.6
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.095	2.089	1.998
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	171.84	174.25	176.86
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	165.81	168.72	171.04
Peso del recipiente (grs.) (P3)	30.05	39.89	40.48
Peso del suelo seco (grs.)	135.76	128.83	130.56
Peso del agua (grs.)	6.03	5.53	5.82
Contenido de humedad (w %)	4.44	4.29	4.46
C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max	
110.00	121.00	121.00	
60.00	73.33	73.33	
35.00	41.00	41.00	
Límite Líquido	-		
Índice Plasticidad	-		
Clasificación	BG-27		
Densidad máxima	2.18		
Humedad óptima	7.5%		
CBR 95%	64%		
Observaciones			
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO		
Lab.	Estudiantes		
Firma	Firma		

Figura G31

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO-3% del suelo granular, repetición 2

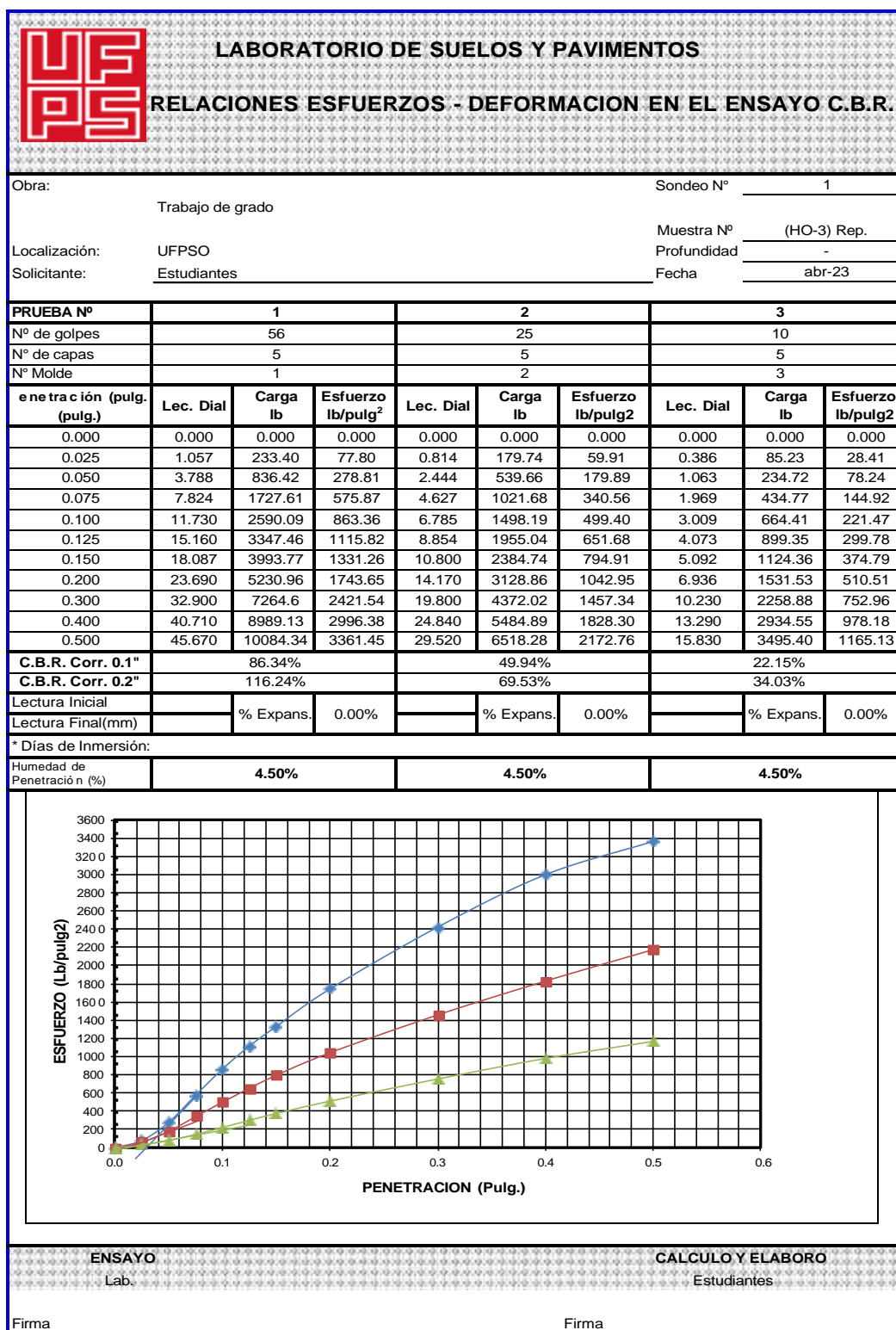


Figura G32

Datos de la muestra compacta a HO-3% del suelo granular, repetición 2

UFPS		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
		ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO		
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1	
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO-3) Rep.	
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-	
		Fecha	abr-23	
MUESTRAS PARA C.B.R.				
PRUEBA N°	1	2	3	
N° de golpes	56	25	10	
N° de capas	5	5	5	
Humedad deseada (%)	4.50	4.50	4.50	
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99	
Humedad adicional %	2.51	2.51	2.51	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0	
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9	
Agua adicional (c.c)	147.66	147.66	147.66	
Molde N°	4	15	16	
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	8759.0	8765.0	8565.0	
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0	
Peso de la muestra húmeda (grs.)	4961.0	4797.0	4590.0	
% humedad (horno)	4.49	4.18	4.25	
Peso de la muestra seca (grs.)	4747.8	4604.5	4402.8	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54	
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.060	2.052	1.977	
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Molde N°	9	10	2	
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	174.39	178.76	175.69	
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	168.29	172.99	169.86	
Peso del recipiente (grs.) (P3)	32.46	34.98	32.74	
Peso del suelo seco (grs.)	135.83	138.01	137.12	
Peso del agua (grs.)	6.10	5.77	5.83	
Contenido de humedad (w %)	4.49	4.18	4.25	
		C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
		115.00	130.00	130.00
		60.00	74.00	74.00
		28.00	36.66	36.66
Límite Líquido		-		
Índice Plasticidad		-		
Clasificación		BG-27		
Densidad máxima		2.18		
Humedad óptima		7.5%		
CBR 95%		128%		
Observaciones				
ENSAYO		CALCULO Y ELABORO		
Lab.		Estudiantes		
Firma		Firma		

Figura G33

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+3% del suelo granular, repetición 1

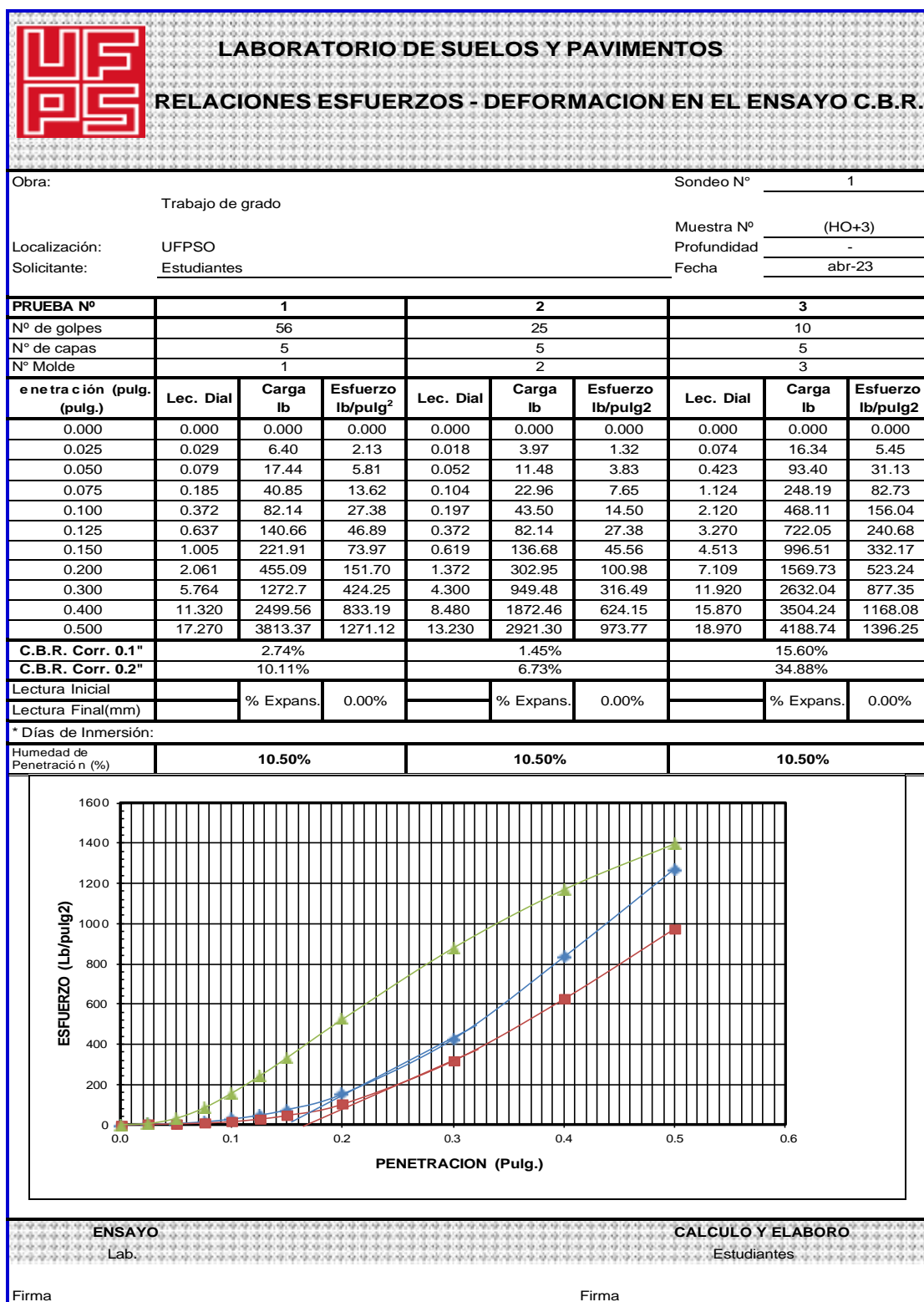


Figura G34

Datos de la muestra compacta a HO+3% del suelo granular, repetición 1

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO+3)
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	10.50	10.50	10.50
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	8.51	8.51	8.51
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	500.64	500.64	500.64
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	9388.0	9322.0	9208.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5590.0	5354.0	5233.0
% humedad (horno)	9.29	9.57	9.64
Peso de la muestra seca (grs.)	5114.9	4886.5	4773.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.220	2.177	2.144
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	189.68	180.08	212.98
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	177.00	167.84	196.90
Peso del recipiente (grs.) (P3)	40.49	39.90	30.05
Peso del suelo seco (grs.)	136.51	127.94	166.85
Peso del agua (grs.)	12.68	12.24	16.08
Contenido de humedad (w %)	9.29	9.57	9.64
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
	41.00	54.67	54.67
	31.00	42.00	42.00
	30.00	34.88	34.88
Límite Líquido	-		
Índice Plasticidad	-		
Clasificación	BG-27		
Densidad máxima	2.18		
Humedad óptima	7.5%		
CBR 95%	14%		
Observaciones			
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO		
Lab	Estudiantes		
Firma	Firma		



Figura G35

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+3% del suelo granular, repetición 2

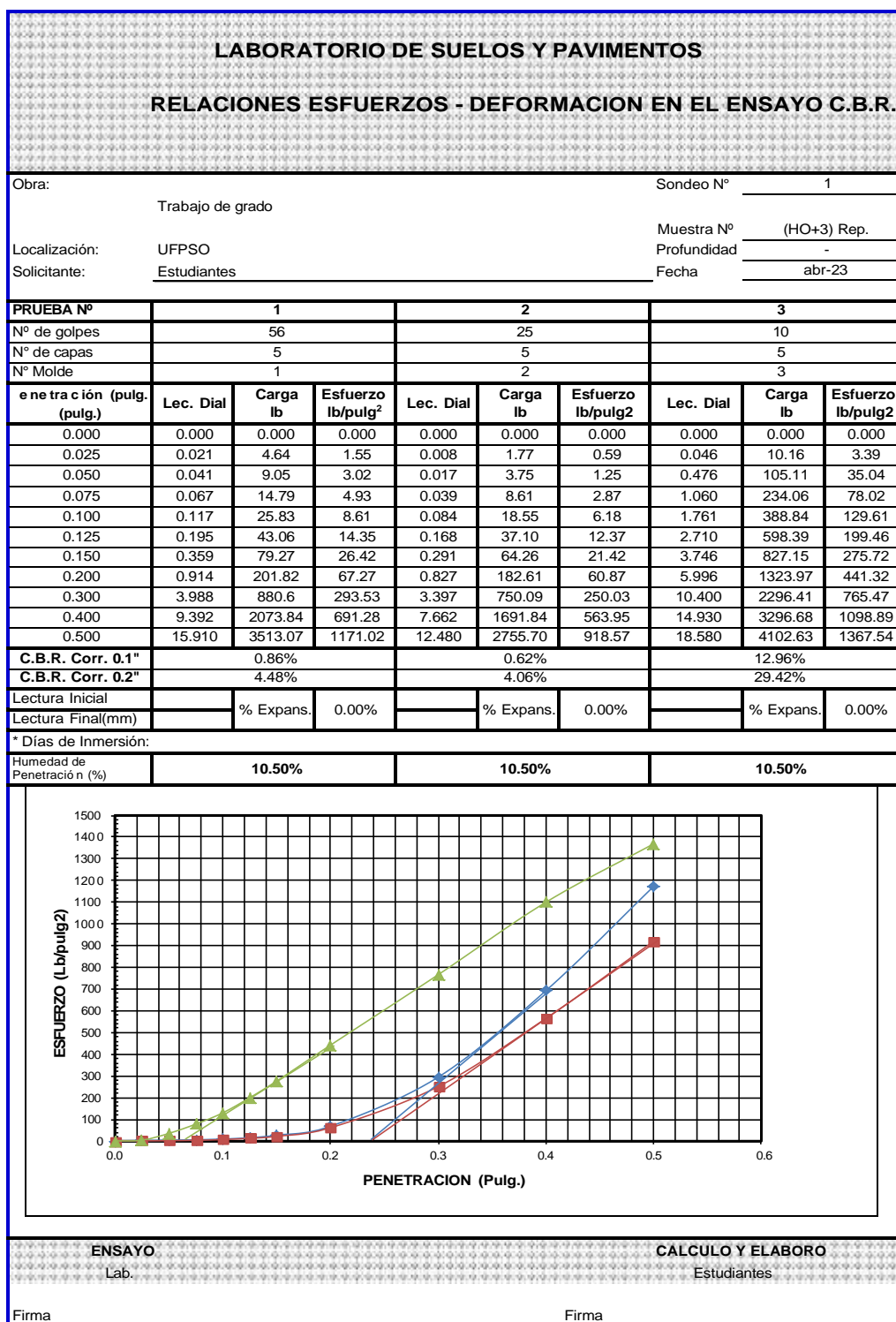


Figura G36

Datos de la muestra compacta a HO+3% del suelo granular, repetición 2

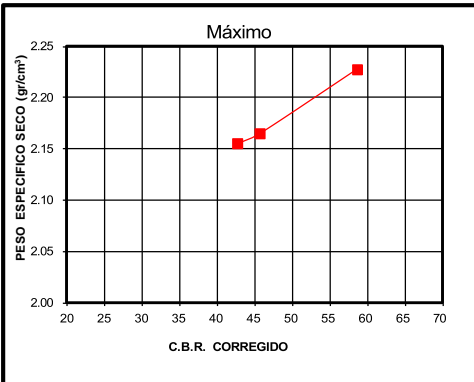
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO+3) Rep.
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	10.50	10.50	10.50
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	8.51	8.51	8.51
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	500.64	500.64	500.64
Molde N°	15	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	9270.0	9304.0	9234.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5472.0	5336.0	5259.0
% humedad (horno)	9.46	9.83	9.60
Peso de la muestra seca (grs.)	4999.2	4858.2	4798.4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2244.21	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.228	2.165	2.155
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	185.05	194.57	190.93
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	172.08	180.52	176.94
Peso del recipiente (grs.) (P3)	34.94	37.66	31.21
Peso del suelo seco (grs.)	137.14	142.86	145.73
Peso del agua (grs.)	12.97	14.05	13.99
Contenido de humedad (w %)	9.46	9.83	9.60
			
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
	44.00	58.66	58.66
	36.00	45.66	45.66
	30.00	42.66	42.66
Limite Líquido	-		
Indice Plasticidad	-		
Clasificación	BG-27		
Densidad máxima	2.18		
Humedad óptima	7.5%		
CBR 95%	24%		
Observaciones			
ENSAYO		CALCULO Y ELABORO	
Lab:		Estudiantes	
Firma		Firma	

Figura G37

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+1.5% del suelo granular, repetición 1

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS										
RELACIONES ESFUERZOS - DEFORMACION EN EL ENSAYO C.B.R.										
Obra:	Trabajo de grado						Sondeo N°	1		
Localización:	UFPSO						Muestra N°	(HO+1.5)		
Solicitante:	Estudiantes						Profundidad	-		
							Fecha	abr-23		
<b>PRUEBA N°</b>	1			2			3			
N° de golpes	56			25			10			
N° de capas	5			5			5			
N° Molde	1			2			3			
<b>Penetración (pulg. (pulg.))</b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Lec. Dial</b>	<b>Carga lb</b>	<b>Esfuerzo lb/pulg<sup>2</sup></b>	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.025	0.118	26.06	8.69	0.267	58.96	19.65	0.212	46.81	15.60	
0.050	0.373	82.36	27.45	0.926	204.47	68.16	0.746	164.72	54.91	
0.075	0.810	178.86	59.62	1.985	438.31	146.10	1.567	346.01	115.34	
0.100	1.495	330.11	110.04	3.296	727.79	242.60	2.607	575.65	191.88	
0.125	2.692	594.42	198.14	4.646	1025.88	341.96	3.805	840.18	280.06	
0.150	4.316	953.01	317.67	6.318	1395.07	465.02	4.820	1064.30	354.77	
0.200	8.898	1964.76	654.92	10.080	2225.75	741.92	7.093	1566.20	522.07	
0.300	20.380	4500.1	1500.03	18.170	4012.10	1337.37	11.680	2579.05	859.68	
0.400	31.300	6911.32	2303.77	25.480	5626.21	1875.40	15.510	3424.75	1141.58	
0.500	41.100	9075.25	3025.08	31.710	7001.85	2333.95	18.420	4067.30	1355.77	
<b>C.B.R. Corr. 0.1"</b>	11.00%			24.26%			19.19%			
<b>C.B.R. Corr. 0.2"</b>	43.66%			49.46%			34.80%			
Lectura Inicial										
Lectura Final(mm)	% Expans. 0.00%			% Expans. 0.00%			% Expans. 0.00%			
* Días de Inmersión:										
Humedad de Penetración (%)	9.00%			9.00%			9.00%			
ENSAYO					CALCULO Y ELABORO					
Lab.					Estudiantes					
Firma					Firma					

Figura G38

Datos de la muestra compacta a HO+1.5% del suelo granular, repetición 1

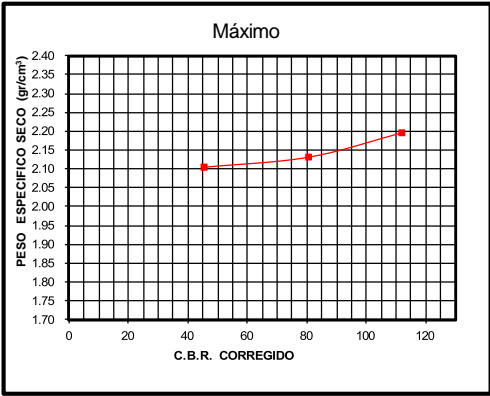
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO+1.5)
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	9.00	9.00	9.00
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	7.01	7.01	7.01
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	412.39	412.39	412.39
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	9263.0	9153.0	9072.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5465.0	5185.0	5097.0
% humedad (horno)	8.04	8.43	8.80
Peso de la muestra seca (grs.)	5058.3	4781.7	4684.6
Volumen del molde (cm³)	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm³)	2.195	2.131	2.104
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	204.57	194.02	196.88
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	191.78	181.93	183.85
Peso del recipiente (grs.) (P3)	32.72	38.58	35.82
Peso del suelo seco (grs.)	159.06	143.35	148.03
Peso del agua (grs.)	12.79	12.09	13.03
Contenido de humedad (w%)	8.04	8.43	8.80
			
	C.B.R. 0.1	C.B.R. 0.2	Max
	81.00	112.00	112.00
	61.00	80.66	80.66
	31.00	45.33	45.33
Límite Líquido	-		
Índice Plasticidad	-		
Clasificación	BG-27		
Densidad máxima	2.18		
Humedad óptima	7.5%		
CBR 95%	22%		
Observaciones			
ENSAYO	CALCULO Y ELABORO		
Lab.	Estudiantes		
Firma	Firma		

Figura G39

Datos arrojados por el quipo de la muestra compacta a HO+1.5% del suelo granular, repetición 2

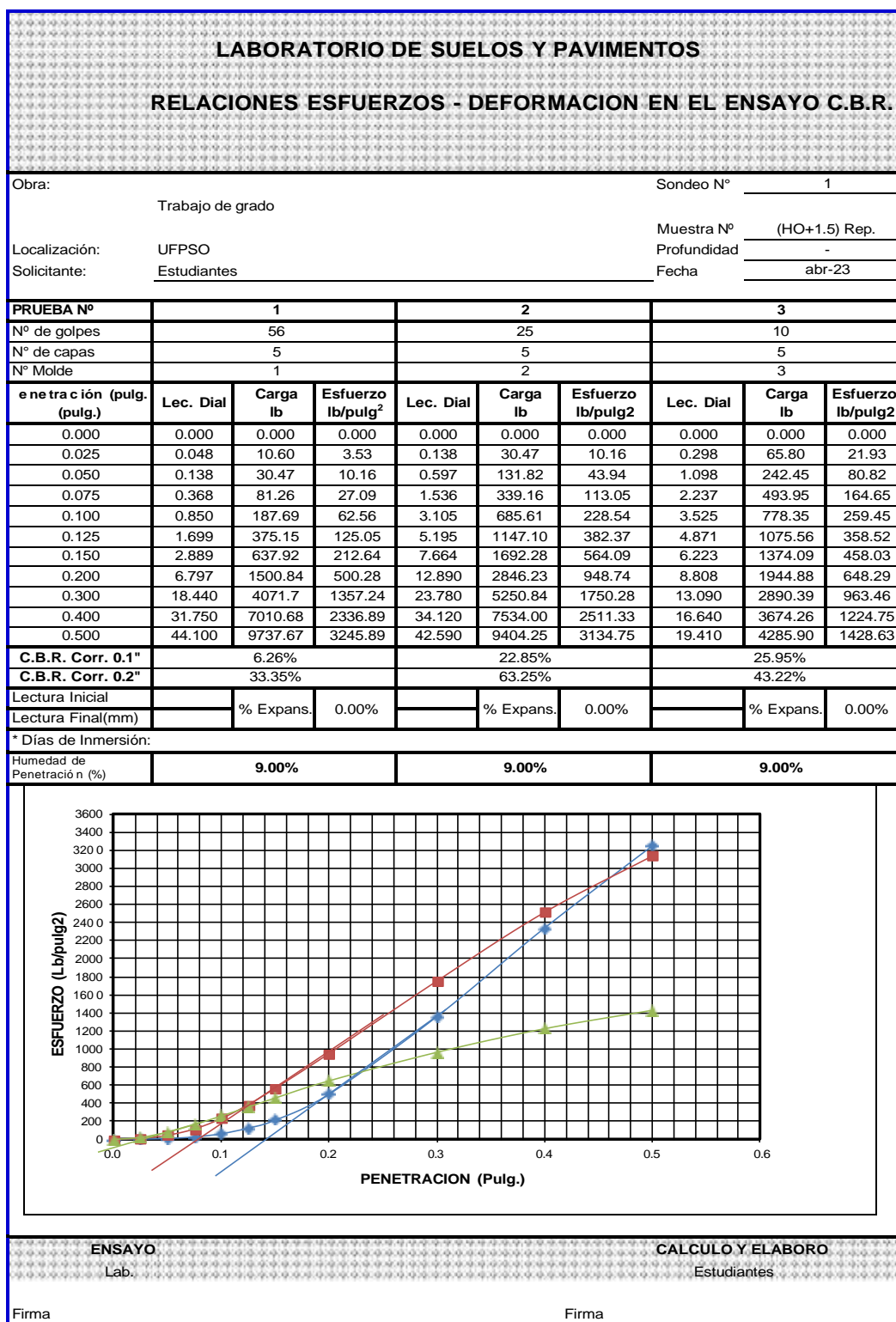


Figura G40

Datos de la muestra compacta a HO+1.5% del suelo granular, repetición 2

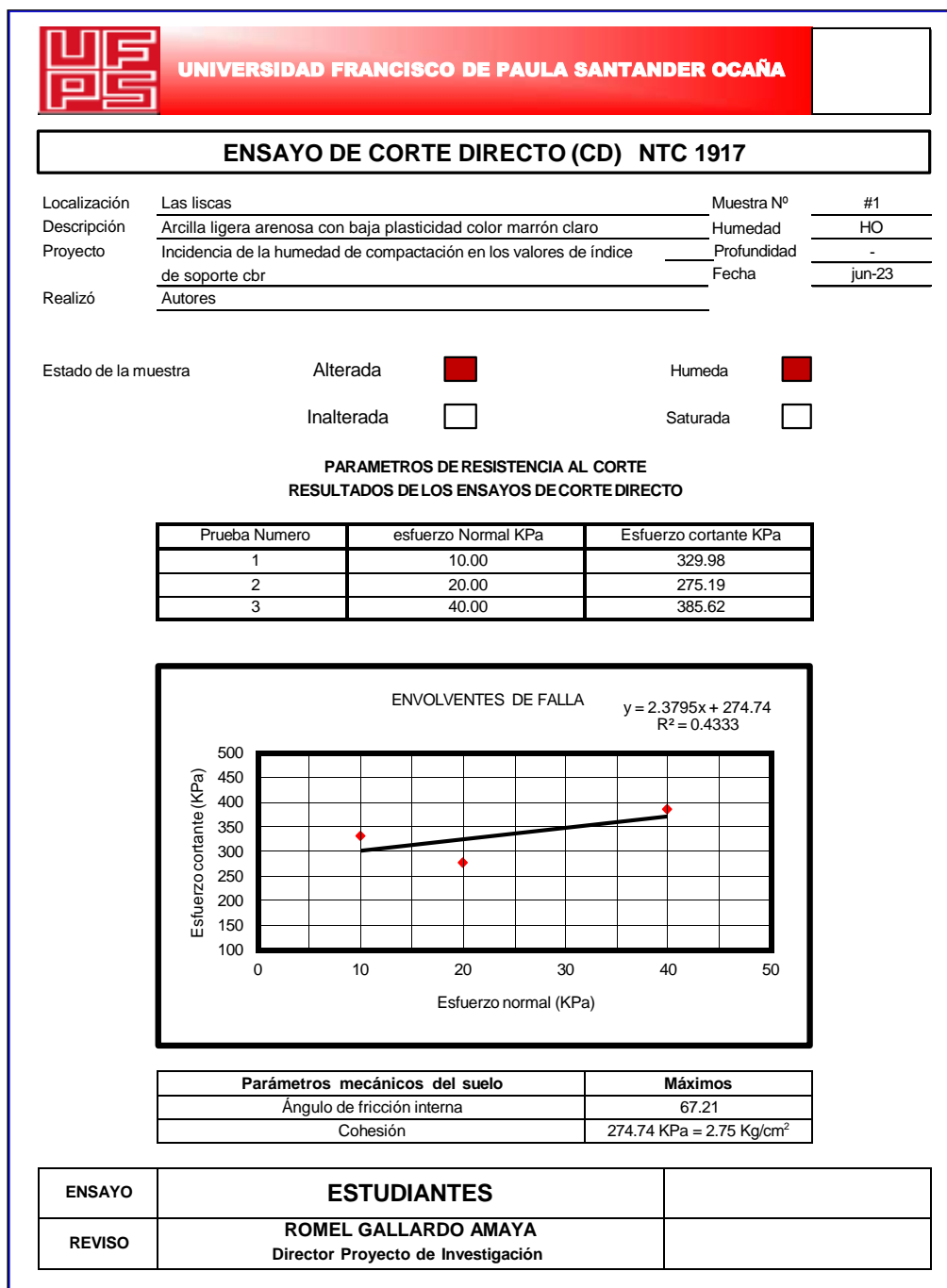
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO			
Obra:	Trabajo de grado	Sondeo N°	1
Localización:	UFPSO	Muestra N°	(HO+1.5) Rep.
Solicitante:	Estudiantes	Profundidad	-
		Fecha	abr-23
MUESTRAS PARA C.B.R.			
PRUEBA N°	1	2	3
N° de golpes	56	25	10
N° de capas	5	5	5
Humedad deseada (%)	9.00	9.00	9.00
Humedad Natural de la muestra (%)	1.99	1.99	1.99
Humedad adicional %	7.01	7.01	7.01
Peso de la muestra húmeda (grs.)	6000.0	6000.0	6000.0
Peso de la muestra seca (grs.)	5882.9	5882.9	5882.9
Agua adicional (c.c)	412.39	412.39	412.39
Molde N°	4	15	16
Peso de la muestra Húmeda y molde (grs.)	9388.0	9263.0	9042.0
Peso del molde (grs.)	3798.0	3968.0	3975.0
Peso de la muestra húmeda (grs.)	5590.0	5295.0	5067.0
% humedad (horno)	7.76	8.18	8.22
Peso de la muestra seca (grs.)	5187.3	4894.7	4682.3
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2304.45	2244.21	2226.54
Densidad de la muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.251	2.181	2.103
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Molde N°	9	10	2
Peso recipiente+suelo húmedo (grs.) (P1)	199.77	182.65	200.55
Peso recipiente+suelo seco (grs.) (P2)	188.34	171.31	187.82
Peso del recipiente (grs.) (P3)	41.10	32.64	32.86
Peso del suelo seco (grs.)	147.24	138.67	154.96
Peso del agua (grs.)	11.43	11.34	12.73
Contenido de humedad (w%)	7.76	8.18	8.22
	<b>C.B.R. 0.1</b>	<b>C.B.R. 0.2</b>	<b>Max</b>
	81.50	114.00	114.00
	80.00	106.00	106.00
	33.00	47.33	47.33
<b>Límite Líquido</b>	-		
<b>Índice Plasticidad</b>	-		
<b>Clasificación</b>	<b>BG-27</b>		
<b>Densidad máxima</b>	<b>2.18</b>		
<b>Humedad óptima</b>	<b>7.5%</b>		
<b>CBR 95%</b>	<b>31%</b>		
<b>Observaciones</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>CALCULO Y ELABORO</b>		
Lab.	Estudiantes		
Firma	Firma		

## Apéndice H

### Ensayos de Corte Directo

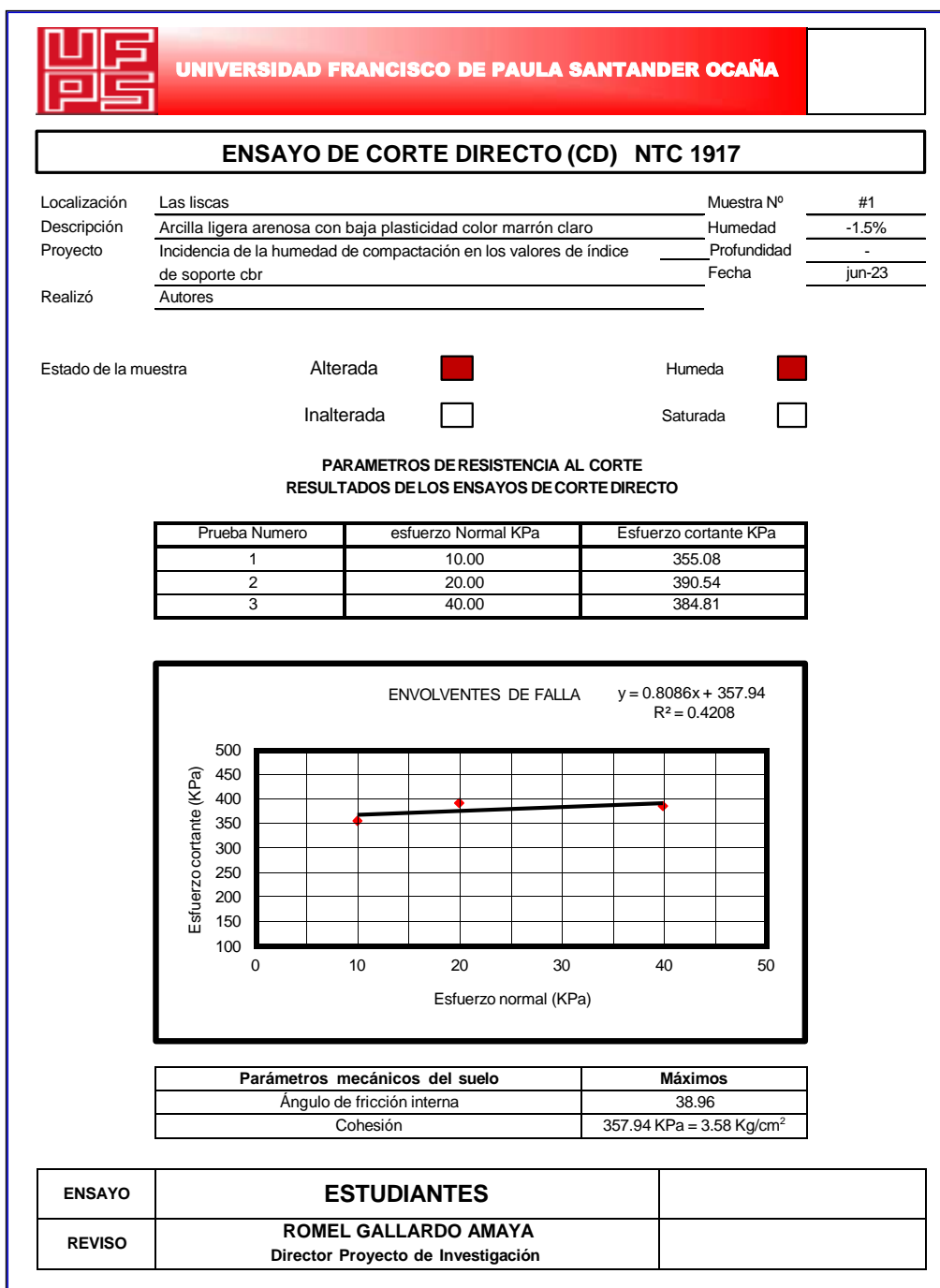
Figura H1

Resultados de la muestra compactada a HO



## Figura H2

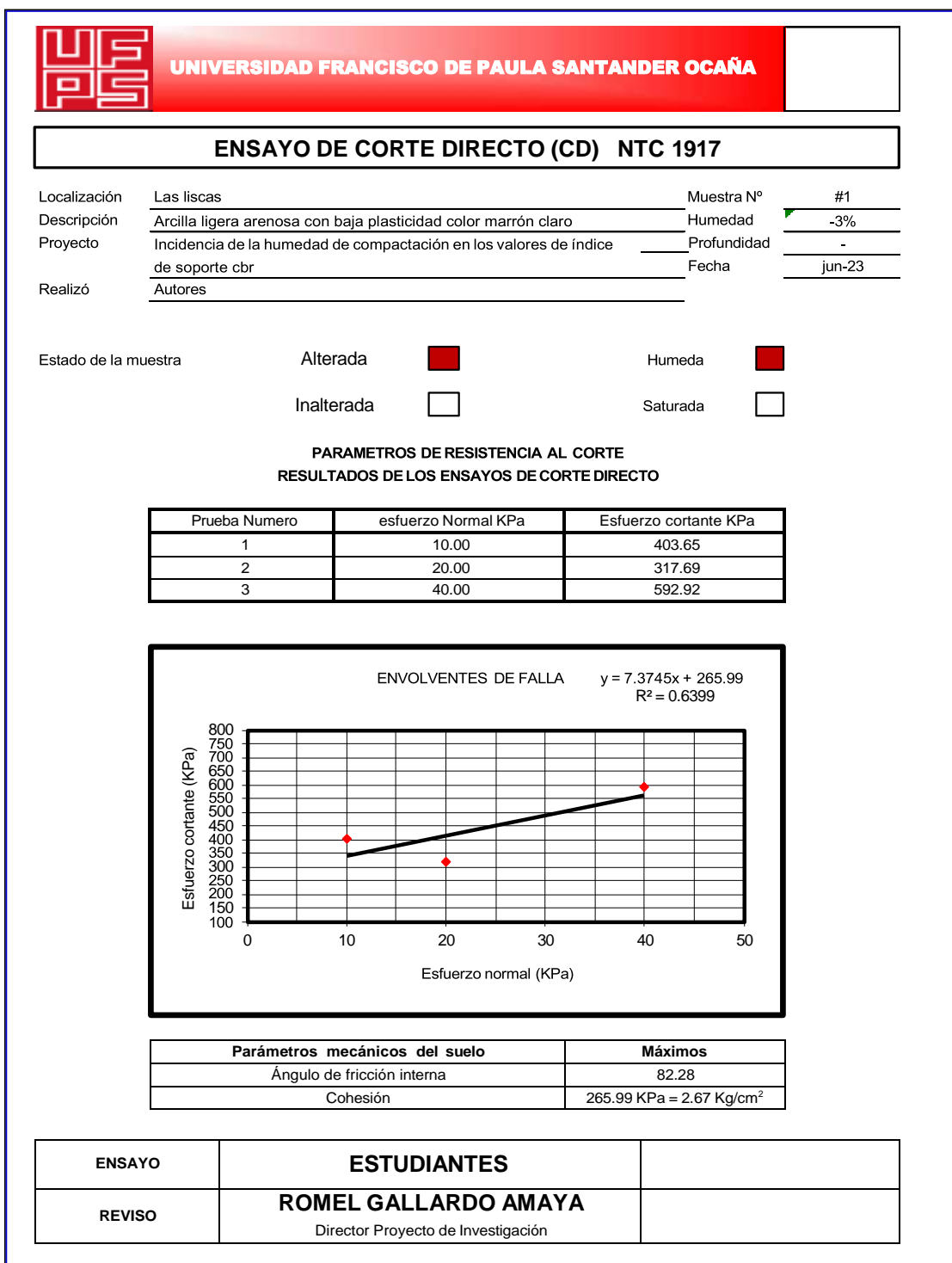
Resultados de la muestra compactada a HO-1.5%






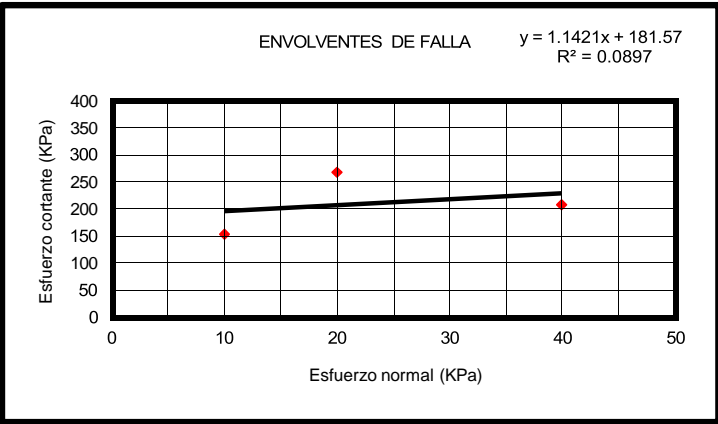
### Figura H3

Resultados de la muestra compactada a HO-3%




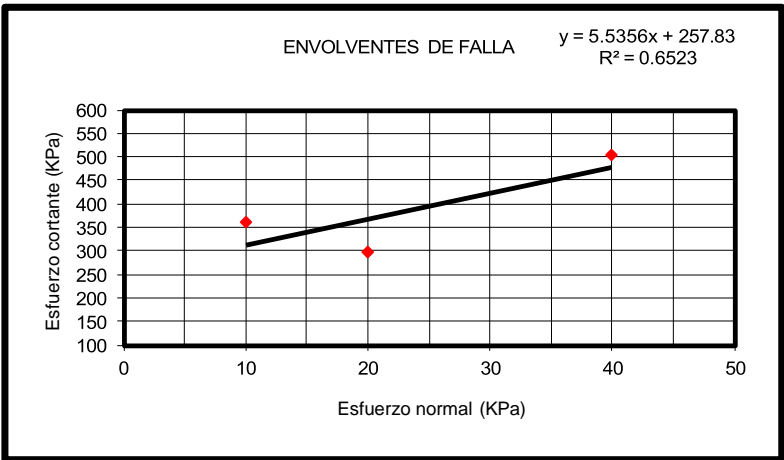
## Figura H4

Resultados de la muestra compactada a HO+3%

		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>		<b>F-CD-05</b>													
<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD) NTC 1917</b>																	
Localización	Las liscas	Muestra N°	#1														
Descripción	Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro	Humedad	+3%														
Proyecto	Incidencia de la humedad de compactación en los valores de índice de soporte cbr	Profundidad	-														
		Fecha	jun-23														
Realizó	Autores																
Estado de la muestra	Alterada <input checked="" type="checkbox"/>	Humeda <input checked="" type="checkbox"/>															
	Inalterada <input type="checkbox"/>	Saturada <input type="checkbox"/>															
<b>PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE</b> <b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO</b>																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Prueba Numero</th> <th>esfuerzo Normal KPa</th> <th>Esfuerzo cortante KPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10.00</td> <td>150.97</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20.00</td> <td>267.44</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>40.00</td> <td>206.24</td> </tr> </tbody> </table>						Prueba Numero	esfuerzo Normal KPa	Esfuerzo cortante KPa	1	10.00	150.97	2	20.00	267.44	3	40.00	206.24
Prueba Numero	esfuerzo Normal KPa	Esfuerzo cortante KPa															
1	10.00	150.97															
2	20.00	267.44															
3	40.00	206.24															
<div style="text-align: center;"> <b>ENVOLVENTES DE FALLA</b>     <math>y = 1.1421x + 181.57</math>  <math>R^2 = 0.0897</math> </div> 																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetros mecánicos del suelo</th> <th>Máximos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ángulo de fricción interna</td> <td>50.54</td> </tr> <tr> <td>Cohesión</td> <td>180.29 KPa = 1.80 Kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> </tbody> </table>						Parámetros mecánicos del suelo	Máximos	Ángulo de fricción interna	50.54	Cohesión	180.29 KPa = 1.80 Kg/cm <sup>2</sup>						
Parámetros mecánicos del suelo	Máximos																
Ángulo de fricción interna	50.54																
Cohesión	180.29 KPa = 1.80 Kg/cm <sup>2</sup>																
ENSAYO	ESTUDIANTES																
REVISO	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b> Director Proyecto de Investigación																

## 2) Figura H5

Resultados de la muestra compactada a HO+1.5%

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CD) NTC 1917</b>			
Localización	Las liscas	Muestra N°	#1
Descripción	Arcilla ligera arenosa con baja plasticidad color marrón claro	Humedad	+1.5%
Proyecto	Incidencia de la humedad de compactación en los valores de índice de soporte cbr	Profundidad	-
Realizó	Autores	Fecha	Junio
Estado de la muestra	Alterada <input checked="" type="checkbox"/>	Humeda <input checked="" type="checkbox"/>	
	Inalterada <input type="checkbox"/>	Saturada <input type="checkbox"/>	
<b>PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO</b>			
Prueba Numero	esfuerzo Normal KPa	Esfuerzo cortante KPa	
1	10.00	359.87	
2	20.00	298.51	
3	40.00	502.59	
			
Parámetros mecánicos del suelo		Máximos	
Ángulo de fricción interna		79.76	
Cohesión		257.83 KPa = 2.58 Kg/cm <sup>2</sup>	
ENSAYO	<b>ESTUDIANTES</b>		
REVISO	<b>ROMEL GALLARDO AMAYA</b> Director Proyecto de Investigación		